

EDIFÍCIOS COM NECESSIDADES QUASE NULAS DE ENERGIA (NZEB) EM PAÍSES DO SUL DA EUROPA

O Caso Específico de Portugal

MARCO ANDRÉ PEREIRA GUEDES DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES



Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2020

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2019/2020

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2019/2020 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Avó.

O que as vitórias têm de mau é que não são definitivas. O que as derrotas têm de bom é que também não são definitivas.

José Saramago

AGRADECIMENTOS

Com a conclusão deste trabalho, gostaria de agradecer a todos os que permitiram que todo este percurso fosse possível.

À professora Maria Helena Póvoas Corvacho, o mais sincero agradecimento pela dedicação e disponibilidade com que orientou o meu trabalho e pelos conhecimentos que me transmitiu ao longo desta jornada.

À minha mãe, ao meu irmão, Rodrigo e ao Fer quero agradecer pela paciência e por contribuírem para a pessoa que sou hoje, sem vocês tudo isto não seria possível.

Ao meu pai, obrigado por tudo o que me ensinaste e transmitiste.

Aos meus avós pelos ensinamentos que levarei sempre comigo.

À Belinha, por ser a pessoa incrível que me acompanha e motiva todos os dias, obrigado por tudo.

Aos meus melhores amigos, Rui Pereira e Rita Gomes, que me acompanham desde sempre, obrigado por toda a motivação e por, mesmo longe, estarem sempre presentes.

Ao Rui Silva por me ter acompanhado nestes 5 anos. Conseguimos! Agora é tempo de mostrarmos que tudo isto valeu a pena.

A todos os meus amigos de Valência, em especial ao Pedro, obrigado por terem contribuído para uma etapa ímpar neste percurso.

RESUMO

É cada vez mais evidente a crise que o planeta atravessa devido à ação humana, o que tem resultado em inúmeros problemas, sobretudo no que diz respeito à inconstância climática, manifestada por ondas de calor ou de frio em locais onde não predominavam estes tipos de acontecimentos e a uma qualidade ambiental cada vez mais deplorável. Destaca-se a forte contribuição do sector da construção nesta degradação mencionada, uma vez que esta atividade tem um grande peso na quantidade de emissão de gases com efeito de estufa bem como grandes gastos de recursos naturais. Desta feita, surge a necessidade de implementação de regulamentos aplicados ao setor por parte de grandes organismos como é o caso da União Europeia (EU) com vista a criar diretrizes no sector e melhorar a qualidade do mesmo não só na nova construção mas também nos casos de reabilitação e, portanto, serão introduzidas medidas que tornarão os edifícios substancialmente melhores do ponto de vista energético o que irá culminar em grandes vantagens em termos de conforto e economia para os utilizadores e, consequentemente, reduzir a emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera. Surge, deste modo, a importância de valorar o conceito de NZEB (Net/Nearly Zero Energy Building) que corresponde a um balanço nulo ou quase nulo entre as necessidades energéticas e a energia produzida, essencialmente, através de fontes renováveis.

A presente dissertação surge no sentido de averiguação da implementação do conceito NZEB em países do sul da Europa, mais particularmente, em Portugal e, portanto, foram estudadas as suas principais dificuldades e oportunidades. É, facilmente, perceptível que uma das principais dificuldades prende-se com o fraco poder económico de muitos dos países situados no sul da Europa o que poderá ser colmatado com mais apoios/ incentivos por parte dos Estados/ Comunidade Europeia. Todavia a localização geográfica destes países apresenta inúmeras vantagens face aos localizados no norte da Europa uma vez que ostentam um clima bastante quente no verão e ameno no inverno, requerendo menores necessidades energéticas e, permitindo, pelo facto de apresentar elevados períodos de exposição solar, um grande aproveitamento desta fonte para produção de energia.

Por fim, estudou-se, a partir de um modelo habitacional base, a implementação de algumas soluções tanto passivas, onde o foco se alicerça em pormenores arquitetónicos e de design, como ativas, com a introdução de sistemas mecânicos, recorrendo ao auxílio de uma folha de cálculo de aplicação do REH e do DesignBuilder, para três regiões distintas em Portugal.

Das diversas simulações realizadas pode concluir-se que mesmo analisando um país em específico, as suas regiões apresentam comportamentos climáticos muito distintos, o que irá influenciar drasticamente o comportamento térmico da habitação. A introdução de melhorias nos elementos da envolvente permitiram reduzir as necessidades energéticas na habitação e a aposta em diversos sistemas técnicos garantiram percentagens de energia primária produzida através de fontes renováveis superiores a 50%. Além disso, em termos de análise de conforto, sublinha-se o benefício da alteração da orientação da fachada com maior área de envidraçado para sul, permitindo assegurar as condições ideais no inverno, em comunhão com a inclusão de elementos de proteção solar e favorecimento de ventilação natural noturna que têm um grande impacto positivo no verão.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, Eficiência energética, Energias renováveis, nZEB, Simulação dinâmica.

ABSTRACT

The crisis that the planet is going through due to human action is increasingly evident. This has resulted in countless problems, especially with regard to climate change, manifested by heat or cold waves in places where these types of events did not predominate and an increasingly deplorable environmental quality. On this concern, is relevant to mention the strong contribution of the construction sector, since this activity has a great weight on the amount of greenhouse gas emissions as well as on the expense of natural resources. So, arises the need for the implementation of regulations applied to this sector by large agencies such as the European Union (EU) in order to create guidelines in the sector and improve its quality not only in new construction issues but also in cases of rehabilitation. Therefore, by introducing measures capable of making substantial progress on the building's energetic perspective great advantages can be collected in terms of comfort and economy for users and, consequently, culminating with a reduction in the emission of greenhouse gases into the atmosphere. Thus, is important to keep in mind the concept of NZEB (Net/Nearly Zero Energy Building), which corresponds to a zero or almost zero balance between energy needs and energy produced (mainly from renewable sources).

Hence, the present dissertation aimed to investigate the implementation of the NZEB concept in southern European countries, more particularly in Portugal, studying its main difficulties and opportunities. It is easily perceptible that one of the main issues is the weak economic power of the Southern European countries, which can be overcome with more support / incentives from the States / European Community. Nonetheless, the geographical location of these countries has clearly advantages over those located in northern Europe as they have a fairly warmer climate in summer and a milder one in winter, requiring a lower energy supply. Moreover, their long periods of sun exposure, allows the usage of this source for energy production.

Finally, starting from a base model, some solutions, both passive, where the focus is based on architectural and design details, and active, with the introduction of mechanical systems, were studied regarding their possible implementation using a spreadsheet of application of REH and DesignBuilder, for three distinct regions in Portugal.

Considering the different simulations carried out it can be concluded that even when analysing a specific country, their regions have quite different climatic behaviours which will drastically influence the thermal performance of the dwelling. The introduction of improvements in the elements of the environment allowed to reduce the energy needs in the housing. Plus, investing in several technical systems guaranteed percentages of primary energy produced through renewable sources higher than 50%. Moreover, in terms of comfort analysis, was underlined the relevance of changing the orientation of the facade with a larger glazing area to the south, allowing to ensure the ideal conditions in winter, in communion with the inclusion of solar protection elements and favouring natural ventilation at night which has a great positive impact in summer.

KEYWORDS: Thermal Comfort, Energy efficiency, Renewable energy, nZEB, Dynamic simulation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização da dissertação	2
2. REQUISITOS DE UM NZEB E O CLIMA MEDITERRÂNICO	5
2.1. Conceito de nZEB	5
2.2. Regulamentação energética em edifícios	7
2.2.1. Diretivas Europeia	7
2.2.2. As Diretivas Europeias e a Legislação Nacional	9
2.3. Exigências e parâmetros de conforto térmico	12
2.3.1. Conforto térmico nos nZEB`S	12
2.3.2. Categorias de Conforto: PMV e PPD	13
2.3.3. Causas para desconforto térmico local [14]	14
2.3.4. Garantia das condições de conforto	15
2.4. Clima mediterrânico	15
2.5. Portugal e os nZEB: Especificidades, oportunidades e dificuldades	17
2.5.1 Enquadramento dos nZEB em Portugal	17
2.5.2 Panorama energético nacional em perspetiva com a Europa	17
2.5.3. Portugal no alcance aos nZEB em contexto de país do sul da Europa	20
2.5.4. O importante papel da Comissão Europeia na promoção dos nZEB	26
3. MEDIDAS A ADOTAR PARA ALCANÇAR UM nZEB	27
3.1. Redução de necessidades energéticas	27
3.1.1. Estratégias construtivas	27
3.1.1.1. Orientação do edifício [6]	27
3.1.2. Sistemas eficientes	36
3.1.3. Estratégias (sistemas passivos)	38
3.1.3.1. Sistema passivo de aquecimento	39
3.1.3.2. Sistema passivo de arrefecimento	41

3.2. Caracterização de tecnologias de produção de energia	46
3.2.1. Energia Solar.....	46
3.2.1.1. Energia solar térmica.....	46
3.2.1.2. Energia fotovoltaica.....	47
3.2.2. Energia Eólica.....	48
3.2.3. Biomassa.....	49
3.2.4. Energia geotérmica.....	49
4. IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO	51
4.1. Introdução ao capítulo	51
4.2. SOLAR XXI (Em direção à energia zero), Lisboa, Portugal	51
4.2.1. Informação geral do edifício.....	51
4.2.2. Soluções aplicadas.....	52
4.2.2.1. Produção de energia.....	52
4.2.2.2. Tecnologias construtivas.....	52
4.2.2.3. Estratégias de aquecimento[51].....	53
4.2.2.4. Estratégias de arrefecimento[51].....	53
4.2.2.5. Estratégias de iluminação natural.....	54
4.2.3. Resultados apresentados.....	54
4.3. Oficinas Passivhaus, Valência, Espanha	55
4.3.1. Informação geral do edifício.....	55
4.3.2. Soluções aplicadas.....	56
4.3.2.1. Tecnologias construtivas.....	56
4.3.2.2. Sistemas de aquecimento/arrefecimento.....	57
4.3.3. Conclusões relativamente ao desempenho do edifício.....	58
4.4. Outros exemplos de nZEB`s existentes na Europa	58
5. CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO DO CONCEITO nZEB EM PORTUGAL	61
5.1. INTRODUÇÃO	61
5.1.1. Objetivos e breve descrição do procedimento realizado.....	61
5.1.2. Arquitetura.....	62
5.1.3. Pontes térmicas existentes na fração.....	64
5.1.4. Definição da área útil e não útil para efeitos do REH.....	65
5.1.5. Elementos construtivos comuns a todos os casos de estudo.....	66
5.1.6. Soluções de partida para os casos de estudo.....	67
5.2. Dados climáticos relativos às Localidades em estudo	69

5.2.1 Cidade de Bragança [34].....	69
5.2.2. Cidade de Faro [34].....	70
5.2.3. Cidade do Porto [34]	71
5.3. Verificação regulamentar para o cumprimento dos requisitos nZEB: Apresentação e análise de resultados	72
5.3.1. Caso de estudo em Bragança.....	72
5.3.1.1. Solução 1: Solução Base	72
5.3.1.2. Solução 2.....	74
5.3.1.3. Solução 3.....	75
5.3.2. Caso de estudo em Faro.....	77
5.3.2.1. Solução 1: Solução Base	77
5.3.2.2. Solução 2.....	79
5.3.2.3. Solução 3.....	80
5.3.3. Caso de estudo no Porto.....	81
5.3.3.1. Solução 1: Solução Base	81
5.3.3.2. Solução 2.....	83
5.3.3.3. Solução 3.....	84
6. APLICAÇÃO DO DESIGN BUILDER	86
6.1. Introdução ao programa	86
6.2. Características de utilização da habitação	92
6.3. Estudo do conforto térmico: Apresentação e análise de resultados	94
6.3.1. Caso de estudo em Bragança.....	94
6.3.1.1. Solução 1: Solução Base	94
6.3.1.2. Solução 2.....	96
6.3.1.3. Solução 3.....	99
6.3.2. Caso de estudo em Faro.....	102
6.3.2.1. Solução 1: Solução Base	102
6.3.2.2. Solução 2.....	104
6.3.2.3. Solução 3.....	107
6.3.3. Caso de estudo no Porto.....	109
6.3.3.1. Solução 1: Solução Base	109
6.3.3.2. Solução 2.....	112
6.3.3.3. Solução 3.....	114
6.4. Necessidades de Energia para aquecimento no caso de Bragança	117
6.4.1. Energia necessária para aquecimento e conforto térmico.....	117

6.4.2. Comparação dos resultados do DesignBulder com os resultados da folha de cálculo de aplicação do REH.....	120
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	122
7.1. Conclusões	122
7.2. Desenvolvimentos futuros.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Percurso natural da temperatura terrestre e o percurso	1
Figura 2 - Representação do conceito net ZEB [3]	5
Figura 3 - Clarificação do Conceito Net/Nearly Zero Energy [6]	6
Figura 4 - Quantificação de edifícios por época de construção	9
Figura 5 - Classificação energética dos edifícios [6]	10
Figura 6 - Escala de sensibilidade térmica [15].....	13
Figura 7 - Mapa da temperatura média anual na Europa [16]	16
Figura 8 - Mapa da radiação media solar na Europa [18].....	16
Figura 9 - Efeito do vento nas diferentes regiões da Europa [18].....	17
Figura 10 - Evolução da produção de eletricidade em Portugal[19]	18
Figura 11 - Evolução da produção de energias renováveis em Portugal desde o início do século [19]18	
Figura 12 - Consumo de energia primária em países Europeus para o ano de 2018 [20]	19
Figura 13 - Contribuição das energias renováveis no consumo de energia final (%) para o ano de 2018 [20].....	19
Figura 14 - À esquerda, temperatura mínima média no Inverno.....	20
Figura 15 - Disponibilidade anual de radiação solar global (kWh/m ²) em Portugal [22]	22
Figura 16 - Disponibilidade anual de radiação solar global (kWh/m ²) na Alemanha [23]	22
Figura 17 - Valor percentual de classes energéticas emitidas para edifícios de habitação,	25
Figura 18 - Valor percentual de classes energéticas emitidas para edifícios novos de habitação,.....	25
Figura 19 - Fatores fundamentais para alcançar os nZEB [6].....	27
Figura 20 - Radiação solar diária no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) [6].....	28
Figura 21 - Radiação solar incidente sobre cada uma das orientações em Lisboa [30]	28
Figura 22 - Delimitação da envolvente do edifício	29
Figura 23 - Perdas gerais de calor de uma habitação	29
Figura 24 - Variação da temperatura interior com a temperatura exterior [32].....	30
Figura 25 - Estrutura do material VIM [36]	32
Figura 26 - Estrutura do Nanowood [37]	33
Figura 27 - Perfil térmico de uma parede exterior [36].....	33
Figura 28 - Exemplo de variações térmicas na cobertura.....	34
Figura 29 - Exemplo de constituição de um pavimento térreo	35
Figura 30 - Perfil térmico de um envidraçado [32]	35

Figura 31 - Mecanismos de proteção dos envidraçados [36].....	36
Figura 32 - Mecanismo de funcionamento do Smart Light.....	37
Figura 33 - Ganho solar direto [30].....	39
Figura 34 - Ganho solar indireto [44].....	40
Figura 35 - Parede de Trombe não ventilada (esquerda) e ventilada (direita) [44]	40
Figura 36 - Processo de ventilação natural [32].....	41
Figura 37 - Processo de arrefecimento pelo solo [30].....	42
Figura 38 - Processo de arrefecimento evaporativo [30]	42
Figura 39 - Arrefecimento radiativo [30]	43
Figura 40 - Sistema de sombreamento fixo [36]	43
Figura 41 - Sistema de sombreamento através de vegetação [46]	44
Figura 42 - Sistema de proteção solar pelo exterior [36]	44
Figura 43 - Sistema de sombreamento pelo interior [36]	45
Figura 44 - Sistema de sombreamento integrado no envidraçado [36]	45
Figura 45 - Sistemas solares térmicos [32]	47
Figura 46 - Painéis fotovoltaicos [47]	47
Figura 47 – Aerogerador [49]	48
Figura 48 – Pellets [32].....	49
Figura 49 - Edifício Solar XXI	51
Figura 50 - Utilização durante o inverno na imagem da esquerda e utilização durante meses de meia estação na imagem da direita. [51]	53
Figura 51 - Funcionamento da fachada no verão	54
Figura 52 - Monitorização dos consumos e produção de energia do edifício [51].....	55
Figura 53 - Dados climatológicos de Valência [52]	55
Figura 54 - Oficinas Passivhaus [52].....	56
Figura 55 - Järvenpää Zero Energy House [55].....	58
Figura 56 - Maison HANAU [55].....	59
Figura 57 - Planta da habitação em estudo.....	62
Figura 58 - Definição de envolvente interior e exterior.....	63
Figura 59 - Ponte térmica existente em zona de pilar	64
Figura 60 - Desenho de pormenor da ponte térmica	64
Figura 61 - Exposição das pontes térmicas lineares existentes na habitação.....	65
Figura 62 - Representação dos espaços úteis (1) e não úteis (2)	65
Figura 63 - Desenho de pormenor das paredes interiores.....	66

Figura 64 - Desenho de pormenor das paredes interiores que contactam com espaços não úteis.....	66
Figura 65 - Desenho de pormenor do pavimento.....	67
Figura 66 - Desenho de pormenor da parede exterior	67
Figura 67 - Desenho de pormenor do vão envidraçado.....	68
Figura 68 - Bragança: Solução 1, resultados obtidos através da folha de cálculo	73
Figura 69 - Bragança: Solução 1, percentagem de energias renováveis obtidas	73
Figura 70 - Bragança: Solução 2, resultados obtidos através da folha de cálculo	74
Figura 71 - Bragança: Solução 2, percentagem de energias renováveis obtidas	75
Figura 72 - Bragança: Solução 3, resultados obtidos através da folha de cálculo	76
Figura 73 - Bragança: Solução 3, percentagem de energias renováveis obtidas	76
Figura 74 - Faro: Solução 1, resultados obtidos através da folha de cálculo	78
Figura 75 - Faro: Solução 1, percentagem de energias renováveis obtidas.....	78
Figura 76 - Faro: Solução 2, resultados obtidos através da folha de cálculo	79
Figura 77 - Faro: Solução 2, percentagem de energias renováveis obtidas.....	80
Figura 78 - Faro: Solução 3, resultados obtidos através da folha de cálculo	80
Figura 79 - Faro: Solução 3, % de energias renováveis obtidas.....	81
Figura 80 - Porto: Solução 1, resultados obtidos através da folha de cálculo	82
Figura 81 - Porto: Solução 1, percentagem de energias renováveis obtidas	82
Figura 82 - Porto: Solução 2, resultados obtidos através da folha de cálculo	83
Figura 83 - Porto: Solução 2, percentagem de energias renováveis obtidas	83
Figura 84 - Porto: Solução 3, resultados obtidos através da folha de cálculo	84
Figura 85 - Porto: Solução 3, percentagem de energias renováveis obtidas	85
Figura 86 - Separador "Location" no DesignBuilder onde é possível definir a localização da habitação.....	86
Figura 87 - Representação tridimensional da habitação no DesignBuilder	87
Figura 88 - Definição das fronteiras existentes na habitação	87
Figura 89 - Separador "activity" no DesignBuilder onde se pode escolher o tipo de ocupação, taxa de metabolismo, entre outros parâmetros	88
Figura 90 - Definição das atividades existentes na habitação	88
Figura 91 - Separador "Construction" no DesignBuilder que permite a definição dos elementos da envolvente opaca	89
Figura 92 - Visualização realista da constituição da parede exterior.....	89
Figura 93 - Separador "Openings" no DesignBuilder que permite caracterizar a janela e o tipo de envidraçado.....	90
Figura 94 - Separador "Lighting" para definir o tipo de iluminação de determinada zona.....	90

Figura 95 - Separador "HVAC" para definição de sistemas AVAC	91
Figura 96 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	94
Figura 97 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior.....	94
Figura 98 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	95
Figura 99 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior.....	95
Figura 100 - Bragança: Solução 1, Distribuição anual da temperatura interior	96
Figura 101 - Bragança: Solução 2, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação	97
Figura 102 - Bragança: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior.....	97
Figura 103 - Bragança: Solução 2, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	97
Figura 104 - Bragança: Solução 2, semana de projeto de inverno, avaliação da temperatura interior	98
Figura 105 - Bragança: Solução 2, Distribuição anual da temperatura interior	98
Figura 106 - Introdução, no modelo, de uma pala horizontal com 80 cm de largura.....	99
Figura 107 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação	100
Figura 108 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior.....	100
Figura 109 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	100
Figura 110 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior	101
Figura 111 - Bragança: Solução 3, Distribuição anual da temperatura interior	101
Figura 112 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	102
Figura 113 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior....	103
Figura 114 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	103
Figura 115 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior.....	103
Figura 116 - Faro: Solução 1, Distribuição anual da temperatura interior	104
Figura 117 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	105
Figura 118 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior....	105

Figura 119 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	105
Figura 120 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior.	106
Figura 121 - Faro: Solução 2, Distribuição anual da temperatura interior	106
Figura 122 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação com Rph=2	107
Figura 123 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação com Rph=3	107
Figura 124 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação com Rph=4	108
Figura 125 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), avaliação da temperatura interior	108
Figura 126 - Faro: Solução 3, Distribuição anual da temperatura interior	109
Figura 127 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	110
Figura 128 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior ..	110
Figura 129 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	110
Figura 130 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior	111
Figura 131 - Porto: Solução 1, Distribuição anual da temperatura interior	111
Figura 132 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	112
Figura 133 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior ..	112
Figura 134 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	113
Figura 135 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior ..	113
Figura 136 - Porto: Solução 2, Distribuição anual da temperatura interior	114
Figura 137 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o verão (" <i>SummerDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	115
Figura 138 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior ..	115
Figura 139 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o inverno (" <i>WinterDesignWeek</i> "), parâmetros obtidos na simulação.....	115
Figura 140 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior	116
Figura 141 - Porto: Solução 3, Distribuição anual da temperatura interior	116
Figura 142 - Calendário de aquecimento em condições de aquecimento constante	117
Figura 143 - Variação da temperatura interior, em valores horários, na sala comum para a estação de aquecimento	118

Figura 144 - Variação da temperatura interior, em valores horários, na sala comum para a estação de aquecimento	119
Figura 145 - Balanço energético da 3ª Solução de Bragança (Orientada a Sul)	120

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Tabela 1 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência [12].....	11
Tabela 2 - Explicação das categorias definidas pela norma EN 15251, 2007 [15]	13
Tabela 3 - Valores de PPD e PMV para edifícios [15]	14
Tabela 4 - Valores limite de desempenho nZEB sugeridos para Portugal [21]	23
Tabela 5 - Requisitos de consumo de Energia primária anual em diferentes países da Europa [24]...23	
Tabela 6 - Intervalos de R _{Nt} para determinação da classe energética [25].....	24
Tabela 7 - classes de inercia térmica [34].....	31
Tabela 8 - Exemplos de isolamentos térmicos presentes no ITE50 [35].....	31
Tabela 9 - Soluções recomendadas para os nZEB	38
Tabela 10 - Elementos opacos do Solar XXI [51]	52
Tabela 11 - Elementos opacos do edifício [52]	56
Tabela 12 - Levantamento dimensional da habitação	63
Tabela 13 - Coeficientes de transmissão dos elementos interiores	67
Tabela 14 - Coeficientes de transmissão de elementos em contacto com o exterior	68
Tabela 15 - Áreas de envidraçado e envolvente opaca por orientação	69
Tabela 16 - Valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para Bragança [34]..	70
Tabela 17 - Valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para Faro [34].....	71
Tabela 18 - Valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para o Porto [34]	71
Tabela 19 - Bragança: Solução 1, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente	72
Tabela 20 - Bragança: Solução 2, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente	74
Tabela 21 - Faro: Solução 1, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente	77
Tabela 22 - Porto: Solução 1, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente	81
Tabela 23 - Porto: Solução 3, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente	84
Tabela 24 - Propriedades do tipo de iluminação utilizada	90
Tabela 25 - Horário de ocupação da sala comum	92
Tabela 26 - Horário de funcionamento dos estores	93
Tabela 27 – Necessidades de energia mensais em aquecimento, em condições de aquecimento permanente	118
Tabela 28 – Necessidades de energia mensais em aquecimento, em condições de aquecimento pontual	119
Tabela 29 - Relação entre as necessidades energéticas para aquecimento obtidas no DesignBuilder e na folha de cálculo de aplicação do REH	120

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Água Quente Sanitária

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

GEE – Gases de Efeito de Estufa

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NZEB – Net/Nearly Zero Energy Buildings

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

UE – União Europeia

COP - Coefficient Of Performance

DHW - Domestic Hot Water

GD - Graus dia

Rph - Número de renovações horárias [h-1]

Umáx - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para vãos opacos

I - Energia solar global incidente (radiação direta + difusa)

g_{\perp} - Fator solar

R - Resistência térmica

U - Coeficiente de transmissão térmica

Ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear [W/(m.°C)]

FS - Fator solar

Uw - Coeficientes de transmissão térmica superficiais para os vãos envidraçados [W/(m².°C)]

Uwdn - Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado [W/(m².°C)]

btr – coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis

It – inércia térmica [kg/m²]

MSi – massa superficial útil do elemento i [kg /m²]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

É inegável que as alterações climáticas que têm ocorrido no planeta Terra são um tema que marca fortemente o século XXI. O aumento da temperatura média global tende a promover o derretimento dos glaciares e, com este efeito de “bola de neve” verifica-se o aumento do nível médio das águas do mar, além disso surgem, eventos climáticos extremos, mudanças nos padrões de pluviosidade e do clima de diferentes locais. Todos os fatores expostos anteriormente representam uma forte ameaça ambiental para a sociedade, com possíveis impactos drásticos em diferentes áreas sociais, como a economia, a saúde e o próprio ambiente.[1]

Desde sempre que se registaram oscilações climáticas no planeta, porém é facilmente visível no gráfico abaixo (Figura 1) [2] que desde o século passado existe uma forte tendência no aumento da temperatura que poderá manter-se contante ao longo do século atual se não se adotar as devidas medidas de mitigação.[3]

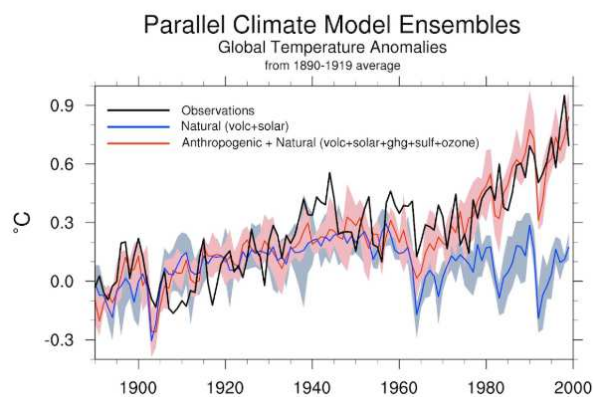


Figura 1 - Percurso natural da temperatura terrestre e o percurso observável da temperatura terrestre nos últimos dois séculos [2]

Ainda que não seja totalmente consensual, existe uma forte relação entre a acentuada emissão de gases com efeito de estufa (GEE), provenientes das atividades humanas, que se tendem a acumular na atmosfera com o aquecimento do clima global.[1]

Sublinha-se que no contexto europeu, o setor da construção encontra-se em forte expansão e representa um consumo de 40% da energia total, valor esse que poderá sofrer incrementos caso não se adotem as devidas medidas. Deste modo, surge a importância de repensar o modo de construir, acentuando a aposta em tecnologias e sistemas construtivos que permitem reduzir as necessidades energéticas dos edifícios e, além disso, num pensamento mais positivista, que essa mesma energia necessária seja conseguida através de fontes renováveis e, portanto, obter edifícios mais independentes do ponto de vista energético e, sobretudo, energeticamente mais eficientes.[4]

A implementação de medidas que permitam obter edifícios de grande eficiência energética ou com necessidades quase nulas de energia (nZEB) representam uma série de vantagens não só para a sobrevivência do planeta, uma vez que seriam emitidos cada vez menos gases prejudiciais, como também do ponto de vista económico, permitirão aos utilizadores reduzir custos com a aquisição de energia.[4]

Grande parte do sul da Europa, devido ao seu clima mediterrânico e aos elevados valores de exposição solar poderá ser um cenário adequado para a aposta nos nZEB (Nearly Zero Energy Buildings) e, possivelmente, em NZEB (Net Zero Energy Buildings) uma vez que se poderá tirar grande partido das energias renováveis, essencialmente, a energia solar para suprimir as necessidades energéticas.

1.2. OBJETIVOS

Com a presente dissertação pretende-se averiguar a aplicabilidade de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB) em países do sul da Europa e, deste modo, estudar as principais dificuldades e oportunidades que esta área geográfica oferece.

Se por um lado as principais regiões do sul da Europa apresentam um clima ameno e menos severo relativamente a países do norte da Europa, o que permite menos necessidades energéticas no que diz respeito ao aquecimento, por outro lado no verão terão de ser adotadas medidas, sobretudo estratégias construtivas, para que não sejam necessários elevados gastos energéticos para o arrefecimento. Este tópico constitui um dos principais desafios da implementação dos nZEB no sul da Europa. Todavia é importante a consciencialização que o capital económico dos países do Sul é, significativamente, inferior aos Nórdicos, o que leva a que as medidas a adotar para reduzir gastos energéticos ou produzir energia apresentem custos de implementação realistas.

Além disso, pretende-se estudar as principais tecnologias e estratégias construtivas que permitam a implementação do conceito Net/Nearly Zero Energy em Portugal.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos, sendo que o primeiro capítulo apresenta, fundamentalmente, o enquadramento do tema assim como os principais objetivos da dissertação.

O segundo capítulo apresenta a definição do conceito nZEB assim como todo o processo de regulamentação criada na Europa e em Portugal para se alcançar os padrões nZEB. Além disso, são, ainda, apresentadas as principais especificidades, oportunidades e desvantagens de Portugal na implementação do conceito.

No capítulo 3 efetua-se uma descrição de técnicas/medidas para se alcançar os nZEB, desta forma são apresentados diversos métodos, tanto passivos como ativos, que permitem a redução de necessidades energéticas, assim como alguns processos de produção de energia através de fontes renováveis.

O capítulo 4 visa expor alguns exemplos de nZEB`s já realizados em países do sul da Europa.

Seguidamente, no capítulo 5, através de uma folha de cálculo de aplicação do REH foram simuladas para 3 regiões distintas de Portugal várias soluções onde se pretendiam obter os requisitos para alcançar uma habitação nZEB. Ainda num contexto mais pratico, o capítulo 6, por via do software DesignBuilder, foram simuladas essas mesmas soluções e, assim, foi possível avaliar os níveis de conforto térmico de uma determinada região da habitação, assim como, implementar algumas medidas para a melhoria do mesmo.

Finalmente, no capítulo 7, são destacadas as principais conclusões da dissertação realizada e mencionadas possíveis considerações a ter em conta, futuramente, no desenvolvimento da investigação do tema em apreço.

2

REQUISITOS DE UM NZEB E O CLIMA MEDITERRÂNICO

2.1. CONCEITO DE NZEB

O conceito de *Nearly Zero Energy Building* (nZEB) surge mediante a reformulação da EPBD 2002 para a EPDB-Recast, Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio que, dentro das diversas medidas apresentadas, tem como foco, garantir a redução em 20% de gases com efeito de estufa, permitindo o cumprimento do protocolo de Quioto, aumentar em 20% a eficiência energética e uma cota de energia renovável. Estabeleceu-se a obrigatoriedade de a partir do final de 2018 todos os novos edifícios públicos atingirem o estado nZEB e a partir de finais do ano 2020, todos os novos edifícios. No entanto, num seguimento mais ambicioso pretende-se atingir os *Net Zero Energy Buildings*(NZEB), onde não só se reduzem as necessidades energéticas, como também, todas elas são supridas através de energia localmente produzida por fontes renováveis.[4]

Desta feita, o conceito visa particularizar os edifícios que se comportam exemplarmente do ponto de vista energético, sendo definido como “um edifício com desempenho energético muito elevado”. Procura-se reduzir a quantidade de energia requerida através da implementação de soluções passivas, sendo que de um ponto de vista mais otimista esta energia seria obtida, maioritariamente, por meio de fontes de energia renováveis, quer estas se encontrem no local ou na envolvente dos edifícios.[3]

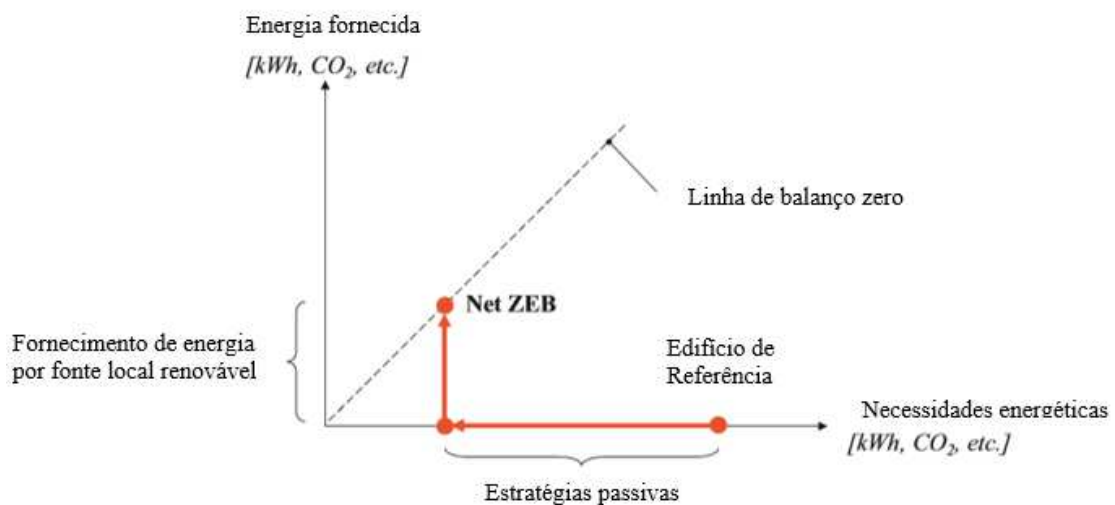


Figura 2 - Representação do conceito net ZEB [3]

Através do gráfico, é possível, de uma forma mais intuitiva, entender o conceito NZEB. O eixo das ordenadas representa os ganhos energéticos e o eixo das abcissas os gastos energéticos, assim sendo o que deverá ser feito é reduzir os gastos, com auxílio de soluções construtivas passivas e, paralelamente, a obtenção dessa mesma energia ser garantida pela utilização de fontes energéticas renováveis locais.[3]

O conceito NZEB começou a ser bastante aceite com uma determinada interpretação em que eram divididas quatro possibilidades para balanço anual nulo, por via de diferentes métricas, em que cada uma apresenta suas vantagens e desvantagens:[5]

- **Net Zero Site Energy:** Nesta situação a produção de energia é realizada no local e na mesma quantidade de energia renovável, pelo menos, que o edifício consome no período de um ano;
- **Net Zero Source Energy:** Neste caso o edifício irá produzir ou comprar, pelo menos, a mesma quantidade de energia renovável que consome no período de um ano. Será contabilizada toda a energia primária empregada para extrair, processar, gerar e fornecer energia útil ao local. Quando, nestes casos ocorre exportação ou importação de energia para a rede, esta é multiplicada por fatores de conversão próprios de cada fonte;
- **Net Zero Energy Costs:** Nesta hipótese, o objetivo é a realização de um balanço nulo entre os preços de energia exportada e importada para a rede. Deste modo, o que deverá suceder é que o balanço entre o valor pago pelo utilizador à empresa que fornece energia e o que a empresa paga pela energia renovável fornecida pelo utilizador, no período de um ano, seja o mais próximo possível de zero;
- **Net Zero Emissions:** Nesta situação o edifício irá produzir ou comprar energia renovável livre de emissões em quantidade suficiente de forma a que seja compensada as emissões por ele libertadas no intervalo de um ano. De forma a calcular as emissões corretamente, a energia exportada ou importada é multiplicada por fatores de conversão adequados baseados nas emissões da concessionária e do suprimento renovável no local, se este existir.

Em Portugal, atendendo às exigências regulamentares portuguesas que expressam que a energia renovável fornecida localmente deve cobrir, pelo menos, 50% das necessidades em energia primária do edifício e, portanto, a restante proporção de energia seria obtida através da rede. O que não resultaria num modelo NZEB como o gráfico representa, mas poder-se-ia obter um edifício nZEB que também apresenta uma elevada eficiência energética.

De uma forma mais resumida e objetiva o conceito poderá definir-se através da seguinte ilustração: [6]

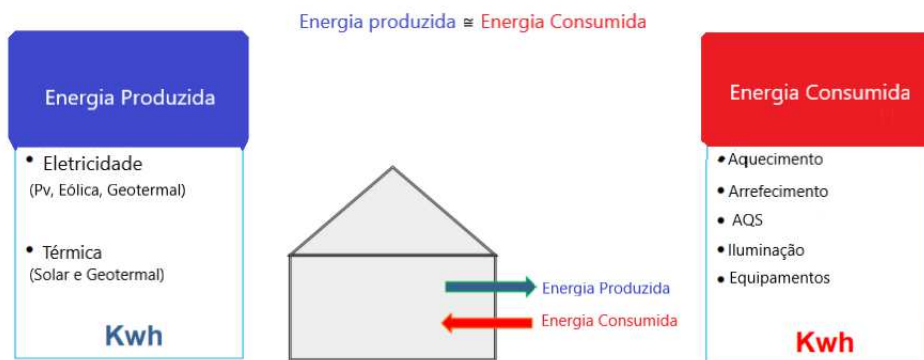


Figura 3 - Clarificação do Conceito Net/Nearly Zero Energy [6]

Por fim, nas Diretivas Europeias não são estabelecidas definições quantificadas do conceito nZEB, sendo permitido a cada Estado-Membro uma interpretação própria e, assim, poderão definir o seu nZEB de uma maneira muito mais flexível, tendo em consideração as condições climáticas específicas de cada país, fatores energéticos, metodologias de cálculo e tradições de construção. Portanto, é uma tarefa desafiadora encontrar um denominador comum para definir um nZEB em escala europeia.[4, 7]

2.2. REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

2.2.1. Diretivas Europeia

Num contexto onde era importantíssimo reduzir drasticamente as emissões de gases com efeito de estufa surge a discussão e assinatura do Protocolo de Quioto a 11 de dezembro de 1997. Apresentava como metas a longo prazo a manutenção da subida de temperatura global abaixo dos 2°C e a redução, até 2020, das emissões de GEE no valor de, pelo menos, 20% em relação ao ano de referência de 1990, e em 30% para a situação de se conseguir um acordo internacional.[4]

A 16 de Dezembro de 2002 entra em vigor a diretiva europeia 2002/91/CE (EPDB-*Energy performance of buildings directive*) que tinha como principal objetivo o aumento da eficiência energética dos edifícios da União Europeia. Porém, com o objetivo de complementar a diretiva existente, em abril de 2006, devido às grandes dificuldades com o cumprimento do protocolo de Quioto, o Parlamento Europeu publica uma nova diretiva com o propósito de melhorar a eficiência energética na utilização final da energia. Assim sendo, entrar em vigor a Diretiva 2006/32/CE que sublinha a importância da implementação de medidas de eficiência energética e estas culminarão, não só na poupança de energia como na diminuição da dependência energética externa.[8]

Em maio de 2010, com a função de reformular a diretiva 2002/91/CE, entrou em vigor a Diretiva europeia 2010/31/UE (EPBD-recast), sendo esta a que, atualmente, se encontra em utilização. Esta tem como principal objetivo a criação de requisitos comuns que permitam um melhor desempenho energético dos edifícios, considerando: as condições climáticas externas, o não comprometimento da segurança, acessibilidade e a utilização prevista do edifício e, sobretudo, a obtenção da melhor rentabilidade económica possível.[4]

No que ao cálculo do desempenho energético diz respeito, este deve ser calculado de acordo com uma metodologia que diferencie o nível regional e nacional. Aliada a esta metodologia de cálculo deverão ser considerados todos os elementos, quer sejam construtivos ou tecnológicos que poderão ter impacto na correta concessão do edifício. Para além disso, esta metodologia deverá abranger o desempenho energético do edifício ao longo do ano, evitando, portanto, uma avaliação única num período de aquecimento para que não se cometam investimentos equívocos. É de carácter obrigatório que esta metodologia cumpra as normas europeias em vigor.

A referida Diretiva estabelece requisitos no que se refere: [4]

“a) Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das frações autónomas;

b) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e das frações autónomas novas;

c) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:

i. Edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;

ii. Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos;

iii. Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;

d) Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;

e) À certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;

f) À inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;

g) Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.”

Os requisitos apresentados pela Diretiva, representam requisitos mínimos e não se opõem a que cada Estado-Membro aplique medidas de proteção mais singulares, desde que estas se encontrem em consonância com o tratado sobre o funcionamento da União Europeia e notificadas na Comissão.

No que a edifícios novos diz respeito, deve ser assegurado por parte dos Estados-Membros, um estudo da viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos de grande desempenho, tais como: Sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias provenientes de fontes renováveis; Cogeração; Redes urbanas ou coletivas de aquecimento ou arrefecimento, em especial baseadas total ou parcialmente em energia proveniente de fontes renováveis; Bombas de calor. [2]

Além disso, deverá realizar-se uma monitorização dos sistemas técnicos dos edifícios, no sentido de minimizar os consumos existentes devido aos usos dos equipamentos. Desta feita, os Estados-Membros definiram requisitos face ao desempenho energético geral, à instalação correta e ao dimensionamento, ajustamento e controlo adequados dos sistemas técnicos instalados nos edifícios existentes. Posto isto, os sistemas que necessitam destes requisitos são: [4]

- ✓ Sistemas de aquecimento;
- ✓ Sistemas de fornecimento de água quente;
- ✓ Sistemas de arrefecimento;
- ✓ Grandes sistemas de ventilação;
- ✓ Ou uma combinação destes sistemas.

Para se otimizar os consumos energéticos da melhor forma possível, os Estados-Membros estimulam a introdução, nos novos edifícios e grandes renovações, de sistemas de: Contagem inteligente, Automatização, Controlo e Monitorização.

Com o propósito de alcançar a meta proposta, foi definida a elaboração, por parte dos Estados-Membros, de planos nacionais que visam incitar a aposta em nZEBs. Tais planos devem incluir :[4]

- Uma descrição pormenorizada da forma como a definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia é aplicada na prática pelo Estado-Membro, que reflita as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, e que inclua um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m² por ano. Os fatores de conversão aplicados para a determinação da utilização de energia primária podem basear-se em valores anuais médios a nível nacional ou regional, e podem ter em conta as normas europeias pertinentes;

- Objetivos intermédios para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos, até 2015;

- Informações sobre as políticas e as medidas financeiras ou de outro tipo para fomentar a criação de edifícios com necessidades quase nulas de energia, incluindo uma descrição pormenorizada dos requisitos e das medidas nacionais respeitantes à utilização de energia proveniente de fontes renováveis nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes renovações no contexto do n.º 4 do artigo 13.º da Diretiva 2009/28/CE e dos artigos 6.º e 7.º da presente diretiva.

Por fim, resta, apenas salientar que os Estados-Membros deverão emitir certificados de desempenho energético para:[4]

- Os edifícios ou frações autónomas construídas, vendidos ou arrendados a um novo inquilino;
- Os edifícios com uma área útil total ocupada por uma autoridade pública superior a 500 m² e frequentemente visitada pelo público. Em 9 de Julho de 2015, este limiar de 500 m² é reduzido para 250 m².

2.2.2. As Diretivas Europeias e a Legislação Nacional

Através de uma análise dos dados obtidos nos Censos de 2011, verificou-se que grande parte do parque habitacional português apresenta uma idade avançada. O seguinte gráfico (Figura 4) expõe o número de edifícios em Portugal em relação à época de construção.

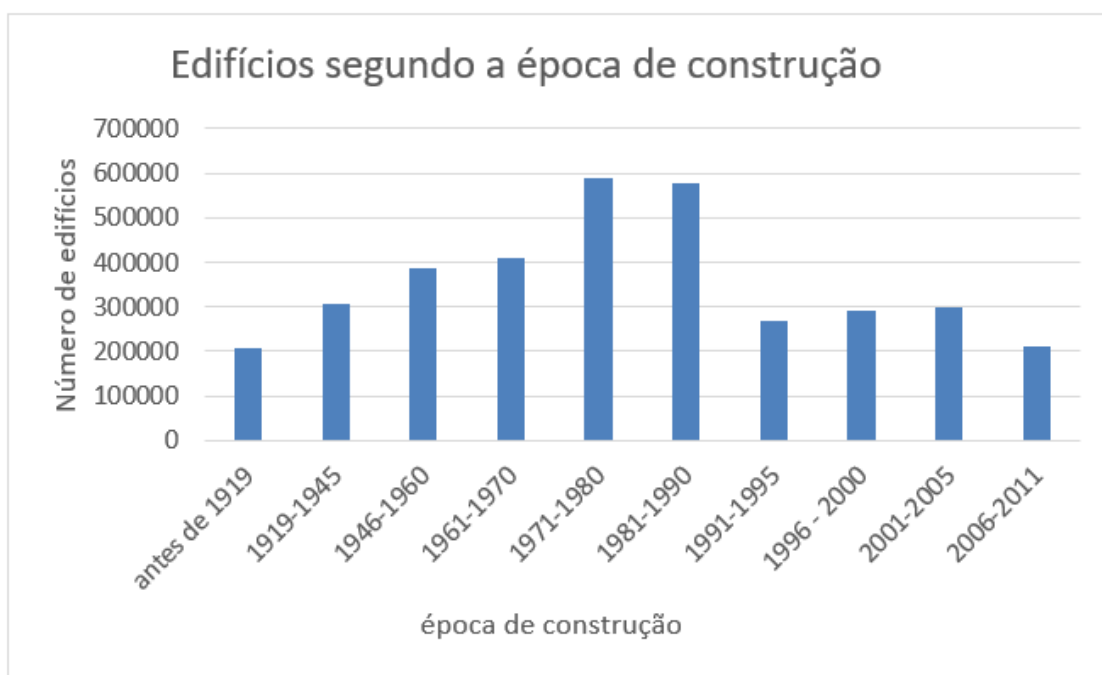


Figura 4 - Quantificação de edifícios por época de construção

Ainda sobre a análise do presente gráfico, salienta-se que 70% dos edifícios em Portugal foram construídos antes dos anos 90. Foi na década de 90 que se concretizou, em Portugal, a preocupação da criação de normas e requisitos relativamente à qualidade térmica e energética. Portanto, existe uma percentagem elevadíssima de edifícios que não apresentam cuidados térmicos mínimos e, por consequência estarão muito mais propensos há inexistência de conforto térmico e apresentarão necessidades energéticas elevadíssimas. [9]

Por este motivo, surge o Decreto-Lei 40/90 e o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), sendo este último, o primeiro documento legal em Portugal que impôs requisitos de projeto a novos edifícios. Em 1998, é publicado o Regulamento dos Sistemas Energéticos

e Climatização em Edifícios (RSECE), Decreto-Lei 118/98 de 7 de maio. Aplica-se, sobretudo, a edifícios comerciais e de serviços, e o seu principal objetivo seria prevenir o sobredimensionamento dos sistemas instalados face às necessidades energéticas dos edifícios, sendo, assim, possível obter melhorias do ponto de vista da eficiência energética.[10]

Com a publicação da Diretiva 2002/91 CE (EPDB) as preocupações energéticas ganham mais ênfase e são assim transpostas para a legislação Portuguesa com a publicação dos Decreto-Lei 78/2006, 79/2006 e 80/2006, correspondentes respetivamente a:

- Estabelecimento do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE e QAI);
- Revisão do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios (RSECE);
- Revisão do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

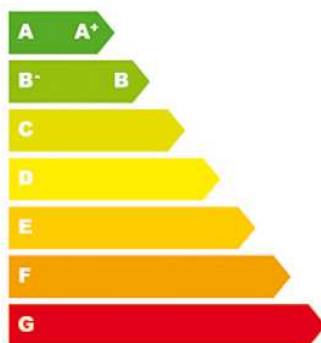
Mais tarde, a 19 de maio 2010, entra em vigor a Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho que deu origem, no ano de 2013, à publicação do Decreto-Lei 118/2013. Este Decreto visa transpor a nova Diretiva para a regulamentação nacional, incluindo um conjunto de disposições acerca dos edifícios nZEB, sublinhando a importância de que o parque edificado deve, de forma gradual, ser composto por este tipo de edifícios. Começando pela aplicação dessa exigência aos edifícios novos, a partir de Janeiro de 2021 para os edifícios não pertencentes a entidades públicas, os Estados Membros comprometem-se também a elaborar um plano nacional de reabilitação do parque de edifícios existentes, onde seria considerada a definição nacional de edifício nZEB.[10]

Com o Decreto-Lei 118/2013 ocorre uma revisão e inclusão num único diploma dos seguintes regulamentos:[10]

- Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)
- Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)
- Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Este documento já foi alvo de algumas alterações, uma das mais recentes com o lançamento do Decreto-Lei nº28/2016. Assim, foi permitida uma melhoria da eficiência energética das habitações em Portugal, facilitando a obtenção dos objetivos definidos na EPDB-Recast, os quais se baseiam na implementação de edifícios com necessidades quase nulas para as novas construções e edifícios governamentais.[11]

Essencialmente, Portugal tem como foco melhorar o desempenho energético dos seus edifícios, garantindo, portanto, resultados positivos na escala de classe energética, onde A+ representa a classe mais eficiente e G a menos eficiente (Figura 5). Assim sendo, são trabalhadas formas de garantir um bom comportamento térmico, essencialmente, pela implementação de medidas passivas no próprio edifício e, sempre que possível, através da introdução de sistemas técnicos que terão a função de climatização, iluminação, aquecimento de águas e aproveitamento de energias renováveis que proporcionarão mais conforto aos utilizadores.



Estes certificados são emitidos por peritos qualificados e focam-se, particularmente, nos consumidores finais, uma vez que são apresentados indicadores de qualidade, medidas de melhoria e a combinação mais aquedada destas. De sublinhar, que para a obtenção da licença de construção por parte das autoridades locais para o caso de edifícios novos é requerida uma classificação mínima de B- no certificado em apreço[10]

O Decreto-Lei 118/ 2013 e documentos legislativos com ele relacionados, implementaram algumas mudanças para reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, por exemplo através da redução dos coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados. Na (Tabela 1) são apresentados esses mesmos valores limite já com a atualização referente ao ano de 2015.[12]

Tabela 1 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência [12]

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}\leq 0.7$	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		
		Regiões Autónomas					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,80	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}\leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,85	0,75	0,65
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Finalmente, a 2 de abril de 2019 surge a Portaria nº 98/2019, onde já são definidas exigências específicas, quantificadas, para os nZEB, de onde se pode reter alguns dos seguintes aspetos: O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) deve ser inferior ou igual a 75

% do seu valor máximo (Ni); O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (Ntc) deve ser inferior ou igual a 50 % do seu valor máximo (Nt); Os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suprir pelo menos 50 % das necessidades anuais de energia primária. Sublinhar que estes parâmetros devem ser cumpridos na sua totalidade a partir de 1 de janeiro de 2021, em todos os novos edifícios.[13]

2.3. EXIGÊNCIAS E PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO

2.3.1. Conforto térmico nos nZEB`S

Claramente, que nos dias de hoje, é importantíssimo ter em consideração planos de construção sustentáveis e os edifícios nZEB enquadram-se perfeitamente por todas as razões já expostas anteriormente. No entanto, não poderá ser esquecida a importância de garantir conforto e bem-estar para os utilizadores, assim é fulcral tomar todas as medidas não só para obter bons níveis de desempenho energético, mas também para garantir conforto térmico.

O conceito de conforto térmico representa a interação existente entre o corpo e o ambiente e, dada à singularidade de cada um é necessário considerar toda a subjetividade subjacente. As mudanças de temperatura poderão ter o efeito de provocar sensações de desconforto, uma vez que a temperatura corporal não deve ser inferior a 34°C nem superior a 37°C e face a isso o corpo tem a função de se proteger através de mecanismo termorreguladores que permitem manter a homeostasia.[14]

Existem já, diversas definições para conforto térmico, no entanto, a norma EN ISO 7730 (2005) define-o como o estado psicológico que expressa a satisfação com o ambiente térmico. Tal como já referido anteriormente, as perceções térmicas são variáveis e dependem de determinados fatores tais como: vestuário, metabolismo, atividade e espaço onde a pessoa se encontra. Além dos fatores associados a cada pessoa ter-se-á de considerar parâmetros externos: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade do ar.

Por fim, de referir que todos estes fatores são preponderantes nas perdas e ganhos de energia, porém de diferentes formas. A temperatura do ar e a temperatura média radiante são os parâmetros com mais peso e que exigem, sempre, a sua leitura. Através da média destes valores poderemos obter a temperatura operativa (“É a temperatura uniforme de um contorno radiante negro imaginário com o qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que troca com o seu ambiente real não uniforme”).[15]

2.3.2. Categorias de Conforto: PMV e PPD

A norma EN 15251 apresenta uma elucidação do que representa cada uma das categorias assim como sugere aplicações das mesmas. No seguinte quadro observa-se a descrição de cada uma das quatro categorias existentes na norma.

Tabela 2 - Explicação das categorias definidas pela norma EN 15251, 2007 [15]

Categoria	Explicação
I	Alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos
II	Nível normal de expectativa e deve ser utilizado para novas construções e renovações
III	Um nível aceitável e moderado de expectativa e pode ser usado para edifícios existentes
IV	Valores fora dos critérios para as categorias anteriores. Esta categoria só deve ser aceite para uma parte limitada do ano

Face à subjetividade existente relativamente ao conforto térmico surge a criação do índice PMV (*Predicted Mean Vote* – voto previsto médio) que recorre à avaliação de um grande grupo de pessoas relativamente a um determinado ambiente. A perceção térmica varia, tal como já foi referido, com fatores como o tipo de roupa, atividade realizada e essencialmente da pessoa em si. Desta forma o PMV é calculado através de uma escala que medirá o ambiente térmico de acordo com a opinião de um grupo de pessoas, essa escala varia de muito quente a muito frio (Figura 6)[15]

Muito quente	3
Quente	2
Ligeiramente quente	1
Neutro	0
Ligeiramente frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

Figura 6 - Escala de sensibilidade térmica [15]

O nível de conforto será obtido quando o PMV é neutro e, portanto, apresenta um valor igual a zero. O índice em questão é calculado em função dos seguintes fatores:[15]

- Isolamento conferido pelo vestuário (Icl) [Clo]
- Taxa metabólica (M) [met]

E quatro parâmetros ambientais:

- Temperatura do ar (t_a) [°C]
- Temperatura radiante média (t_r) [°C]
- Velocidade do ar (V_a) [m/s]
- Humidade relativa (HR) [Pa]

Já relativamente ao índice PPD/ (*Predicted Percentage of Dissatisfied* – percentagem previsível de insatisfeitos), calculado através da equação 1, este visa obter uma previsão da percentagem de insatisfação (incómodo do ponto de vista térmico) de um determinado grupo de pessoas face às condições térmicas existentes. Deste modo, são consideradas as pessoas que elegem na escala PMV os valores extremos (-3,-2,2,3) para descrever a sua sensação térmica.[15]

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,036PMV^4+0,2179PMV^2)} \quad (1)$$

Estes dois índices (PMV E PPD) são correlacionados e para cada categoria são estabelecidos, pela normalização existente, valores máximos de PPD que irão corresponder a um certo intervalo de valores de PMV: [15]

Tabela 3 - Valores de PPD e PMV para edifícios [15]

Categoria	Índices de conforto térmico	
	PPD (%)	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 ou PMV > +0,7

2.3.3. Causas para desconforto térmico local [14]

Em seguida serão apresentadas algumas das causas que originam desconforto térmico:

- **Correntes de ar-** São uma das causas mais comuns de desconforto numa habitação e normalmente tendem a atuar sobre zonas do corpo mais desprotegidas como pescoço e cabeça. A percentagem de indivíduos insatisfeitos devido às correntes de ar pode ser determinada através da seguinte equação(equação 2): [15]

$$DR = (34 - t_a) \times (v_a - 0,05)^{0,62} \times (0,37 \times v_a \times Tu + 3,14) \quad (2)$$

Onde:

DR – quantifica a % de pessoas que poderão considerar que o movimento do ar (nas condições de t_a , v_a e Tu) constituiu uma corrente de ar incómoda;

t_a – Temperatura do ar local [°C];

v_a – Velocidade media local do ar [m/s];

Tu - Intensidade de turbulência local [%].

- **Assimetria de radiação** - Num determinado espaço é normal que as diversas superfícies que o constituem se encontrem a diferentes temperaturas, quer pela sua exposição solar, tipo de material, etc, assim cada superfície terá emissões de radiação diferentes, causando, portanto, uma assimetria de temperatura que poderá causar desconforto térmico.
- **Assimetria vertical de temperatura** - Consiste na diferença de temperatura do ar existente entre a zona da cabeça e a zona do tornozelo que causará sensações de desconforto aos utilizadores. Segundo a norma ASHRAE (2004) o valor máximo de gradiente de temperatura vertical que permite garantir conforto é de 3°C.
- **Pavimento excessivamente quente ou frio** - A temperatura a que o pavimento se encontra é muito importante na garantia de conforto de uma determinada habitação e, portanto, pavimentos muito frios ou muito quentes poderão ser causa de grande desconforto. A norma ASHRAE (2004) salienta um intervalo de temperatura do pavimento entre os 19 e 29°C de forma a evitar desconforto quando se contacta com ele.

2.3.4. Garantia das condições de conforto

A temperatura de conforto numa habitação é variável e é dependente da época do ano em questão, uma vez que as necessidades no verão e no inverno são bastante diferentes. Deste modo definem-se determinadas condições desejáveis para cada um desses períodos:

Inverno (estação de aquecimento): [15]

- To (temperatura operativa) entre 20 e 24°C;
- Diferença de temperatura do ar na vertical entre um 1,8m e 0,1 m acima do pavimento deve ser menor que 3°C;
- Temperatura do pavimento entre 19 e 26°C;
- Velocidade média do ar menos que 0,15 m/s;
- Assimetria da temperatura radiante devido a janelas ou outras superfícies verticais menos que 10°C;
- Assimetria da temperatura radiante devido a painéis radiantes no teto menos que 5°C.

Verão (estação de arrefecimento): [15]

- To (temperatura operativa) entre 23 e 26°C;
- Diferença de temperatura do ar na vertical entre um 1,8m e 0,1 m acima do pavimento deve ser menor que 3°C;
- Velocidade média do ar menos que 0,25 m/s.

2.4. CLIMA MEDITERRÂNICO

Só através de um conhecimento pleno do tipo de clima que se faz sentir num determinado local é possível tomar as decisões mais acertadas para maximizar a eficiência energética de uma determinada habitação. As estratégias construtivas assim como a tecnologia a utilizar numa habitação estão intimamente conectadas com o tipo de clima local e suas características como temperatura, velocidade do vento, humidade, exposição solar, etc.

A Figura 7 representa um mapa de temperaturas médias anuais que se fazem sentir na Europa, uma vez que a temperatura é determinante na seleção do tipo de envolvente do edifício: [16]

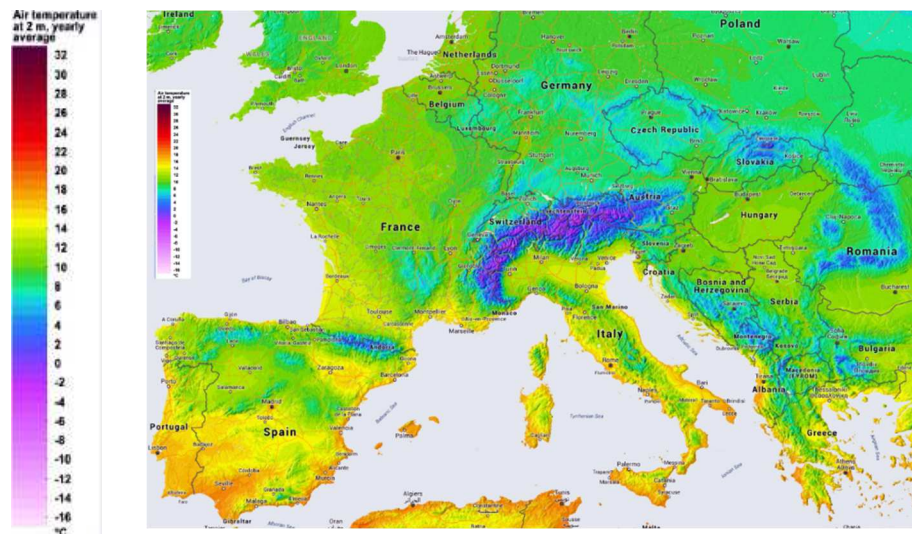


Figura 7 - Mapa da temperatura média anual na Europa [16]

A imagem permite concluir que o sul da Europa, principalmente a zona banhada pelo mar Mediterrâneo, mas também parte de Espanha e de Portugal apresentam uma temperatura média muito semelhante, por oposição ao norte da Europa e uma grande parte da Europa central que são zonas claramente mais frias.

Na presente dissertação pretende-se estudar as dificuldades e oportunidades da aplicação de edifícios nZEB no sul da Europa, onde predomina, sobretudo, um clima mediterrânico e, portanto, é importante entender as suas principais características e averiguar as vantagens e desvantagens deste.

No sul da Europa, durante o verão, predomina um clima seco com temperaturas elevadas e, mais importante ainda, prevalecem condições de céu limpo que permite obter grandes ganhos solares. Na seguinte imagem é possível observar um mapa da radiação solar média na Europa: [17, 18]

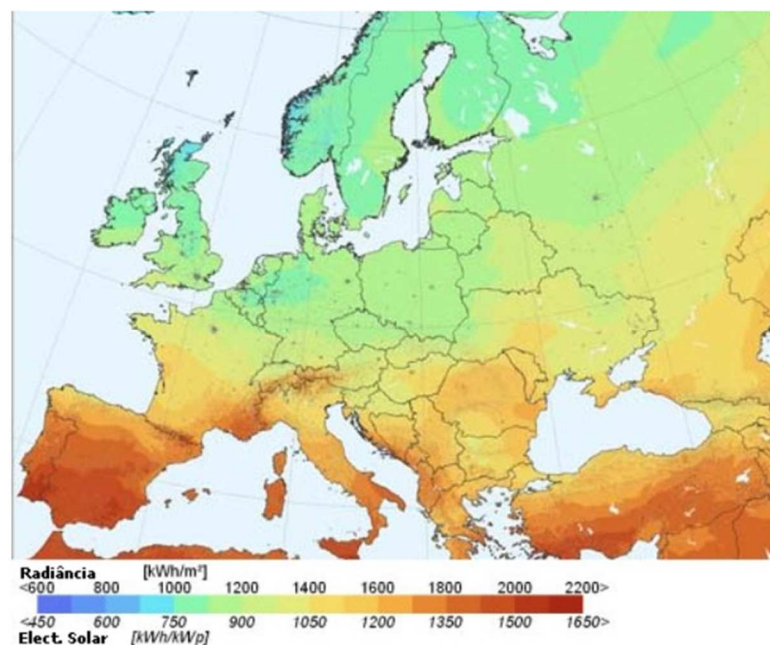


Figura 8 - Mapa da radiação média solar na Europa [18]

Por seu turno, durante o Inverno, são comuns períodos de elevada precipitação ainda que se trate de valores mais baixos comparativamente com o norte da Europa. Relativamente à temperatura que se faz sentir na região, é de notar as amplitudes existentes, uma vez que a zona mais a oeste (Portugal) com grande proximidade ao oceano Atlântico é afetada por brisas marítimas e na zona este (Grécia) existe uma influência do clima da Europa central e norte de África. Pode-se concluir que a zona a este é mais quente no verão, porém mais fria no inverno. [17]

No sentido de acrescentar um pouco mais de informação relativamente ao clima em questão, o efeito do vento poderá ser um fator importante e preponderante na escolha de determinadas tecnologias que recorram à sua força na obtenção de energia (Figura 9)[18]

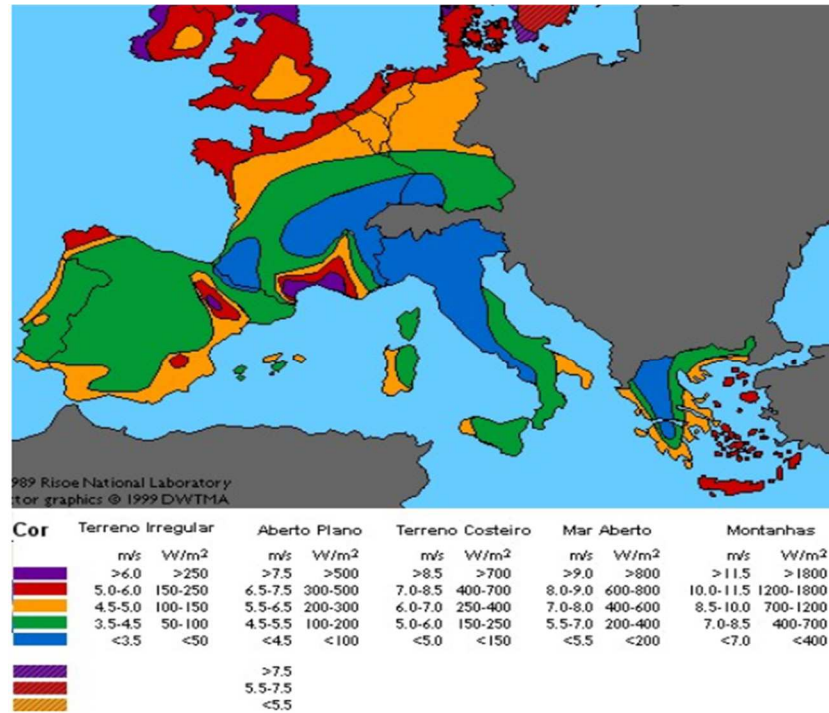


Figura 9 - Efeito do vento nas diferentes regiões da Europa [18]

2.5. PORTUGAL E OS NZEB: ESPECIFICIDADES, OPORTUNIDADES E DIFICULDADES

2.5.1 Enquadramento dos nZEB em Portugal

Para terminar o presente capítulo considerou-se interessante ilustrar a situação dos nZEB em Portugal do ponto de vista das especificidades, oportunidades e dificuldades existentes. Surge, portanto, no sentido de descortinar esses fatores, uma vez que será em Portugal que se estudará, numa vertente mais prática da presente dissertação, a implementação de uma habitação nZEB em diferentes localidades do país.

2.5.2 Panorama energético nacional em perspetiva com a Europa

A Figura 10 tem como objetivo ilustrar a evolução da produção de eletricidade por fonte em Portugal Continental entre abril de 2018 e abril de 2020.

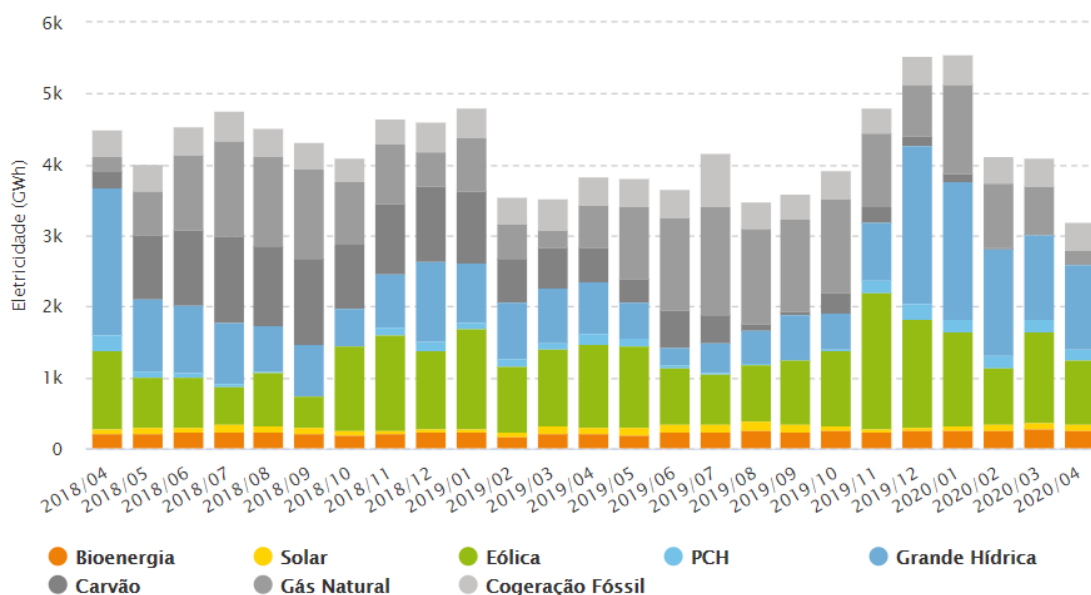


Figura 10 - Evolução da produção de eletricidade em Portugal [19]

De uma forma geral, pode-se reter, da imagem acima, um decréscimo acentuado da utilização de energias fósseis como carvão, gás natural e cogeração fósil o que representa um fator extremamente positivo e, por oposição, são notados aumentos na produção de energia eólica e grande hídrica. Um dado extremamente satisfatório a retirar é que nos primeiros quatro meses do ano, a eletricidade gerada por fontes renováveis foi de 72,1% (12243 GWh) e os centros electroprodutores fósseis representam, os restantes, 27,9% (4740 GWh).[19]

Para se seja perceptível a evolução nacional na produção de energias renováveis, a próxima imagem (Figura 11), ilustra desde o início do presente século, um crescimento notório do uso de fontes renováveis. [19]

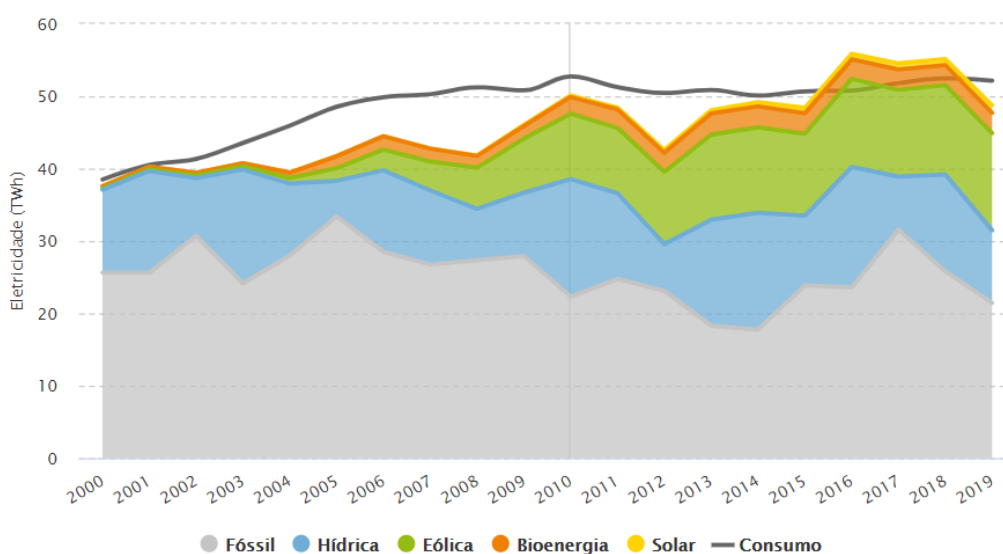


Figura 11 - Evolução da produção de energias renováveis em Portugal desde o início do século [19]

Passando para uma perspetiva mais globalizada, que servirá como ponte para realizar algumas analogias entre Portugal (ou países de sul da Europa) com os restantes países europeus no que diz respeito a alguns fatores energéticos.

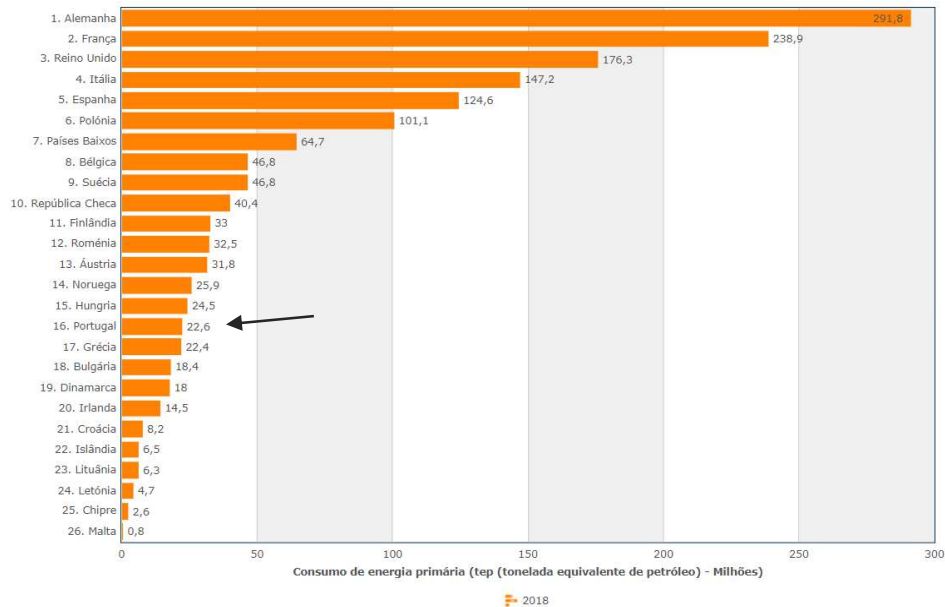


Figura 12 - Consumo de energia primária em países Europeus para o ano de 2018 [20]

Para o ano de 2018, é esmagadora a diferença entre os consumos de energia primária das grandes potências europeias (Alemanha, França e Reino Unido) comparativamente com os restantes países. De seguida, será apresentado um gráfico que permitirá aclarar, a contribuição das energias renováveis nos consumos dos países europeus. [20]

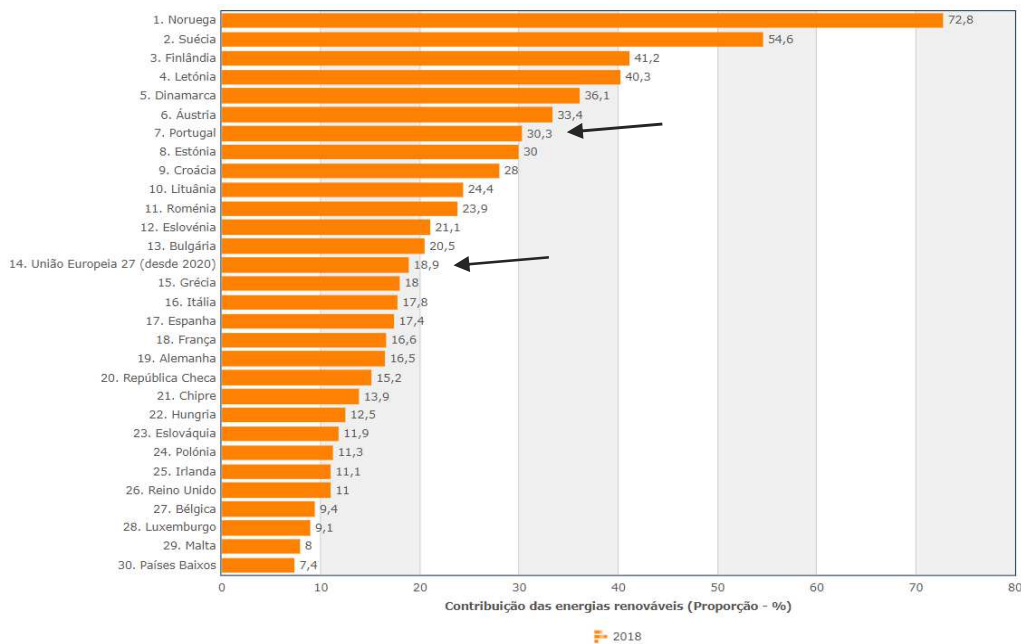


Figura 13 - Contribuição das energias renováveis no consumo de energia final (%) para o ano de 2018 [20]

Pela análise do gráfico relativo ao ano de 2018, verifica-se que os países nórdicos, como Noruega, Suécia e Finlândia lideram indiscutivelmente este ranking. Uma das principais razões, poderá ser facilmente assumida pela sua cultura vanguardista e inovadora, além de serem países com situações económicas extremamente estáveis. Porém os valores para Portugal são extremamente satisfatórios, uma vez que ocupa o 7º lugar nesta tabela com um valor de 30,3% de contribuição de energias renováveis no consumo de energia final. Além disso, é importante sublinhar que este valor se encontra bastante acima do valor medio da união europeia. A justificação destes valores tão positivos deve-se ao investimento na produção de energia através do vento (Eólica) e pela força da água (Hídrica), algo que já foi exposto anteriormente. [20]

2.5.3. Portugal no alcance aos nZEB em contexto de país do sul da Europa

A definição dos requisitos a adotar para os edifícios nZEB depende, em grande parte, das condições climáticas presentes nos países Europeus. Portanto, é fundamental garantir um equilíbrio relativamente às necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento para que seja promovido um elevado desempenho dos edifícios. No norte da Europa consegue-se de forma mais simples alcançar condições de conforto no verão e, portanto, grande parte da energia utilizada é canalizada para o aquecimento, deste modo, o principal objetivo de projeto consiste, sobretudo, na redução das necessidades de aquecimento. Por oposição, nos países a sul da Europa, incluindo Portugal, graças às temperaturas elevadas no verão e à radiação solar (Figura 14) resulta a necessidade de obter um equilíbrio entre as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento no sentido de salvaguardar potenciais conflitos de conforto tanto no verão como no inverno. O que resulta, essencialmente, na conceção de estratégias ativas ou passivas (ou ambas) e suportar os custos associados às mesmas.[21]

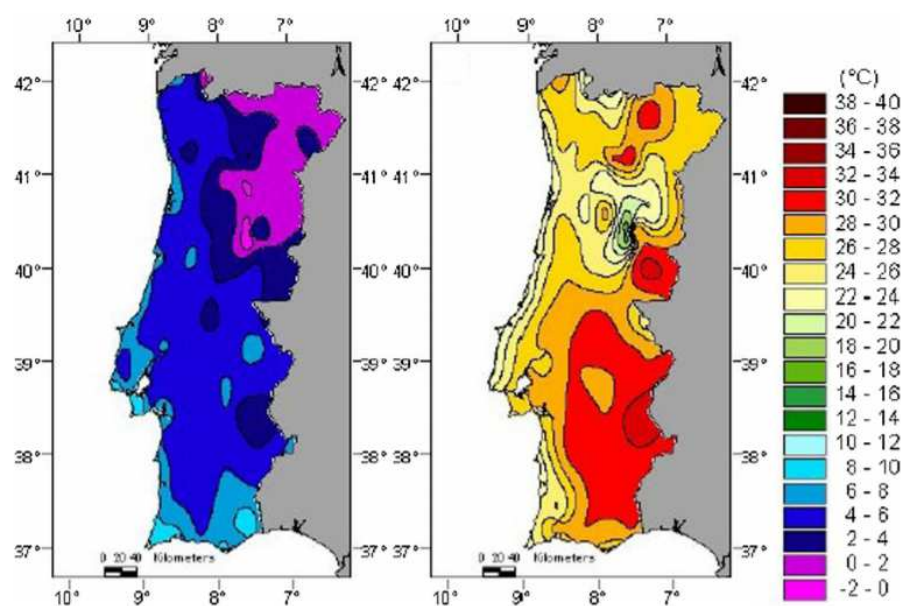


Figura 14 - À esquerda, temperatura mínima média no Inverno e à direita, temperatura máxima média no verão [21]

Nos países onde se acentuam temperaturas mais elevadas, o valor para necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é mais baixo e assume valores, normalmente, entre os 15 e os 30 kWh/(m².ano), e assim, tende a ser mais simples de satisfazer do que as necessidades para arrefecimento.

Muitos países europeus elegeram seguir e adotar o conceito de “Passiv Haus”- método de origem alemã, representando este um dos métodos mais conhecidos para atingir os nZEB, e que permite, que se obtenham valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento inferiores a 15 kWh/(m² .ano). Porém as “Passiv Haus” são vistas como um projeto de alta tecnologia do ponto de vista construtivo e de design o que não facilita a sua viabilidade em qualquer país europeu, sobretudo nos que possuem mais carências económicas. Além disso, este tipo de construção não é visto como referência em países do sul da Europa (incluindo Portugal), devido à forte dependência da ventilação mecânica com recuperação de calor, à necessidade de promover ganhos solares muito significativos, isolamento térmico muito reforçado e elevados níveis de estanquidade da envolvente. Esta estratégia, para além de ser problemática em termos de risco de sobreaquecimento no Verão, poderá, muito provavelmente, não ser rentável como, uma vez que em grande parte do território Português os invernos são suaves. [21]

Pode-se assim concluir que é um árduo desafio a implementação e garantia dos requisitos relativos a edifícios de baixas necessidades energéticas.

Em [21], são apresentadas algumas vantagens e desvantagens, relativas a Portugal face aos nZEB:

Vantagens:

- Do ponto de vista de desempenho térmico e risco de sobreaquecimento, utilizando o fator de utilização de ganhos térmicos, foi demonstrada, seguindo a atual regulamentação térmica, a possibilidade de garantir conforto térmico interior durante o verão, recorrendo a meios passivos e a ações dos ocupantes;
- O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolveu um modelo adaptativo de conforto térmico, tratando-se de uma adaptação, ao contexto Português, do modelo especificado na norma ASHRAE 55 e EN 15251, o que facilita comparações de conforto entre diferentes países europeus;
- Ainda que não possa ser considerada uma ligação de influência direta com a qualidade das habitações, Portugal é, consistentemente, identificado como um país com um número elevadíssimo de mortes no Inverno comparativamente com outros países europeus, portanto a implementação dos nZEB poderá ser muito positivo.

Desvantagens:

- No caso de edifícios existentes, a transição para os requisitos nZEB introduz restrições adicionais para o controlo dos riscos de sobreaquecimento, como: orientação solar, a organização dos espaços internos e a relação área de envidraçados/área de pavimento, tornando-se difícil ou impossível a otimização em cidades portuguesas, criando algumas limitações nos elementos construtivos com os quais trabalhar;
- O sector da energia solar em Portugal é impulsionado principalmente por pequenas instalações, nomeadamente micro e mini instalações;
- As condições climáticas, as restrições económicas e os hábitos culturais apontam para uma certa inércia na mudança da baixa para a alta tecnologia de soluções nZEB;
- A abordagem de projetos nZEB e o conhecimento das exigências de conceção de um nZEB não é comum para uma grande parte de arquitetos e engenheiros em Portugal, o que, em muitos casos, conduzirá a soluções ineficientes, edifícios não otimizados e custos mais elevados.

Uma das principais oportunidades em Portugal (e na globalidade dos países do sul da Europa), que poderá ser um fator fulcral na implementação dos nZEB é o nível de exposição solar (Figura 15) que o país apresenta. A aposta na produção energética através do sol deverá ser tida em consideração, até

porque analisando as fontes de energia renovável utilizadas em Portugal, a energia solar é das que menos produz.

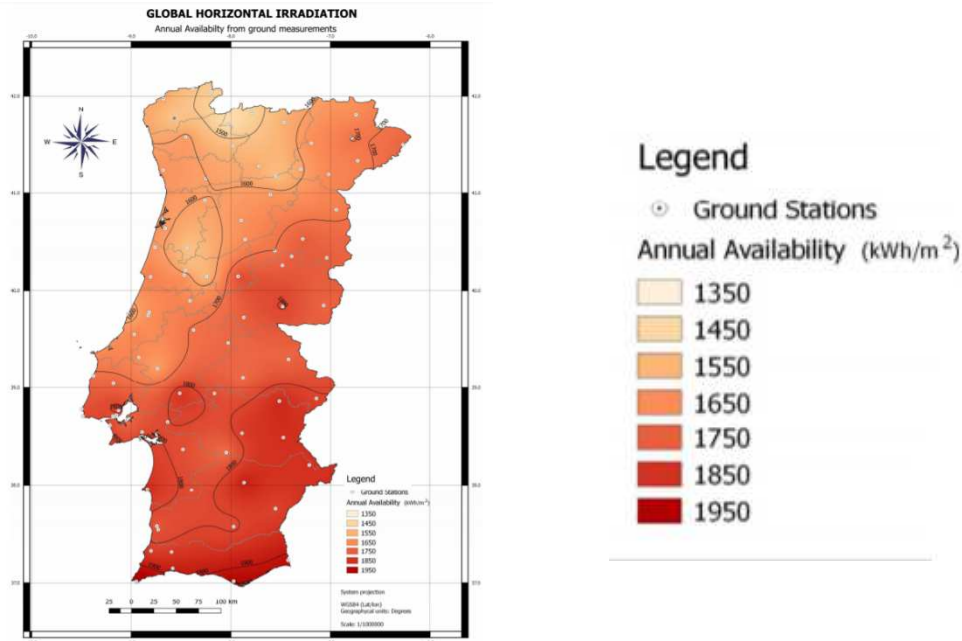


Figura 15 - Disponibilidade anual de radiação solar global (kWh/m²) em Portugal [22]

A região sul do país é a que apresenta maior disponibilidade anual de radiação solar global, uma vez que existe um elevado número de horas de sol nessa região, devido às condições atmosféricas mais favoráveis que estes locais dispõem para aproveitamento solar.[22]

Para que seja perceptível um termo de comparação relativamente a este fator, será apresentado um mesmo mapa de radiação solar da Alemanha:[23]

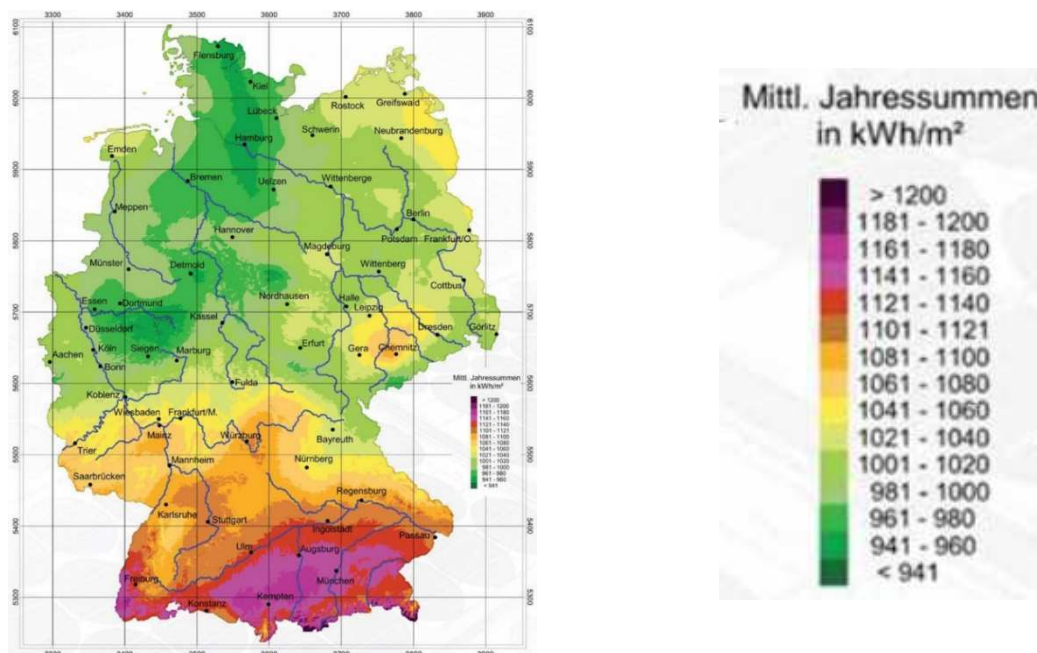


Figura 16 - Disponibilidade anual de radiação solar global (kWh/m²) na Alemanha [23]

Observa-se claramente, a discrepância existente entre a radiação solar que incide sobre Portugal e sobre a Alemanha, uma vez que praticamente qualquer zona em Portugal apresenta maior incidência de radiação do que a zona sul da Alemanha que é a que mais beneficia da exposição solar.

São, ainda, sugeridos valores limite de desempenho nZEB a implementar em diversos países de sul da Europa e, portanto, no caso de Portugal são apresentados os valores indicados na tabela 4:[21]

Tabela 4 - Valores limite de desempenho nZEB sugeridos para Portugal [21]

Zona climática	Necessidades de energia para aquecimento kWh/(m ² .ano)	Zona climática	Necessidades de energia para arrefecimento kWh/(m ² .ano)	Energia primária kWh _{EP} /m ² .ano	Energia primária obtida através de fontes renováveis
I1	30	V1	0	33	50%
I2	40	V2	15		
I3	70	V3	30		

No seguimento dos valores sugeridos no quadro anterior, essencialmente, no que diz respeito à energia primária, torna-se claro que a variabilidade climática existente em diferentes pontos da Europa criará diferentes limites e requisitos locais. Assim sendo, grande parte dos países da união europeia já detêm planos nacionais para implementação de edifícios nZEB, o que se poderá observar na tabela 5 que apresenta os requisitos de consumo de energia primária anual para edifícios de habitação novos para diferentes países:[24]

Tabela 5 - Requisitos de consumo de Energia primária anual em diferentes países da Europa [24]

País	Requisitos de Consumo de Energia Primária Anual para Edifícios de Habitação Novos [kWh/ (m ² . ano)]
Áustria	Limite máximo estabelecido entre os 160 kWh/(m ² .ano)
França	Limite máximo estabelecido nos 50 kWh/(m ² .ano)
Bélgica	Limite máximo estabelecido nos 45 kWh/(m ² .ano)
Alemanha	KfW Efficiency House 40 (edifício de habitação que consome apenas 40% da energia anual primária de uma casa semelhante de referência)
Dinamarca	Limite máximo estabelecido nos 20 kWh/(m ² .ano)
Grécia	Limites estabelecidos entre os 34-58 kWh/(m ² .ano) para edifícios de habitação unifamiliares e entre os 28-51 kWh/(m ² .ano) para edifícios de habitação multifamiliares
Itália	Limite máximo estabelecido nos 36 kWh/(m ² .ano)
Espanha	Limite máximo estabelecido entre os 40-70 kWh/(m ² .ano)

Como já foi referido anteriormente, apenas em 2019, Portugal, através da Portaria 98/2019 define limites relativamente ao consumo de energia primária, efetuando algo muito semelhante ao que é apresentado na Alemanha, com a diferença que o valor limite é 50% da energia anual primária de uma casa semelhante de referência.

Este rácio (Equação 3) mencionado anteriormente é detalhado no REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) e será através do seu resultado que será obtida a classe energética. De notar que a sua aplicação, para efeitos de certificação, abrange edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções.[25]

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{Nt} \quad (3)$$

Onde,

N_{tc} – Valor das necessidades nominais anuais de energia primária ($kWh/m^2 \cdot ano$)

Nt – Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária ($kWh/m^2 \cdot ano$)

Deste modo, partindo do resultado da equação acima se poderá atribuir uma classe energética:[25]

Tabela 6 - Intervalos de R_{Nt} para determinação da classe energética [25]

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

A grande limitação presente nesta classificação prende-se com o facto de não limitar as necessidades nominais anuais de energia primária (exceto para edifícios novos, que são classificados entre A+ e B-, necessariamente, obviamente que existe um limite para as Necessidades de Energia Primária dado pelo Nt), o que poderá resultar em que um edifício cumpra a classificação bastante aceitável e, ainda assim, não se encontre nos parâmetros ideais dos nZEB. Além disso, o facto de não quantificar energia para iluminação e equipamentos eletrodomésticos torna, ainda mais incógnita a verdadeira eficiência da habitação.

Por seu turno, também é de notar que o REH procura, melhorar o comportamento térmico, o conforto e reduzir as necessidades energéticas dos edifícios e, portanto, foca-se, principalmente, nas características

da envolvente opaca e envidraçada, ventilação e nos sistemas técnicos utilizados. É, também, incentivado o uso a sistemas de produção de energia proveniente de fontes renováveis, o que permitirá reduzir as necessidades energéticas do edifício. Para este caso o REH definiu valores mínimos aceitáveis e de referência, o que permite realizar comparações com os valores presentes em regulamentos e planos nacionais de outros países na europa que já se encontrem mais familiarizados com o conceito nZEB.[25]

Por fim, para que seja notada a situação nacional relativa à certificação energética de edifícios para habitação, a Figura 17 ilustra os certificados emitidos por classes energéticas desde 2014 até a atualidade:[26]

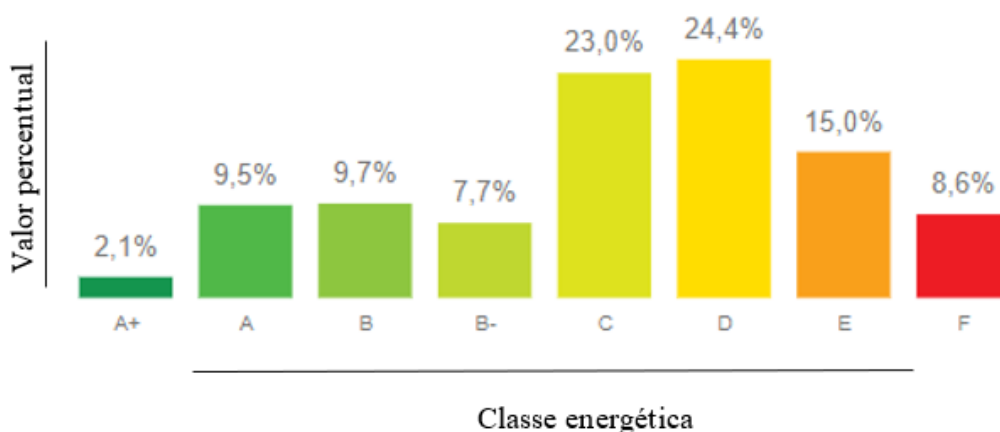


Figura 17 - Valor percentual de classes energéticas emitidas para edifícios de habitação, desde 2014, em Portugal [26]

No que diz respeito, exclusivamente, a edifícios concluídos novos de habitação para o mesmo período pode-se observar o seguinte panorama:[26]

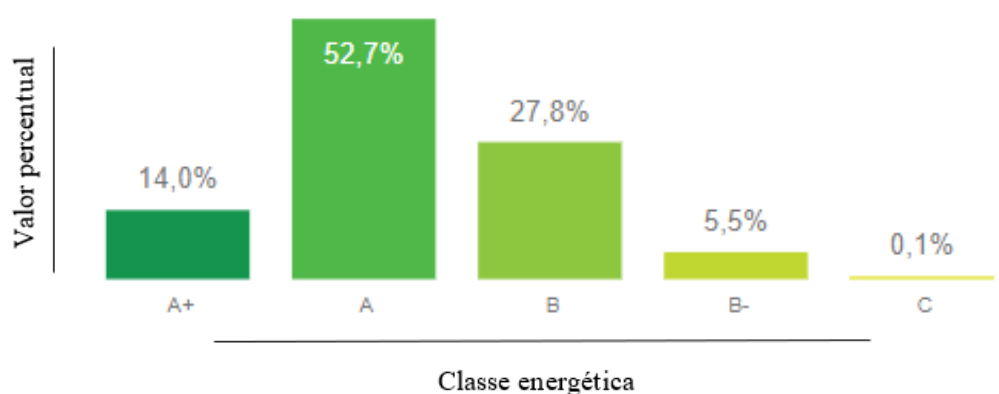


Figura 18 - Valor percentual de classes energéticas emitidas para edifícios novos de habitação, desde 2014, em Portugal [26]

Finalmente, importa realçar que é notória a tentativa, ainda que muito pelo auxílio das exigências regulamentares impostas nos últimos anos, de incrementar o número de edifícios com certificações energéticas mais elevadas, o que pode ser facilmente representado pelo grande crescimento observado entre 2014 e 2019, sendo que no ano de 2014, apenas 7,4% dos novos edifícios concluídos nesse mesmo ano possuía certificação A+ e no ano de 2019 registou-se um valor de 14,5%, praticamente o dobro.

2.5.4. O importante papel da Comissão Europeia na promoção dos nZEB

Uma das principais dificuldades dos países do sul da Europa prende-se com a sua incapacidade económica comparativamente com os países do norte da Europa, e, assim, é importantíssima a criação de apoios que permitam viabilizar a aplicação de construções mais eficientes com tecnologias mais adequadas que conduzirão, de uma forma mais simples, ao alcance dos nZEB.

A partir de 2016, o Banco Europeu de Investimento (BEI) e os estados membros, concederam mais de 10 mil milhões de euros de fundos públicos e privados para a aplicação em melhorias de eficiência energética e a utilização de energias renováveis em edifícios, através da “Iniciativa Europeia para os edifícios”. Esta iniciativa permitiu viabilizar vários projetos o que incrementará uma maior confiança no mercado de edifícios com energias limpas. [27]

Concretamente, na situação de Portugal surgiram apoios financeiros provenientes de fundos que disponibilizam verbas para programas de eficiência energética, como por exemplo:[28]

- Fundo de Eficiência Energética (FEE);
- Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC):

Este plano tem como principal objetivo o apoio financeiro a iniciativas que promovam a eficiência e redução de consumos elétricos. Com a implementação das medidas presentes no plano foi possível obter benefícios sociais a rondar os 111 milhões de euros, valor muito mais elevado do que o investimento de 23 milhões realizado. Os efeitos benéficos das medidas serão notados até 2037, o que representará, aproximadamente, 1470 GWh de consumo evitado acumulado;

- Portugal 2020:[29]

De notar, que este último se tratou de um acordo de ligação entre Portugal e a Comissão Europeia onde aturam os 5 Fundos Europeus Estruturais e de Investimento – FEDER, Fundo de Coesão, FSE, FEADER e FEAMP – Assim, definiram-se os princípios gerais a nível de desenvolvimento económico, social e territorial em Portugal, no período entre 2014 e 2020. Deste modo, Portugal auferiu de um financiamento no valor de 25 mil milhões de euros para o período em questão destinados a diversos setores, sendo que 25% serviu de aplicação no domínio da Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos.

3

MEDIDAS A ADOTAR PARA ALCANÇAR UM nZEB

3.1. REDUÇÃO DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS

Este capítulo visa expor uma série de técnicas e estratégias que permitem reduzir as necessidades energéticas de um edifício com a preocupação constante de garantir o conforto interior. No entanto, também é realizada uma abordagem mais teórica que permitirá entender alguns conceitos da térmica dos edifícios que serão úteis no decorrer da dissertação.

Além disso, numa segunda fase serão expostas as principais formas de produção de energia “limpa” permitindo que determinada habitação se torne autossustentável e constitua um paradigma de eficiência energética.

Como primeiro tópico no desenvolvimento de um projeto de um edifício é fulcral pensar o edifício de forma a minimizar, as suas necessidades energéticas. Assim, deverá existir uma simbiose entre quatro fatores importantíssimos:[6]

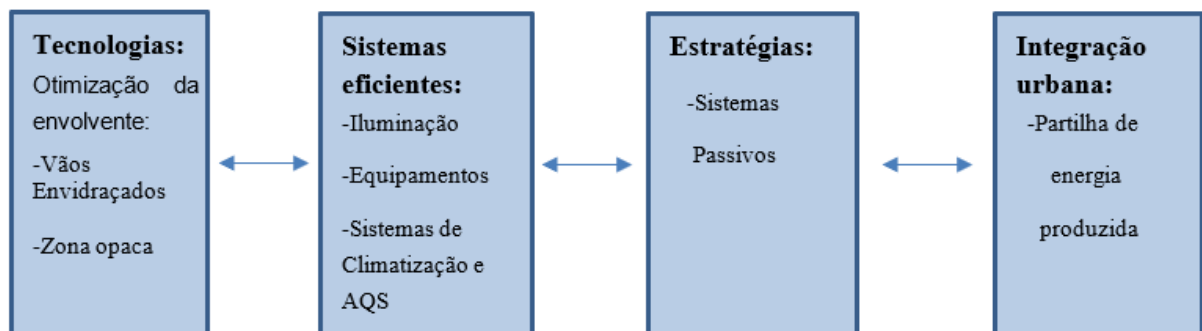


Figura 19 - Fatores fundamentais para alcançar os nZEB [6]

3.1.1. Estratégias construtivas

3.1.1.1. Orientação do edifício [6]

A definição de uma correta orientação constitui uma decisão fulcral no futuro desempenho energético do edifício. Para orientar devidamente um edifício é necessário conhecer o trajeto realizado pelo sol ao longo do dia e como essa trajetória varia ao longo do ano.

A Figura 20 demonstra que a orientação que mais favorece os ganhos solares em todo o hemisfério norte é a Sul e, portanto, será através da fachada orientada a sul que se procurará obter mais ganhos energéticos que permitam não só beneficiar termicamente o edifício como também garantir iluminação natural. Estes ganhos energéticos são fundamentais no inverno, no entanto podem transformar-se em grandes problemas de sobreaquecimento no verão, pelo que o edifício deverá estar provido de sistemas de sombreamento pelo exterior. De salientar que a fachada orientada a norte, apenas, recebe radiação solar em curtos períodos do dia e durante o verão, já as fachadas a este e oeste apresentam níveis baixos de radiação no inverno, porém, durante o verão podem resultar em graves problemas de sobreaquecimento devido a longas horas de exposição solar.

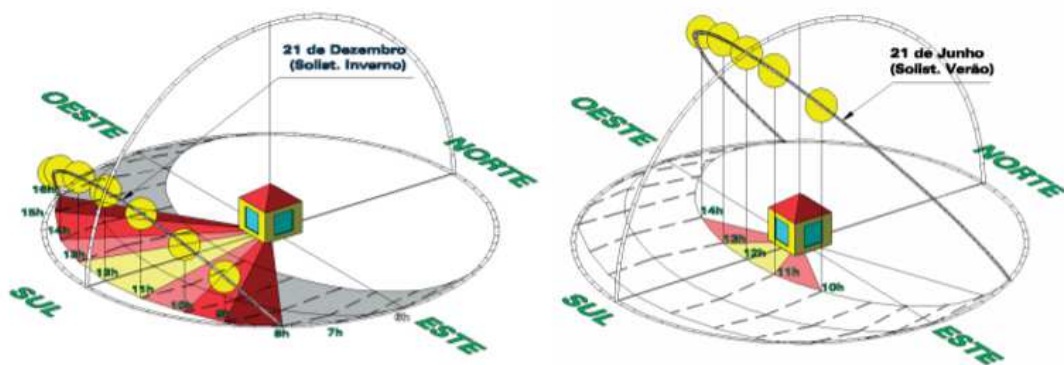


Figura 20 - Radiação solar diária no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) [6]

De forma a que seja mais simples entender a influência da radiação ao longo do ano em cada uma das fachadas, a Figura 21 representa, para a cidade de Lisboa, a radiação solar global em planos verticais, em KW.h/m^2 , que incide sobre cada uma das orientações.[30]

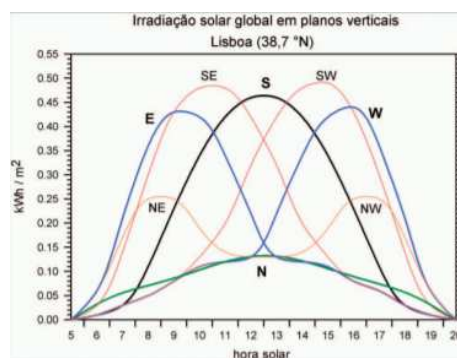


Figura 21 - Radiação solar incidente sobre cada uma das orientações em Lisboa [30]

Pela análise desta imagem é possível afirmar que a orientação Sul é a que fornece uma maior contribuição de energia solar durante um maior período de tempo.

Por fim, a escolha da orientação de um edifício deve, também, considerar fatores relacionados com o local e a sua envolvente, como a topografia, vegetação, edifícios vizinhos e futuras construções próximas que poderão resultar em obstáculos.

3.1.1.2. Envolvente do edifício e sua otimização

A limitação entre o espaço interior e exterior (Figura 22) deve ser conscientemente pensada de forma a que o utilizador seja beneficiado com o máximo bem-estar possível e, deste modo devem ser garantidas limitações nos ganhos de calor nas épocas mais quentes e nas perdas de calor durante períodos mais frio. As trocas energéticas entre interior e exterior realizam-se pelos elementos da envolvente através de mecanismos de transmissão e, portanto, é importante pensar na melhor aplicação desses elementos, pois uma correta escolha dos materiais permite garantir um bom desempenho energético e evitar custos desnecessários no aquecimento e arrefecimento.



Figura 22 - Delimitação da envolvente do edifício

Na imagem apresentada acima é possível observar uma delimitação tipo da envolvente interior (que separa o espaço climatizado de um espaço interior não climatizado) e da exterior (que separa o espaço climatizado do exterior). Seguidamente, na figura 23 estão representadas as perdas gerais de calor de uma habitação, de notar que estes valores correspondem a um modelo exemplificativo e, portanto, poderão existir grandes variações.[31]

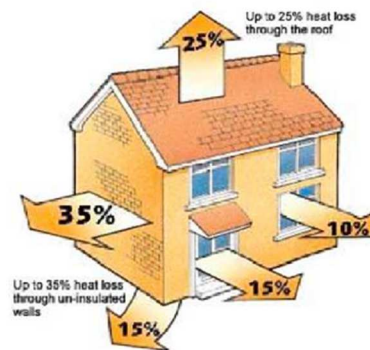


Figura 23 - Perdas gerais de calor de uma habitação

No contexto de otimizar a envolvente do edifício é importante aprofundar alguns dos seguintes conceitos:

- Inércia térmica e isolamento térmico:

A inércia térmica está presente em qualquer material que tenha massa e calor específico diferentes de zero. Esta poderá ser elevada o que representa uma característica inerente aos materiais pesados e densos, tais como tijolos maciços, alguns tipos de betões, pedra, etc. Numa habitação, a inércia térmica tem um grande impacto no comportamento térmico da mesma. A envolvente de um edifício constituída por paredes, pavimento e cobertura é, por norma, na construção pesada, um elemento com grande

capacidade térmica assim como lajes e paredes interiores contribuem enormemente para a inércia do edifício, o que lhe confere um funcionamento de reservatório de calor e amortecedor térmico, desta feita consegue contrariar picos de temperatura exterior, tal como se pode observar na seguinte imagem.[32]

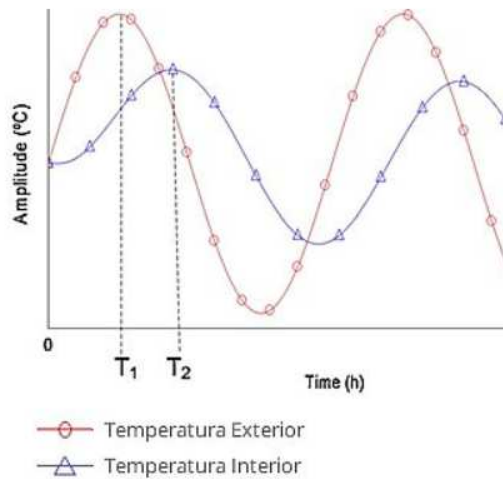


Figura 24 - Variação da temperatura interior com a temperatura exterior [32]

Deste modo, a inercia térmica pode, simplesmente, definir-se como a capacidade de um material armazenar o calor e restituí-lo lentamente o que permite garantir o conforto no verão, evitando sobreaquecimento e no inverno mantendo o aquecimento interior. De salientar, que a inercia térmica envolve dois fenómenos em simultâneo: atraso térmico e redução da amplitude térmica. Além disso, é importante sublinhar a sua dependência da massa superficial útil por unidade de área útil de cada um dos elementos construtivos. [32, 33]

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , pode calcular-se através da equação 4:[34]

$$I_t = \frac{\sum_i M_{S_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [\text{kg}/\text{m}^2] \quad (4)$$

Onde:

M_{S_i} – massa superficial útil do elemento i , [kg /m²]

r – Fator de redução de massa superficial útil

S_i – área da superfície interior do elemento i , [m²]

A_p – área útil de pavimento [m²]

Calculada a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento é possível classificá-la nas seguintes categorias:

Tabela 7 - classes de inércia térmica [34]

Classe de inércia térmica	I_t [kg/m ²]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A inércia térmica será tanto mais forte quanto mais pesados e densos forem os elementos da construção para o caso de não existir isolamento térmico entre o ambiente interior e esses elementos pesados. Porém, se o isolamento for exterior não há qualquer problema para a inércia. Há, no entanto, um limite para o contributo para o armazenamento de calor num ciclo diário de variação de temperatura, na gama de temperaturas habitualmente em causa.

Além das características intrínsecas aos materiais que formam uma barreira ao exterior e dificultam as trocas de energia, a utilização de isolamento térmico quer pelo interior, quer pelo exterior pode constituir um fator importantíssimo nas poupanças energéticas. A colocação de isolamento térmico pelo exterior da parede permite que tenha a função de barreira minimizando as perdas de energia do interior para o exterior, bem como os ganhos de calor em sentido contrário.

A seguinte tabela, apresenta vários exemplos de isolamentos térmicos frequentemente utilizados:[35]

Tabela 8 - Exemplos de isolamentos térmicos presentes no ITE50 [35]

Material	Massa volúmica aparente seca, ρ [kg/m ³]	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, λ [W/(m. °C)]
ISOLANTES TÉRMICOS		
<i>lã mineral (MW)</i>		
lã de rocha	20 – 35	0,045
	35 – 100	0,040
	100 – 180	0,042
lã de vidro	8 – 15	0,045
	15 – 100	0,040
<i>aglomerado de cortiça expandida (ICB)</i>	90 – 140	0,045
<i>aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos</i>	100 – 150	0,050
	150 – 250	0,055
<i>poliestireno expandido moldado (EPS)</i>	< 11	0,055
	11 – 13	0,045
	13 – 15	0,042
	15 – 20	0,040
	> 20	0,037
<i>poliestireno expandido extrudado (XPS)</i>	25 – 40	0,037
<i>espuma rígida de poliuretano (PUR) ou de poli-isocianurato (PIR)</i>		
em placas	20 – 50	0,040
projectado ou injectado in situ	20 – 50	0,042
entre paramentos metálicos (painéis sanduiche)	35 – 50	0,037
<i>espuma de polietileno expandido extrudado (PEF)</i>	20 – 50	0,050
<i>grânulos leves ou fibras soltas (sem ligante)</i>		
grânulos de argila, de vermiculite ou de perlite expandidas	< 400	0,16
outros tipos de grânulos leves ou de fibras soltas	20 – 100	0,060
<i>espuma elastomérica flexível (FEF)</i>	60 – 80	0,050

Porém, se se procura a vanguarda na eficiência energética, é importante a aposta em novos materiais de isolamento térmico que permitam resultados ainda mais satisfatórios do que os materiais usados correntemente. Deste modo, seguidamente, são apresentados dois tipos de isolamento térmico que não são tão conhecidos, mas podem simbolizar uma tendência de materiais a utilizar:

- **Materiais de Isolamento a Vácuo (VIM):** É homogêneo e apresenta uma estrutura de poros fechados a vácuo, a sua condutibilidade térmica não ultrapassa os 4 mW/m.°C em condições ideais. A sua nano-estrutura, permite uma grande capacidade de resistir à humidade e à infiltração de ar nos nanoporos, o que lhe confere grande durabilidade.[36]

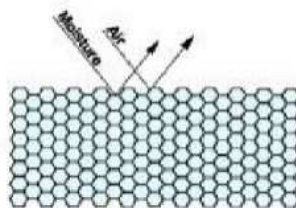


Figura 25 - Estrutura do material VIM [36]

Importante referir que os VIM poderão ser cortados com a forma desejada perante um determinado local de aplicação e além disso, a sua perfuração, apenas, resulta numa ponte térmica local não existindo consequências para a condutibilidade térmica do mesmo.

- **Materiais de Isolamento Dinâmico (DIM):** A condutibilidade térmica deste material pode ser controlada num intervalo desejado. O controlo da condutibilidade é feito através da modificação de: Conteúdo ou concentração do gás no interior dos poros, emissividade da superfície interna dos poros e a condutibilidade térmica do estado sólido do entrançado. Este material poderá ser uma ótima solução em climas do Sul, onde um valor muito baixo do U é importante para reduzir as perdas térmicas no inverno e, por contraste, um valor de U mais elevado permite, no verão, menos necessidades de arrefecimento.[36]
- **Nanowood:** Um novo tipo de material de isolamento térmico (Figura 26), amigo do ambiente e de elevada resistência mecânica e é fabricado em madeira, através de técnicas de nano engenharia. A madeira tem a capacidade de conduzir o calor através dos canais destinados ao transporte de água e nutrientes no interior das árvores, desde as raízes até às folhas. Apesar da transmissão do calor ser relativamente eficiente na direção das fibras, na direção transversal é bloqueada, muito devido à organização geométrica das fibras.
Esta característica dos elementos da madeira foi aproveitada para criar um novo material de isolamento, orientando as fibras na direção certa, de forma a atenuar a transmissão de calor. Além disso é removida a lignina, a macromolécula que confere a rigidez, impermeabilidade e resistência às árvores e são eliminadas as fibras curtas que servem de suporte às fibras longas de celulose contribuindo para a defesa microbiológica e mecânica das estruturas internas das plantas. Estas fibras longas são posteriormente aglomeradas e têm a função de garantir uma elevada resistência ao material. As fibras longas de celulose são depois aglomeradas e unidas, conferindo ao material obtido elevada resistência mecânica.

De acordo com os investigadores, o material de isolamento à base de madeira possui uma maior capacidade de isolamento que o poliestireno expandido ou o aerogel de sílica [37]

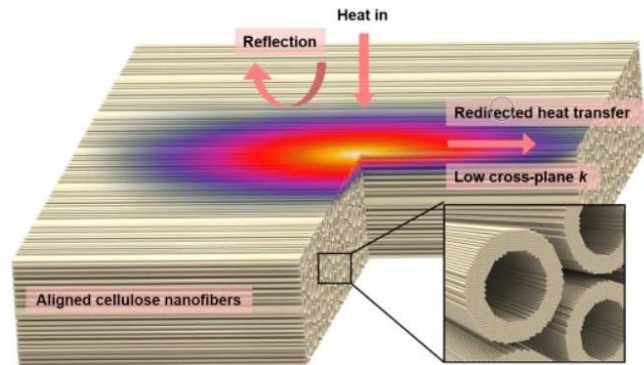


Figura 26 - Estrutura do Nanowood [37]

- Elementos opacos:

1. Paredes exteriores

Como já foi referido anteriormente as paredes exteriores são um dos elementos que mais contribuem para as perdas de calor de uma habitação através de um mecanismo de transmissão (Figura 27):

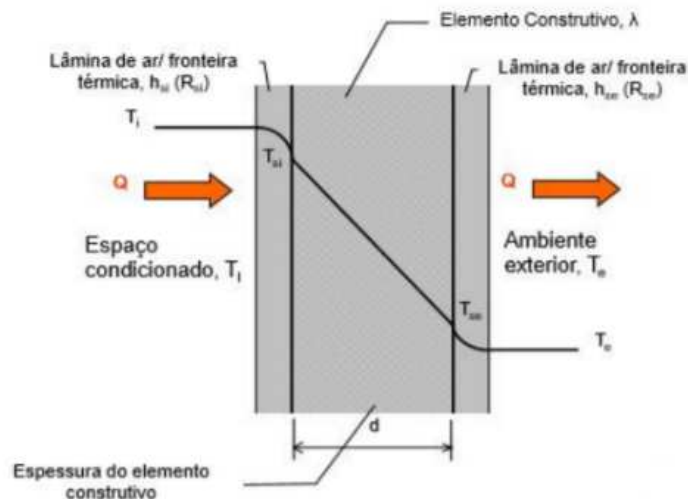


Figura 27 - Perfil térmico de uma parede exterior [36]

Neste exemplo de perfil térmico de uma parede, em que a temperatura interior é superior à temperatura exterior, é possível observar a variação que a temperatura sofre à medida que atravessa cada um dos elementos da parede. Note-se que este elemento, numa situação em que é submetido a elevadas radiações ou temperatura exterior é superior à temperatura interior, também sofre o processo inverso e funciona como fonte de ganho de calor.[36]

2. Coberturas

As coberturas são responsáveis, em geral, por uma perda térmica significativa. No seguinte gráfico (Figura 28) é possível observar a variação de temperatura numa secção de cobertura para as diferentes horas do dia:

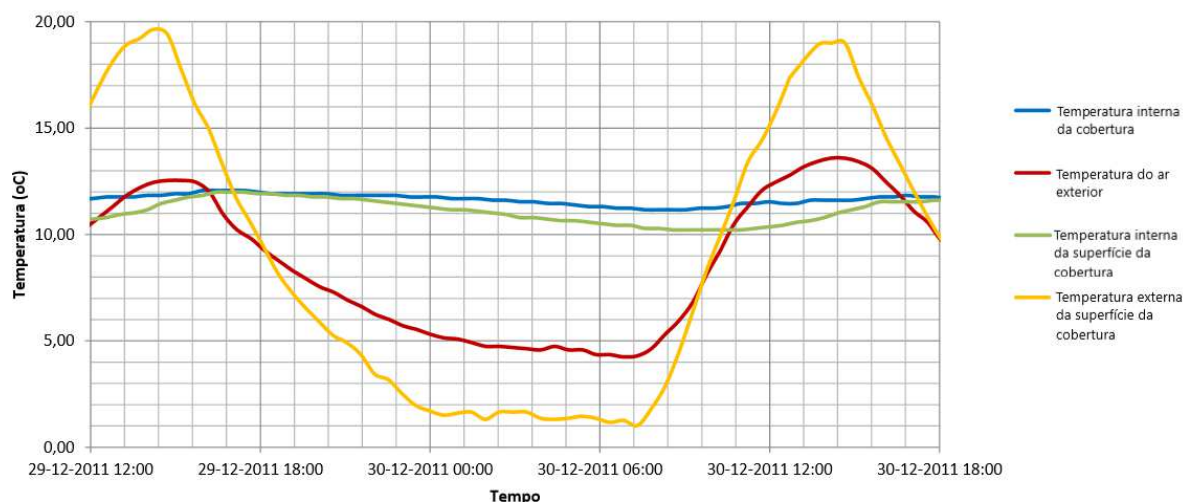


Figura 28 - Exemplo de variações térmicas na cobertura

Pela análise do gráfico é possível concluir que durante o dia com a radiação a incidir diretamente na cobertura, a sua superfície irá elevar os seus valores de temperatura acima da temperatura ambiente e, por seu turno, durante a noite essa radiação absorvida durante o dia será emitida o que resultará em temperaturas da superfície de cobertura inferiores até 7 ou 8°C em relação a temperatura do ar exterior, o que se traduz em perdas muito intensas através da cobertura. Para garantir um bom desempenho energético é de extrema importância controlar os fluxos ascendentes (perdas de energia) e descendentes (ganhos de energia).[36]

Assim sendo, e por forma a minimizar estas trocas é importante a utilização de isolamentos térmicos adequados ao nível da cobertura que terão como resultado um maior conforto térmico dos utilizadores, uma vez que não permitem ganhos excessivos de calor no verão nem perdas excessivas no inverno. Todavia, deverão existir algumas precauções relativamente ao uso do isolamento, pois caso não exista um bom sistema de ventilação ou não seja limitada a entrada de calor pelos elementos verticais, é possível a ocorrência de sobreaquecimento.[38]

Além do isolamento térmico, poderão ser adotadas outras soluções com a finalidade de melhorar o comportamento térmico do edifício, como por exemplo, a aposta em coberturas ajardinadas ou tintas de controlo de radiação.[31]

3. Pavimentos

Por norma, quando se trata de um caso de habitação unifamiliar o pavimento encontra-se em contacto direto com o exterior, com o solo ou com espaços interiores não aquecidos, como uma cave, por exemplo, constituindo, portanto, uma superfície sujeita a fluxos de energia que resultará em perdas de calor da habitação. Para reduzir as perdas energéticas da habitação é importante a integração de isolamento térmico no pavimento, de salientar que este isolamento deverá ser selecionado de acordo com as solicitações que estarão presentes no pavimento.

A Figura 29, representa um exemplo da constituição de um pavimento em contacto direto com o solo:[39]

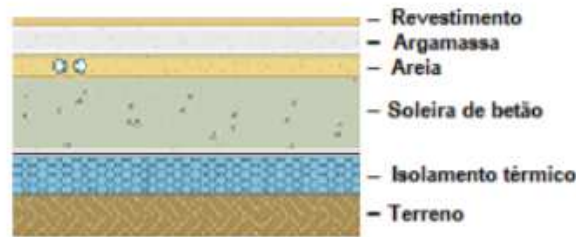


Figura 29 - Exemplo de constituição de um pavimento térreo

- Vãos envidraçados:

Este elemento representa um papel importantíssimo no desempenho energético de um edifício, deste modo, muitos fatores, como a área, a localização, o tipo de vidro, o tipo de caixilharia e a proteção solar, esta última, que será mais detalhada no decorrer desta dissertação. Todos estes elementos deverão ser alvo de reflexão para que se obtenham bons resultados de eficiência energética. A sua principal vantagem é a contribuição para a entrada de calor e luz natural, no entanto, uma incorreta solução de envidraçados pode resultar numa fonte de dissipação de calor ou de entrada excessiva de calor.

Relativamente à área de envidraçado, estima-se que para o caso do edifício se encontrar orientado de forma adequada, a fachada a sul deverá ter uma área de envidraçado, aproximadamente, de 40% da fachada, além disso, é importante considerar a razão entre área de envidraçado e área do compartimento que serve. Sublinha-se que para o caso da área de envidraçados da fachada sul exceder os 50% da superfície total, não existirão grandes vantagens em termos de ganhos para o inverno, além disso, no verão, perante uma situação de inexistência de cuidados em termos de proteção solar, as salas orientadas a sul ficarão expostas a um calor excessivo.

Deverá existir um especial cuidado com as janelas voltadas a este e oeste, uma vez que o seu contributo no inverno é pouco significativo, enquanto no verão contribuem, consideravelmente, para o sobreaquecimento. Note-se que também não é solução reduzir drasticamente a superfície vidrada, deste modo, deve-se encontrar um equilíbrio que permita obter elevados ganhos solares no inverno e, no verão, juntamente com elementos de proteção solar, não permitir sobreaquecimento em nenhuma das divisões.

Em termos mais técnicos, a transferência de calor através do envidraçados é realizada por um processo de transmissão devido à diferença de temperaturas entre o interior e o exterior (tal como nos elementos opacos). Mas a principal especificidade dos envidraçados é, obviamente serem transparentes e permitirem uma transmissão direta para o interior de uma grande parte da radiação solar, e pode observar-se pelo seguinte perfil térmico como a temperatura vai diminuindo ao atravessar as diferentes camadas do envidraçado:[32]

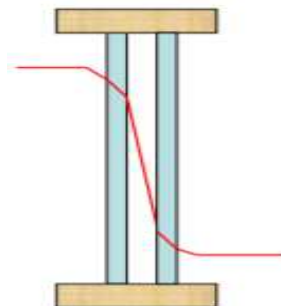


Figura 30 - Perfil térmico de um envidraçado [32]

Por fim, para evitar os problemas já mencionados de perdas de calor no inverno e ganhos excessivos no verão, existem, mecanismos básicos como: Revestimento de baixa emissividade (low-e) ou Revestimento solar protetivo(Figura 31), ambos se aplicam, exclusivamente, em vidro duplos ou triplos.[36]

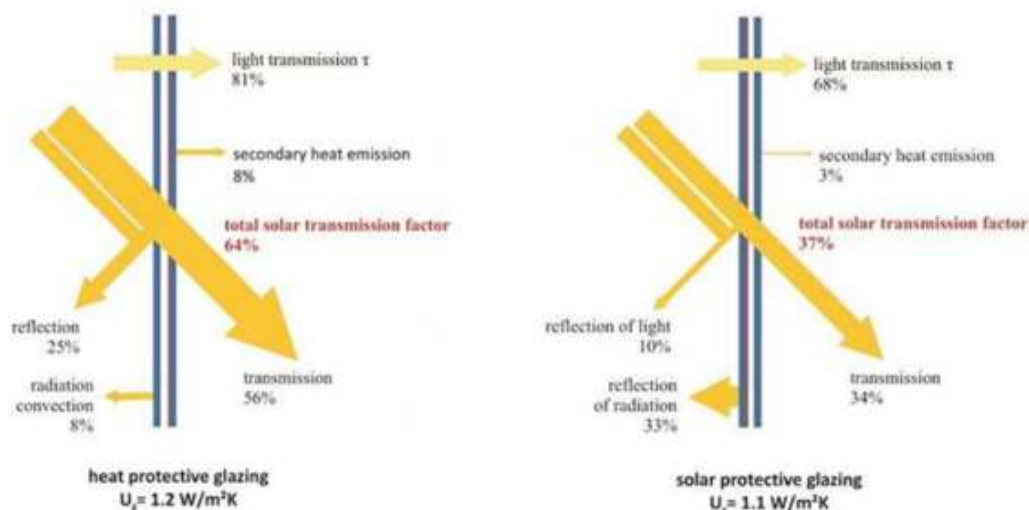


Figura 31 - Mecanismos de proteção dos envidraçados [36]

3.1.2. Sistemas eficientes

Seguidamente serão apresentados alguns sistemas que permitirão reduzir a energia utilizada num edifício:

- Iluminação

A iluminação constitui uma das fontes de consumo energético numa habitação, e caso não existam devidos cuidados é possível atingir valores bastante consideráveis de gastos com a iluminação. Posto isto, é importante pensar em medidas mais inteligentes para reduzir este valor. Assim sendo, a quantidade de luz a inserir em cada compartimento deverá ser pensada tendo em conta a sua dimensão, tipo de utilização e presença de janelas no mesmo.

Ainda que as lâmpadas incandescentes representem um custo de aquisição mais baixo, deve ser considerado o facto do seu baixo tempo de vida (aproximadamente 1000 horas) e apresentam elevados consumos energéticos. Por contraste, as lâmpadas de baixo consumo são relativamente mais caras, no entanto, a longo prazo permitem uma grande poupança em eletricidade o que irá amortizar o investimento inicial muito antes de se atingir o fim do seu tempo de vida útil (8000/10000 horas). A sua capacidade de durar oito vezes mais que as lâmpadas incandescentes mais tradicionais e os consumos muito inferiores resultam numa poupança de cerca de 80% de energia. De referir, que numa exceção em que é frequente acender e apagar a luz o uso deste tipo de lâmpada não é recomendado uma vez que o seu tempo de vida útil será drasticamente afetado. [40]

Seria muito interessante a utilização de um sistema desenvolvido por investigadores da Universidade de Cincinnati, onde um sistema inovador de iluminação inteligente (*Smart Light*) conduz a luz natural para espaços interiores. Este sistema recorre a um fluido que é dotado de características de transmissão ótica quando estimulado por impulsos elétricos, o que permite a condução de luz como se de uma lente se

tratasse. Para o funcionamento deste é necessário a instalação de pequenos painéis solares na zona superior das janelas, com a diferença que estes painéis em relação aos convencionais contém o fluido com características óticas que permite a recolha e transmissão da luz solar. Contrariamente aos sistemas fotovoltaicos, que transformam a luz solar em energia elétrica, este sistema utiliza diretamente a luz solar para iluminação o que resultará em resultados mais satisfatórios de consumos energéticos. Seria ideal o uso desta tecnologia em simbiose com um sistema fotovoltaico, o que permitiria que durante o dia a iluminação fosse realizada através do sistema de *Smart Light* e durante a noite recorrendo à eletricidade resultante do sistema fotovoltaico.[41]

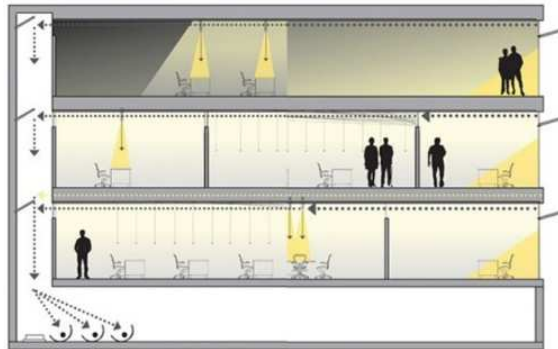


Figura 32 - Mecanismo de funcionamento do Smart Light

- Sistemas e Equipamentos

É importante que em termos de equipamentos, como por exemplo eletrodomésticos, estes possuam a etiqueta energética de A, A+ ou A++, estes são mais eficientes e ao longo do seu tempo de utilização terão resultados significativos de poupança energética, além disso não devem ser escolhidos aparelhos com potências demasiado elevadas, isto é, sobredimensionados.

Deste modo, é importante que os utilizadores façam um uso adequado dos equipamentos de forma a prolongar o seu tempo de vida útil e tenham o cuidado de os desligar sempre que não se encontrem em utilização. É importante sublinhar que uma casa com elevado número de eletrodomésticos poderá resultar em valores de gastos energéticos de 50% da energia total consumida. [40]

O projeto “Zebra 2020”, teve como principal objetivo monitorizar a aceitação pelo mercado dos nZEB em toda a Europa e fornecer dados e recomendações (Tabela 9) sobre a forma de alcançar a norma nZEB. Assim sendo, relativamente aos equipamentos, segue-se um quadro com as soluções utilizadas e aconselhadas para edifícios nZEB nos casos já realizados, segundo o projeto em questão:[42]

Tabela 9 - Soluções recomendadas para os nZEB

Tipo de Clima	Setor	Solução Recomendada
Climas Frios	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%.
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor ou <i>District Heating</i> , quando disponível.
	Produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS)	Idêntico ao Aquecimento Ambiente.
Climas Quentes	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%.
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor.
	Produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS)	Sistema solar forçado com apoio do sistema de aquecimento ambiente.
	Arrefecimento Ambiente	Bomba de calor.

3.1.3. Estratégias (sistemas passivos)

Os sistemas passivos resultam de dispositivos construtivos num determinado edifício, que têm como principal objetivo promover o aquecimento e arrefecimento natural do mesmo através de meios naturais de transferência de energia e, portanto, sem a utilização de qualquer energia auxiliar.

Desta forma é importante que estas estratégias se encontrem em consonância com as condições climáticas do local, da orientação e da envolvente deste. Além disso estas estratégias devem, igualmente, ser pensadas considerando o função e modo de ocupação do edifício com a finalidade de garantir o máximo conforto para os utilizadores e, por seu turno, tornar-lho o mais eficiente possível do ponto de vista energético.

Deste modo, no desenvolvimento deste conceito existirá uma dicotomia entre sistemas de aquecimento passivos e sistemas de arrefecimento passivos.

No que diz respeito a sistemas de aquecimento passivos, estes ganham importância na estação de inverno e nestes sistemas procura-se tirar o máximo partido dos vãos envidraçados de forma a maximizar os ganhos por radiação solar. Existem os seguintes sistemas de aquecimento passivo:[43]

- Ganho direto
- Ganho indireto
- Ganho separado/ isolado (Porém, menos usual)

Por seu turno, no Verão é importante garantir o arrefecimento passivo através das fontes frias que permitem o seu arrefecimento. Deste modo são aproveitados os seguintes processos para assegurar o arrefecimento:[43]

- Ventilação natural
- Arrefecimento pelo solo
- Arrefecimento por radiação
- Proteção solar/ sombreamento

3.1.3.1. Sistema passivo de aquecimento

Seguidamente serão expostos alguns sistemas que permitirão, de uma forma passiva, aquecer os edifícios:

- Sistema de ganho direto:

O sistema de ganho direto representa o caso mais simples dos sistemas passivos de aquecimento, deste modo, recorrendo aos vãos envidraçados, devidamente bem orientados, de forma a proporcionar grandes períodos de incidência de radiação solar no espaço e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos). É, também, importante a consideração de dispositivos de sombreamento de forma a evitar o sobreaquecimento no interior do edifício.

Este sistema associado a elementos que restringem as perdas de calor, como é o caso dos isolamentos térmicos permite obter ótimos resultados de conforto interior.

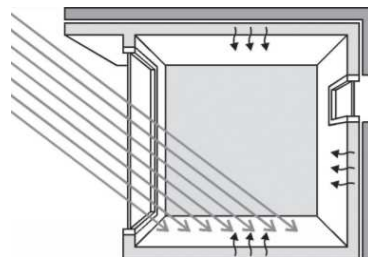


Figura 33 - Ganho solar direto [30]

A figura 33 representa o funcionamento deste sistema e como se pode observar, a radiação solar incide no vão envidraçado e, a energia é transferida, diretamente, para o espaço interior [30]

Neste sistema convém destacar algumas das suas vantagens, tais como:

- ✓ Sistema que garante o maior rendimento energético;
- ✓ Sistema mais económico do ponto de vista construtivo;
- ✓ Grande contribuição na iluminação natural para os espaços interiores;
- ✓ Oferecer grande flexibilidade na conceção arquitetónica, sendo necessário respeitar os valores mínimos estabelecidos pelo REH no que diz respeito à massa térmica, à orientação e área de envidraçados e aos dispositivos de sombreamento.

Relativamente aos aspetos mais negativos: [30]

- ✓ Uma área muito grande de envidraçado poderá resultar em falta de privacidade e uma iluminação excessiva;
- ✓ A radiação solar direta, além de potenciar a degradação e descoloração dos materiais localizados no interior poderá, ainda, provocar assimetrias na temperatura radiante, o que resultará num desconforto durante as horas de maior incidência do Sol;
- ✓ Necessidade de orientação solar favorável dos envidraçados.

- Sistemas de ganho indireto:

Num sistema de ganho indireto, existem dois espaços distintos, um que será o espaço aquecido diretamente que, posteriormente, irá transferir energia para o outro espaço. Esta transferência energética pode ser realizada de forma imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação de ar que se pretende adotar. São exemplos destes sistemas a parede de trombe, a estufa, colunas de água, entre outros.[44]

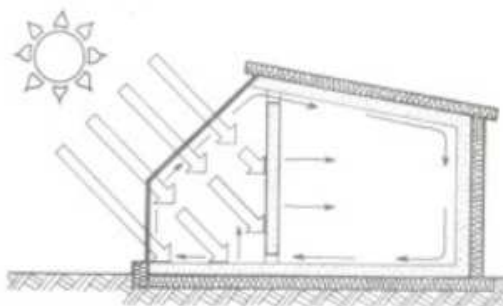


Figura 34 - Ganho solar indireto [44]

Particularizando, o caso da “parede de Trombe”, este sistema é composto por um vão que deve ser corretamente orientado, onde no seu interior será colocada uma parede maciça com uma superfície exterior pintada de cor escura, potenciando a captação de radiação solar incidente. Com a colocação de um vidro na face exterior deste sistema cria-se um efeito de estufa onde poderão ser atingidas temperaturas elevadíssimas a rondar os 30-60°C entre o vidro e a parede.

A energia acumulada poderá ser transferida imediatamente para o espaço interior que se pretende aquecer através de um processo de ventilação natural criando-se uma corrente de convecção natural entre o espaço aquecido e o espaço de “estufa”. É possível destacar dois tipos de “parede de Trombe” uma não ventilada e outra ventilada, como se pode observar na seguinte ilustração:

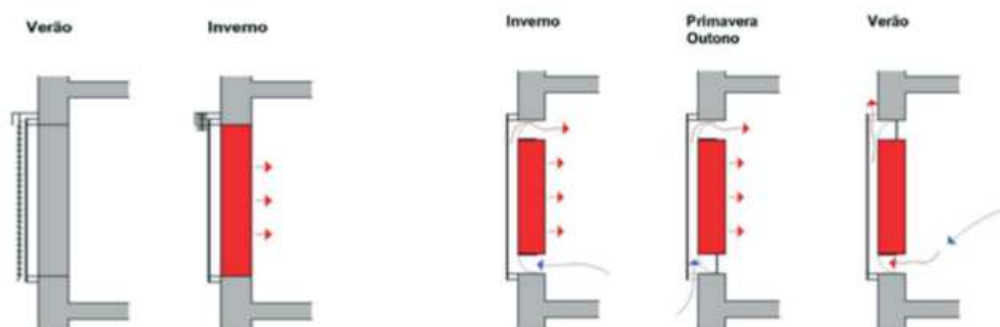


Figura 35 - Parede de Trombe não ventilada (esquerda) e ventilada (direita) [44]

De notar, que esta tipologia de parede pode resultar em situações de desconforto térmico, devido à radiação incontrolada durante longos períodos de incidência. Nestes casos é fundamental o efeito da ventilação ou de sistemas de sombreamento que permitam um melhor controlo da radiação incidente.[44]

3.1.3.2. Sistema passivo de arrefecimento

Seguidamente serão apresentados alguns métodos que permitem a realização de arrefecimento de forma passiva, tais como:

- Ventilação natural:[32]

A ventilação natural é um método que deve ser explorado sempre que possível. No Inverno, recorre-se, sobretudo, ao princípio do efeito de tiragem térmica (ou efeito chaminé), devido às diferenças de temperatura existentes entre o ar interior (mais quente) e o exterior (mais frio). O ar quente, tende a subir o que irá originar um gradiente de temperatura vertical, este gradiente entre diferentes divisões da casa produzirá ventilação. Deste modo, existindo aberturas para o exterior que permitam a entrada de ar novo, é possível renovar o ar interior. Por seu turno, no Verão, o efeito dominante é o do vento, uma vez que as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior são menos acentuadas. Para o arrefecimento é aconselhável promover a chamada ventilação cruzada ou transversal, entre fachadas opostas e a ventilação noturna, já que à noite existem maiores diferenças de temperatura.

O fenómeno de depressão é explorado mais frequentemente e consiste no fenómeno de quando uma das paredes do edifício é atingida pelo vento (ou seja, uma elevada pressão), a parede oposta é envolvida numa depressão. Esta diferença de pressão em lados opostos é capaz de gerar ventilação natural entre as divisões da casa, desde que existam elementos que permitam essa circulação do ar, como por exemplo janelas em cada uma das fachadas e pequenas grelhas nas paredes interiores.

Este sistema pode ser afetado, em apartamentos que, apenas, estejam voltados para um dos lados do edifício e, portanto, não tem tanta capacidade de realizar este processo.

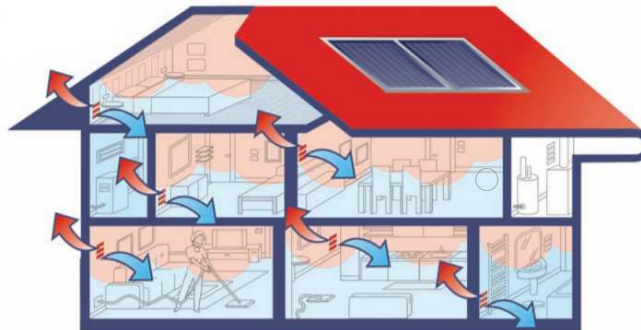


Figura 36 - Processo de ventilação natural [32]

De uma forma muito objetiva, para que a ventilação natural tenha uma eficácia adequada deve-se realizar alguns processos como:[45]

- ✓ Para a maximização da ação do vento no edifício: antes da implantação do sistema de ventilação natural deve ser feito um estudo climático da zona onde o edifício se localiza e entender o comportamento do vento;
- ✓ As divisões devem ser dotadas de duas aberturas para ventilação, uma de admissão de ar e outra, de exaustão, colocada num ponto mais elevado da parede interior;
- ✓ As portas devem ser executadas de forma a permitir a circulação de ar pelo interior do edifício.

- Arrefecimento pelo solo:

Durante o verão, em que as temperaturas exteriores são mais elevadas, o solo representa uma fonte fria de grande importância e é usado com a função de intervir como forma de dissipação de calor quer por forma direta quer indireta.

Para a situação de arrefecimento por forma direta com o solo, ocorre uma transferência de energia através dos elementos da envolvente (paredes, pavimento). Por seu turno, no caso do arrefecimento indireto, o espaço interior do edifício encontra-se conectado a um permutador existente no solo, onde, normalmente, se recorre a condutas subterrâneas (1 a 3 metros de profundidade). A eficiência destes sistemas varia com as dimensões das condutas e profundidade das mesmas, isto é, da temperatura do solo e do ar que circula no interior das condutas e, por fim, das propriedades térmicas das condutas.[30]

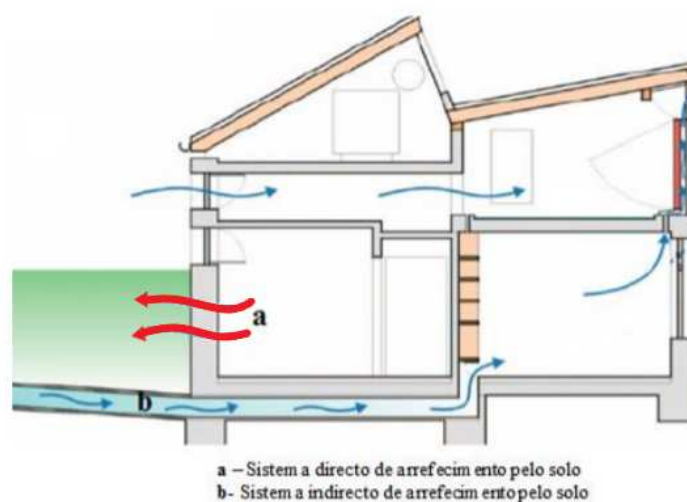


Figura 37 - Processo de arrefecimento pelo solo [30]

- Arrefecimento evaporativo:

Trata-se de uma estratégia não tão comum, onde se recorre à mudança de estado da água, do líquido para o gasoso, para diminuir a temperatura de uma habitação. Quando este decréscimo é associado a um aumento do vapor de água denomina-se de arrefecimento evaporativo direto.

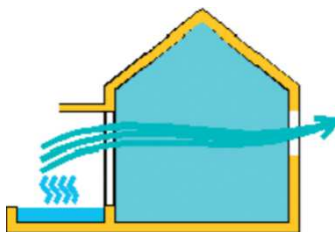


Figura 38 - Processo de arrefecimento evaporativo [30]

Existem duas formas de aplicar este método, uma técnica passiva direta onde se recorre à vegetação promovendo a evapotranspiração ou a fontes, piscinas e lagos artificiais. Todavia, existe, ainda, uma

forma de arrefecimento evaporativo, onde se realiza a injeção de água sob forma de gotas no ar exterior o que permitirá arrefecer o ambiente exterior do edifício e, por consequência, ao ar que entrará no seu interior.[30]

- Arrefecimento radiativo:

Durante todo o dia os elementos da envolvente de um edifício emitem radiação para o exterior, o que poderá resultar numa ferramenta para arrefecimento do mesmo. No entanto, é durante a noite que ocorre a maior quantidade de emissão de radiação, uma vez que a diferença entre a temperatura interior e exterior é superior neste período comparativamente com a existente durante o dia.

Geralmente o elemento da envolvente mais utilizado neste processo é a cobertura, pois é o elemento com mais exposição ao céu, o que favorece as trocas de radiação. Porém, na grande maioria das coberturas é aplicado isolamento térmico para que se possam minimizar as perdas durante o inverno e os ganhos durante o verão, o que irá reduzir, significativamente, o potencial de arrefecimento noturno.

O que tornaria este sistema muito mais eficiente seria a instalação de um isolamento móvel que só se encontrava em ativação durante o dia, bloqueando, assim, os ganhos de calor provenientes da radiação, isto para o verão onde não se pretende aquecer o interior da habitação. De notar que este tipo de sistemas apenas fará sentido para um edifício unifamiliar (moradia) ou para o último piso de um edifício multifamiliar.[30]

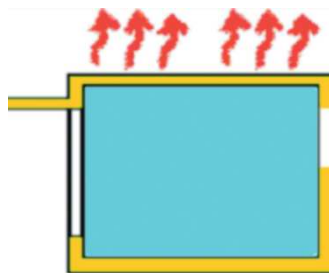


Figura 39 - Arrefecimento radiativo [30]

- Proteção solar e sombreamento:

Os sistemas de sombreamento podem classificar-se como:

- Sistemas fixos:

Estes sistemas poderão ser palas horizontais colocadas sobre os vãos envidraçados (Figura 40) ou palas verticais colocadas na lateral do vão envidraçado. Os sombreamentos horizontais são extremamente eficientes na proteção dos envidraçados da fachada sul devido ao elevado ângulo de incidência da radiação solar e as palas verticais são mais úteis, até certo ponto, em fachadas a este ou oeste uma vez que a posição do sol é mais baixa. Existem também diferentes possibilidades de combinação de palas horizontais com palas verticais, com diferentes geometrias e diferentes posicionamentos relativamente ao vão envidraçado. [36]

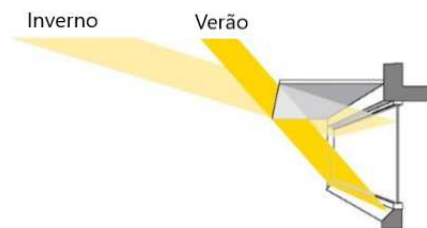


Figura 40 - Sistema de sombreamento fixo [36]

Além destes sistemas de sombreamento mais comuns, também é possível recorrer a vegetação para criar proteções solares para os edifícios. As árvores e a vegetação em geral podem ter um papel muito importante na eficiência energética e no conforto que garantem a um edifício. Além da sua capacidade de libertar vapor de água (evapotranspiração) o que permite a redução da temperatura envolvente de um edifício, podem ainda funcionar como barreiras de obstrução à radiação solar durante o Verão. [46]

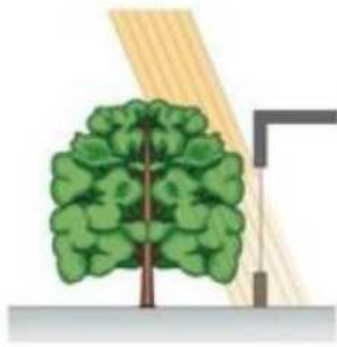


Figura 41 - Sistema de sombreamento através de vegetação [46]

➤ Sistemas flexíveis:

- i. Proteções solares exteriores: Persianas; Estores venezianos; Toldos;

Trata-se de sistemas extremamente eficazes na proteção solar que oferecem, uma vez que permitem a reflexão de grande parte da radiação solar direta incidente, como também absorvem radiação e reemitem-na para o exterior. O efeito mais importante, no entanto, é o facto de serem opacas e exteriores e assim impedirem a radiação solar de incidir diretamente no vidro, tal como se pode observar na seguinte figura: [36]

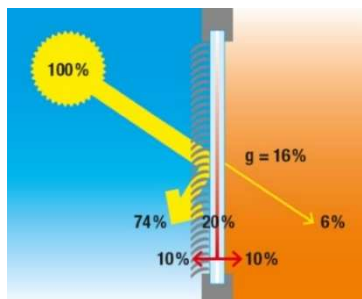


Figura 42 - Sistema de proteção solar pelo exterior [36]

De notar, que estes sistemas são vantajosos, sobretudo, pelo que já foi referido da sua grande capacidade de refletir a radiação solar, são ajustáveis e, portanto, permitem que o utilizador controle a luminosidade. A desvantagem que podem apresentar é a sua suscetibilidade a ventos fortes.

- ii. Proteções solares interiores: Persianas verticais; Estores de lamina; Cortinas opacas ou mais transparentes;

É um sistema que se tem tornado mais comum, inclusive em habitações, num clima mediterrânico onde predominam temperaturas exteriores mais elevadas e grandes períodos de radiação solar, o que pode resultar em diversos problemas mais nefastos. De notar que este sistema permite a entrada da radiação solar o que leva ao aumento da carga térmica e sem os devidos cuidados é possível criar situações de

sobreaquecimento. São vantajosos na medida em que a sua instalação pode ser feita subsequentemente e, devido a sua flexibilidade, é facilmente controlada a luminosidade. [36]

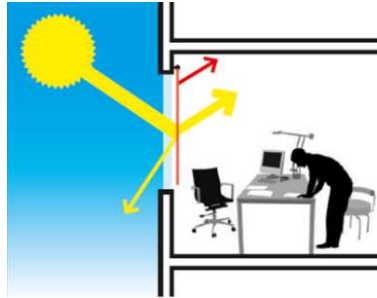


Figura 43 - Sistema de sombreamento pelo interior [36]

iii. Proteções solares integradas no envidraçado: persianas

Estes sistemas poderão ter um funcionamento interessante uma vez que permitem controlar, adequadamente, o brilho e a iluminação e, simultaneamente, a capacidade de proteção térmica. No entanto a sua aplicação deve ser muito bem estudada, uma vez que num clima mediterrânico estes sistemas poderão ser um problema, normalmente, porque o estore ou persiana funciona como coletor da radiação solar. [36]



Figura 44 - Sistema de sombreamento integrado no envidraçado [36]

De salientar que as vantagens apresentadas por este tipo de sistemas são a possibilidade de ajustar as aletas e assim controlar a luminosidade, não requer limpeza e não necessita de muito espaço, porém as grandes desvantagens deste sistema, além da que já foi referida anteriormente, é o seu elevado valor e a incapacidade de abrir as janelas, o que faz com que esta solução seja muito pouco utilizada.[36]

3.2. CARACTERIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

3.2.1. Energia Solar

Todo o sul da europa, incluindo Portugal, apresenta condições ótimas no que diz respeito à exposição solar (quantidade de energia por radiação solar recebida), o que desperta a necessidade de utilizar, da melhor forma, a potencialidade deste recurso nas habitações, tal como já havia sido mencionado anteriormente.

No caso particular de Portugal, é de facto, um dos países europeus com mais capacidade para aproveitar este recurso com uma radiação solar que ronda os 14 a 17 MJ/m²/dia.[47]

Além do aproveitamento em termos de iluminação natural e do aquecimento que a radiação solar permite, esta fonte energética poderá, ainda, funcionar como um sistema gerador de energia para as habitações.

3.2.1.1. Energia solar térmica

Em Portugal, desde a entrada em vigor da segunda versão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006), entretanto substituído, a utilização de painéis solares térmicos para preparação de AQS, tornou-se obrigatória, sempre que as condições de captação de radiação solar. Em lugar dos coletores solares térmicos pode também ser usado outro sistema de aproveitamento de energia renovável desde que garanta o fornecimento da mesma quantidade de energia que coletores padrão (definidos no regulamento).

Com a utilização de coletores solares térmicos torna-se possível o aproveitamento da energia térmica incidente no mesmo para o aquecimento de águas sanitárias ou de águas para sistemas de climatização.

Considerando os elevados investimentos que estes sistemas requerem é importante pensar no seu retorno. Deste modo, o dimensionamento dos painéis deverá ser feito de forma a garantir as necessidades de água quente do lar tendo em conta a energia solar disponível. De notar que os painéis devem ser dimensionados tendo em conta as necessidades energéticas anuais e, portanto, são necessários alguns cuidados no seu dimensionamento para que estes não sejam sobredimensionados, o que resultaria em excessos energéticos no verão. Posto isto é necessário que estes sistemas sejam apoiados por sistemas convencionais de produção de água quente (caldeira a gás, bomba de calor, etc)

Devem ser aplicadas algumas medidas de forma a tirar o máximo partido dos coletores:[32]

- Os coletores devem ficar orientados para Sul ou, se isto não for possível, serem rodados a 45 graus, no máximo, para Este ou Oeste;
- As tubagens devem ser isoladas de forma adequada para reduzir as perdas de calor desde o coletor até ao ponto de utilização;
- O acesso para manutenção e limpeza dos coletores deve ser fácil.



Figura 45 - Sistemas solares térmicos [32]

Não entrando num nível muito elevado de pormenorização, os coletores solares térmicos permitem o uso da energia solar para aquecer a água, que num sistema de termossifão chega ao coletor e posteriormente será dirigida até um depósito. Numa outra situação, quando o depósito é à parte e há uma circulação forçada, esta circulação é feita por um líquido em circuito fechado e depois o calor é transmitido para a água por meio de um permutador de calor.

A figura 45, retrata os sistemas solares térmicos existentes, à esquerda um sistema compacto (termossifão) e à direita um sistema de circulação forçada. Não existe, propriamente, um sistema melhor do que o outro, mas sim cada um se adequa a cenários diferentes, dependendo do tipo de solução que se pretende. [48]

O sistema de termossifão é mais adequado para espaços reduzidos e apresenta vantagens como: [48]

- Ocupar pouco espaço;
- O seu funcionamento baseia-se na circulação natural do fluido térmico;
- No inverno a eficiência pode ser mais reduzida, acontecendo o inverso no verão, em que o aquecimento é muito rápido.

O sistema de circulação forçada apresenta as seguintes vantagens: [48]

- O depósito não está exposto às condições climáticas, evitando perdas de temperatura, sendo extremamente eficiente durante todo o ano;
- O depósito pode ser acoplado a outra fonte de produção de água quente.

3.2.1.2. Energia fotovoltaica

Recorrendo a painéis/módulos fotovoltaicos é possível converter a energia solar em energia elétrica.



Figura 46 - Painéis fotovoltaicos [47]

Estes módulos fotovoltaicos são constituídos por células fotovoltaicas e, por norma, é utilizado um material semiconductor em silício monocristalino. O seu desempenho é totalmente dependente de fatores, como por exemplo luz solar disponível e inclinação dos módulos.[48]

Tal como já foi referido, Portugal possui ótimas condições para aproveitamento desta fonte, no entanto, a incapacidade económica da população dificulta a aposta mais assertiva nestes sistemas.

De destacar as seguintes vantagens que apresenta:[48]

- Alta fiabilidade - inexistência de peças móveis, facto que torna muito útil nas aplicações em locais isolados;
- Adaptabilidade dos módulos - permite montagens simples e adaptáveis a várias necessidades energéticas. Os sistemas podem ser dimensionados para aplicações com potências variáveis;
- A energia gerada durante as horas de radiação pode ser armazenada em baterias para o seu aproveitamento durante as horas de inexistência de insolação ou, eventualmente, estarem ligados à rede elétrica;
- O custo de operação é reduzido – as despesas de operação e manutenção destes sistemas são desprezáveis ;
- A tecnologia fotovoltaica apresenta vantagens ambientais, pois o produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente.

Porém, também existem alguns aspetos mais desvantajosos:[48]

- O fabrico dos módulos fotovoltaicos apresenta custos elevadíssimos devido à necessidade de tecnologia muito sofisticada;
- O rendimento real de conversão de um módulo é reduzido (o limite teórico máximo numa célula de silício cristalino é de 28%), face ao custo do investimento.;
- Os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos do ponto de vista económico, face a outros tipos de geradores (por exemplo: geradores a gás/óleo);
- Quando é necessário proceder ao armazenamento de energia sob a forma química (baterias), o custo do sistema fotovoltaico torna-se ainda mais elevado.

3.2.2. Energia Eólica

A energia eólica é obtida através do processo de transformação da energia do vento (energia cinética) em energia elétrica, processo este, totalmente isento de poluentes.

O processo é simples, a energia do vento é convertida em energia elétrica através de um equipamento denominado de turbina eólica (ou aerogerador), o vento ao incidir sobre as pás deste faz com que elas girem o que fará rodar um eixo (energia mecânica), o que irá colocar em funcionamento o gerador, através do qual os campos magnéticos irão converter a energia rotacional em eletricidade.[49]



Figura 47 – Aerogerador [49]

Além dos mais comuns aerogeradores de grandes dimensões, existem alguns mais pequenos utilizados para edifícios ou habitações isoladas que devem localizar-se em zonas ventosas, onde predomine uma velocidade media anual superior aos 13km/h. Todavia também é comum associar a energia eólica com a energia fotovoltaica, criando um sistema híbrido.[49]

Deste modo, em jeito de conclusão poderão existir três sistemas eólicos distintos:[32]

- Sistema isolado: privado de energia de rede publica;
- Sistema híbrido: dois sistemas de produção de energia associados;
- Sistema interligado à rede: sistemas que inserem a energia produzida por eles diretamente na rede publica.

3.2.3. Biomassa

Trata-se da utilização de uma fração biodegradável de produtos e resíduos de origem vegetal, como por exemplo, resíduos resultantes da agricultura. Este método de produção de energia representa uma fatia considerável do consumo de energia final para aquecimento de ambiente e produção de AQS, a grande utilização deste método motivou o aprimoramento de equipamentos (fogões; caldeiras) cada vez mais eficientes.[32]

O aparecimento dos “*pellets*” ou grânulos de combustível que são resultado do processamento de madeiras permitiram uma fácil utilização deste recurso em qualquer tipologia de edifício.



Figura 48 – Pellets [32]

A grande vantagem deste material é, sobretudo, no baixo custo que apresenta comparativamente com outras fontes energéticas e os equipamentos utilizados, recuperadores de calor a “*pellets*” permitem grandes rendimentos na produção de calor e um nível de segurança de uso bastante alto. No entanto, apresenta como desvantagem a necessidade de remover frequentemente as cinzas produzidas.[32]

3.2.4. Energia geotérmica

Esta fonte de energia, tal como o seu próprio nome indica, é obtida pelo calor proveniente do interior da terra e é considerada umas das energias mais “limpas” existentes.

Existem zonas do planeta em que o calor existente nas camadas mais internas do mesmo, encontra-se mais perto da superfície, o que potencia a sua utilização de forma mais simples. Este calor chega à superfície através de movimentos da crosta terrestre, pela intrusão do magma fundido e pela circulação de águas subterrâneas o que leva à formação de grandes reservatórios de água sob grande pressão.

Posto isto, existem três formas distintas de obter energia geotérmica:[50]

- **Utilização direta:** reservatórios geotérmicos;

- **Centrais Geotérmicas:** pelo aproveitamento direto de fluidos geotérmicos em centrais a altas temperaturas que permitem o movimento de uma turbina e, assim produzir energia elétrica;
- **Bombas de calor geotérmicas (BCG):** Sistema de aquecimento e arrefecimento que recorre ao bombeamento de água através de tubagens inseridas no solo e, perante a diferença de temperatura existente no subsolo aquecem ou arrefecem água e, seguidamente, o ar dentro dos edifícios.

4

IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO

4.1. INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Este capítulo terá a função de apresentar alguns casos de nZEB`s existentes e, por seu turno, expor as técnicas construtivas utilizadas para reduzir os seus gastos energéticos e a forma como obtém a sua energia “limpa” através de fontes renováveis.

O capítulo será dividido em duas partes, uma em que se apresentará um edifício localizado em Portugal e uma segunda parte onde serão apresentados alguns casos de nZEB`s implementados em diversos locais da Europa.

4.2. SOLAR XXI (EM DIREÇÃO À ENERGIA ZERO), LISBOA, PORTUGAL

4.2.1. Informação geral do edifício

O edifício Solar XXI (Figura 49) foi inaugurado em 2006, capitaliza uma área bruta de 1500m² e localiza-se no Campus do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) em Lisboa, Portugal.

É um edifício de serviços composto por três pisos, constituídos, essencialmente, por gabinetes de escritório com ocupação permanente, estes localizados na fachada sul e numa outra parte do edifício localizam-se espaços laboratoriais com uso mais ocasional (fachada norte). Desde a sua génese o objetivo seria a conceção de um edifício que permitisse efetuar estudos relativamente à eficiência energética e às energias renováveis e, portanto, seria importante que este representasse um exemplo do ponto de vista energético e do aproveitamento da energia solar servindo de inspiração a outros projetos futuros. [51]



Figura 49 - Edifício Solar XXI

4.2.2. Soluções aplicadas

4.2.2.1. Produção de energia

Sistemas fotovoltaicos: A intenção da utilização deste sistema prende-se com a produção de energia elétrica além disso, existiu a preocupação da harmonia do ponto de vista arquitetónico para que as colocações dos módulos fotovoltaicos se tornassem esteticamente agradáveis. Posto isso, instalou-se um sistema fotovoltaico na fachada orientada a sul com cerca de 100 m² de módulos fotovoltaicos de silício multicristalino, o que permite um fornecimento de energia elétrica de 12 KWp. Além disso existe uma cavidade vertical entre os módulos e a envolvente do edifício, que quando ventilada, culmina em duas vantagens: A primeira pelo aproveitamento do calor gerado pelos painéis (mais importante em condições de inverno) e também pelo incremento de eficiência dos módulos uma vez que é permitido um arrefecimento constante dos mesmos.

Além da fachada, também foi implementado um sistema fotovoltaico no parque de estacionamento do edifício que gera 6 KWp e fornece energia elétrica ao edifício [51]

4.2.2.2. Tecnologias construtivas

Seguidamente serão expostas as tecnologias construtivas utilizadas no Solar XXI:

- Elementos opacos:

Tabela 10 - Elementos opacos do Solar XXI [51]

Elemento	Descrição	Coefficiente U (W/m ² °C)
Paredes exteriores	Paredes simples de alvenaria de tijolo(22cm) + Isolamento térmico pelo exterior (6 cm de poliestireno expandido)	0,45
Laje de cobertura	Laje maciça+ isolamento térmico pelo exterior (5 cm de poliestireno expandido+ 5 cm de poliestireno extrudido)	0,26
Pavimento	Pavimento em contacto com o solo+ isolamento Térmico pelo exterior (10 cm de poliestireno expandido)	0,55

Com a adoção de diferentes espessuras de isolamento térmico nos diferentes elementos opacos é permitida uma minimização de perdas térmicas, fundamentalmente, na época de aquecimento. Além disso, a colocação do isolamento pelo exterior aumenta a sua eficácia, quer no período de inverno dificultando a libertação de energia e no verão representa uma primeira barreira ao calor.[51]

- **Vãos envidraçados:**

Os vãos apresentam uma constituição de vidro duplo incolor com caixilho de alumínio de correr ($U= 4,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$). Na fachada orientada a sul, têm uma proteção por estores exteriores de lâminas reguláveis, que se traduzem em fatores solares de Verão no valor de 0,09.[51]

4.2.2.3. Estratégias de aquecimento[51]

Em seguida serão apresentadas as estratégias de aquecimento utilizadas no Solar XXI:

- Otimizar a qualidade térmica da envolvente com a colocação de isolamento térmico em paredes, pavimento e cobertura. Este como foi aplicado pelo exterior permite a correção de pontes térmicas e mantém a “massa inercial” do edifício contribuindo para a manutenção da temperatura interior;
- Potenciar a captação de ganhos solares, sobretudo através da fachada orientada a sul que é dotada de grandes vãos envidraçados. Nesta mesma fachada estão localizados os escritórios que são ocupados frequentemente durante o dia, esta estratégia permite, assim ganhos solares diretos para aquecimento. Todas as restantes fachadas têm uma área de envidraçado muito reduzida.
- Recuperação de calor na face interior dos módulos fotovoltaicos, através do aproveitamento do calor gerado pelos módulos fotovoltaicos. Assim, torna-se útil perante duas situações, uma primeira situação para os meses de inverno, onde por convecção o ar interior é aquecido, tal como se pode observar na imagem(Figura 50) uma segunda em meses de meia estação em que este mecanismo pode ser usado como pré-aquecimento do ar vindo do exterior (Figura 50):



Figura 50 - Utilização durante o inverno na imagem da esquerda e utilização durante meses de meia estação na imagem da direita. [51]

- Um sistema solar térmico com coletores colocados na cobertura do edifício, auxiliado por um sistema de armazenamento na cave alimentado por uma caldeira de gás natural constituem um sistema complementar de aquecimento. Este sistema permite uma garantia de conforto em pleno inverno e do aquecimento das zonas a norte do edifício.

4.2.2.4. Estratégias de arrefecimento[51]

Em seguida serão apresentadas as estratégias de arrefecimento utilizadas no Solar XXI:

- Dispositivos de sombreamento exteriores na fachada Sul, que permitem combater as elevadas temperaturas e intensidade de radiação solar de Lisboa. Os grandes vãos envidraçados estão protegidos por estores exteriores de lamina reguláveis, que permitem ao utilizador adequar a entrada de radiação solar e luz. De notar, que o facto das laminas se localizarem no exterior impedem a incidência solar diretamente nos vãos e portanto, minimizam o aquecimento no interior do edifício.
- Sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados, este sistema é constituído por 32 tubos de manilhas de cimento com diâmetro de 30 cm e enterrados a 4,6 metros de profundidade permitindo a entrada de ar proveniente do solo no edifício o que irá constituir uma fonte de arrefecimento do mesmo. Salientar que a entrada de ar é feita através de um poço de alimentação localizado a 15 metros de distância do edifício.
- Ventilação natural, as aberturas nas diferentes fachadas no edifício permitem a criação de ventilações transversais e ascendentes.
- Ventilação da fachada fotovoltaica, principalmente em períodos de grande calor exterior é importante eliminar o calor que os módulos produzem utilizando dois registos que comunicam com o exterior pela parte inferior e superior dos módulos (Figura 51).

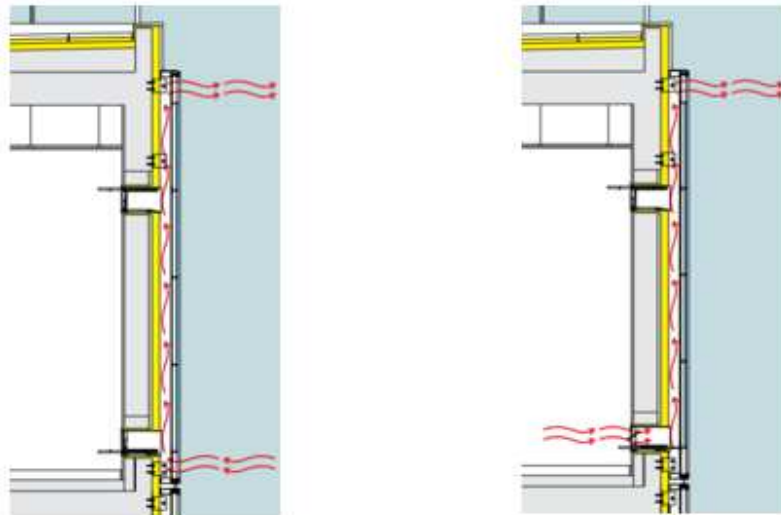


Figura 51 - Funcionamento da fachada no verão

4.2.2.5. Estratégias de iluminação natural

O projeto deste edifício pretendia dar um grande ênfase à existência de elevadíssimos níveis de iluminação natural. De notar que a fachada sul tem uma área muito grande de envidraçados e, além disso, as portas de comunicação com os corredores têm bandeiras translúcidas o que permite a propagação de luz até à zona central do edifício.

A zona central do edifício é dotada de uma claraboia no topo e é uma das principais fontes de luz do edifício e também contacta com as salas a norte através de elementos translúcidos.[51]

4.2.3. Resultados apresentados

Através de uma análise de monitoramento realizada no ano de 2011, 5 anos após a inauguração do edifício, verificou-se um consumo total de energia de 36 MWh e uma produção, por partes dos sistemas

fotovoltaicos, de 38 MWh. Pela observação da Figura 51, é possível perceber qual a energia elétrica consumida vs energia fornecida pelo sistema fotovoltaico no decorrer de cada mês do ano.[51]

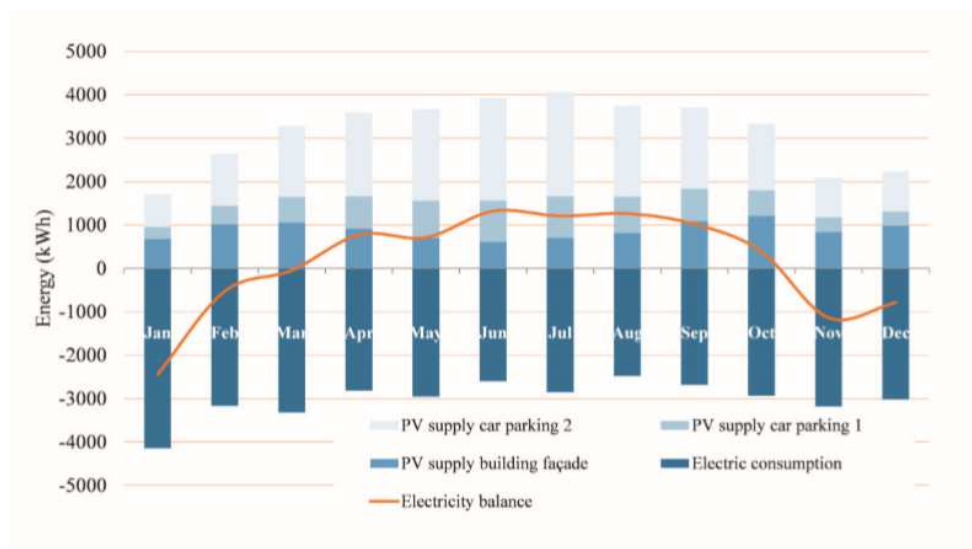


Figura 52 - Monitorização dos consumos e produção de energia do edifício [51]

4.3. OFICINAS PASSIVHAUS, VALÊNCIA, ESPANHA

4.3.1. Informação geral do edifício

Estas oficinas representam um exemplo muito interessante, essencialmente pela originalidade no aproveitamento do calor desperdiçado pelo processo industrial vizinho. Além disso, achou-se importante a inserção deste exemplo na presente dissertação uma vez que o modelo de PassivHaus representa um dos modelos mais conhecidos para atingir os nZEB, porém devido a algumas das suas especificidades, tal como os elevados níveis de isolamento térmico que poderá culminar problemas de sobreaquecimento e um uso excessivo da ventilação mecânica que se traduz em grandes gastos energéticos torna-se, assim, difícil de garantir se este será considerado, realmente, um nZEB ou não.

De notar, que Valência apresenta um clima mediterrânico tipo (Figura 53), quer isto dizer que os verões são muito intensos com elevadas temperaturas tanto durante o dia como durante a noite e, durante o inverno raramente sucedem temperaturas baixas. Além disso apresenta a particularidade de a precipitação ser extremamente baixa e é uma cidade com uma insolação elevadíssima. Importante também sublinhar para o decorrer deste trabalho que o clima de Valência é muito semelhante ao de Faro.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	11.2	11.1	13.4	15.3	18.2	21.8	24.6	24.9	22.8	18.9	14.5	11.9
Temperatura mínima (°C)	6.8	7.3	8.6	10.6	13.8	17.5	20.4	20.9	18.4	14.3	10	7.5
Temperatura máxima (°C)	15.7	15	18.3	20	22.7	26.1	28.8	29	27.3	23.5	19	16.3
Chuva (mm)	32	32	32	32	32	23	10	18	55	85	50	44

Figura 53 - Dados climatológicos de Valência [52]

Este edifício localiza-se em Sollana, uma região que pertence à comunidade valenciana que se situa em Espanha. Trata-se de uma construção do ano de 2014 e foi o primeiro edifício de escritórios Passivhaus certificado em Espanha, totaliza uma área de 1436m² e constituído por três pisos.

Tendo em conta a volumetria e orientação a norte impostas pelas condições do terreno, trabalhou-se na otimização das lacunas, tentando encontrar um equilíbrio entre a contribuição de luz natural e redução de perdas por transmissão. Além disso, a sua localização a sul da fachada de um armazém existente, não permite o seu arrefecimento noturno criado pela ventilação natural cruzada, para colmatar este problema foram projetados dois pátios interiores que também terão um efeito positivo na contribuição de entrada de luz natural.

Ainda que não recorra a energias renováveis como a solar ou eólica que são as mais comuns, este exemplo torna-se interessante na medida em que aproveita a energia resultante de um edifício industrial na sua vizinhança.[52]



Figura 54 - Oficinas Passivhaus [52]

4.3.2. Soluções aplicadas

4.3.2.1. Tecnologias construtivas

Seguidamente serão apresentadas as tecnologias que foram utilizadas nas oficinas Passivhaus em Valência:

- **Elementos opacos:**[52]

Tabela 11 - Elementos opacos do edifício [52]

Elemento	Coefficiente U (W/m ² .°C)
Paredes exteriores	0,27
Laje de cobertura	0,21
Pavimento	0,64

- Paredes exteriores:

A fachada é constituída por blocos de argila alveolar de 19cm de espessura e com condutibilidade térmica de 0,28 W/m°C e foi aplicada externamente uma camada de argamassa impermeável de 15mm. Foi aplicado um isolamento em lã mineral de 100mm de espessura com uma condutibilidade de 0,035 W/m°C.

O isolamento é contínuo em todas as fachadas e garante a eliminação das pontes térmicas na zona da laje e zona da cobertura, quanto ao acabamento exterior, este é realizado em argamassa, malha de reforço de fibra de vidro e três camadas de estuque mineral flexível, impermeável a água da chuva, permeável ao vapor de água e resistente ao impacto.

Por fim o revestimento interior da parede é composto por uma camada de 20mm de gesso que garante a estanquidade ao ar e a permeabilidade ao vapor de água.

- Cobertura:

A cobertura é composta por uma laje aligeirada de 20+5 cm de espessura, tela de impermeabilização em PVC reforçada com fibra de vidro e proteção geotêxtil, isolamento térmico constituído por uma dupla camada de poliestireno extrudido de 150mm de espessura (0,034 W/m°C) e uma proteção pesada com cascalho.

No encontro entre a parede exterior e a cobertura foi colocado um isolamento em vidro celular com condutibilidade térmica de 0,058 W/m°C eliminando, assim, potenciais pontes térmicas.

- Vãos envidraçados:[52]

Foi colocada uma caixilharia de alto desempenho, com um perfil de secção de 82mm ($U=0,78$ W/m²C), os vidros têm fatores solares e coeficientes de transmissão diferentes dependendo da orientação da fachada.

Em média estes envidraçados são dotados de um coeficiente de transmissão térmica de 1,3 W/m²C

4.3.2.2. Sistemas de aquecimento/arrefecimento

Em seguida serão expostas algumas medidas aplicadas relativamente aos sistemas de aquecimento e arrefecimento:

- Ventilação:

As condutas que no inverno se utilizam para o ar quente, no verão servem para condução de ar frio, esta mudança é realizada através de uma bateria colocada na saída do recuperador. Quando a contribuição do ar frio através das condutas não é suficiente, a instalação de um ventiloconvector entra em funcionamento. Neste caso, a água fria dos ventiloconvectores provém de máquinas de arrefecimento abastecidas por três torres de refrigeração (situada na zona de instalações do edifício).[52]

- Instalação de aquecimento:

O sistema de aquecimento é constituído por duas instalações: uma através de condutas de ar (quente ou frio) e uma instalação complementar de ventiloconvector (frio ou calor). Na cobertura foi colocado o recuperador que tem uma bateria e este permite, então, gerar ar frio ou quente.

O ar que circula pelas condutas chega às salas através de grelhas, caso a contribuição não seja suficiente entram em funcionamento os ventiloconvectores, cuja água é aquecida gratuitamente através de um

sistema que recupera o calor produzido pelo funcionamento de uns compressores localizados num edifício industrial que se encontra conectado a este edifício em apreço.[52]

- **Água quente sanitária:**

A geração de calor para água quente doméstica (AQS) e para a água quente dos ventiloconvectores (aquecimento) ocorre da seguinte forma: O edifício de escritórios está conectado a um edifício industrial, tal como já foi referido. Neste são produzidas peças moldadas por injeção de plástico para a indústria automóvel, no decorrer deste processo é utilizado ar comprimido gerado por dois compressores com permutador de calor. O fabricante estima que 85% da energia pode ser recuperada e indica um excesso de calor equivalente a 77kW que é gerado como resíduo. Desta forma, em vez de, simplesmente, permitir que esta energia se dissipe, pode-se aproveitá-la como foi feito neste edifício. A energia primária tem impacto zero sobre o ambiente, resulta de resíduos que de outra forma seriam desperdiçados, é gratuita e não tem impacto ambiental porque é um desperdício.[52]

4.3.3. Conclusões relativamente ao desempenho do edifício

As principais características desta norma alemã pretendem aplicar um grande isolamento térmico, para garantir uma boa temperatura de conforto interior e reduzir o consumo de energia. Neste projeto o grande desafio consiste em construir um Passivhaus no clima quente de Valência, posto isto, uma das técnicas para obter bons resultados foi o aproveitamento do arrefecimento noturno, através da ventilação cruzada existente entre os dois pátios interiores do edifício.[53]

Para concluir, o resultado é um edifício que combina alta qualidade de ar interior, uma vez que é utilizado um sistema de ventilação mecânica onde todo o ar exterior que entra no edifício é filtrado e, portanto, são retidas todas as poeiras e bactérias, alto conforto e um consumo muito baixo de energia em que o resultado da sua conta energética será economizada em até 80% em comparação com um edifício convencional do mesmo tamanho.[53, 54]

4.4. OUTROS EXEMPLOS DE nZEB`S EXISTENTES NA EUROPA

Anteriormente, foram apresentados, mais detalhadamente, dois exemplos de nZEB`s, um deles por se tratar de um caso de sucesso inserido em Portugal e outro, em Espanha, uma vez que segue o conceito da “Passiv Haus”. Porém, ambos os exemplos são edifícios não residenciais, portanto em seguida serão expostos, de forma mais sucinta, alguns casos de nZEB`s em residências presentes na Europa:

- **Järvenpää Zero Energy House, Finlândia:[55]**

Construído em 2011, trata-se do primeiro nZEB na Finlândia. Trata-se de um edifício de habitação com certa de 2000 m² de área.



Figura 55 - Järvenpää Zero Energy House [55]

Relativamente aos seus elementos opacos apresentam um valor do coeficiente U de:

- Paredes exteriores = 0.08 W/m²K;
- Vãos envidraçados = 0.76 W/ m²K;
- Cobertura = 0,07 W/ m²K.

Sistemas utilizados no edifício:

- O aquecimento é realizado através de radiadores de água;
- Iluminação de baixo consumo energético;
- Ventilação mecânica com recuperador de calor.

Sistemas de energia renovável utilizados:

- Coletores solares térmicos;
- Painéis Fotovoltaicos;
- Energia geotérmica.

Conclusões relativas este edifício:

- Conclui-se que 100% da energia primária é obtida através de fontes renováveis, além disso o excesso de energia obtida durante o Verão é vendida a uma habitação próxima, compensando o consumo de aquecimento durante o Inverno.
- Uma pequena curiosidade deste edifício prende-se com a obtenção de energia geotérmica. Inicialmente, a obtenção de energia era feita sem recorrer a uma bomba de calor para o pré-aquecimento da água quente sanitária. Mais tarde, já se realizou a instalação da mesma;
- Garantiu-se o arrefecimento constante da sala do inversor do sistema solar, uma vez que as temperaturas elevadas diminuem a taxa de fornecimento de eletricidade;
- Com todos os cuidados para garantir bons resultados relativamente à eficiência energética e com a implementação dos sistemas de energias renováveis resultou um valor de custos adicionais de 400 euros/m².

- **Maison HANAU, França: [55]**

Construída em 2013 na cidade de Selestat, trata-se de uma moradia com cerca de 178 m².



Figura 56 - Maison HANAU [55]

Relativamente aos seus elementos opacos apresentam um valor do coeficiente U de:

- Paredes exteriores = 0.160 a 0,166 W/m²K;
- Vãos envidraçados = 1.28 W/ m²K;
- Cobertura = 0,108 a 0,127 W/ m²K.

Sistemas utilizados no edifício:

- O aquecimento é assegurado por uma caldeira de condensação a gás e distribuído por um sistema de aquecimento do pavimento radiante;
- A caldeira também fornece apoio aos coletores solares térmicos que são a principal fonte de AQS;
- Foi instalado um sistema de ventilação com sensores de humidade para manter a qualidade do ar interior.

Sistemas de energia renovável utilizados:

- Coletores solares térmicos;
- Painéis Fotovoltaicos.

Conclusões relativas este edifício:

- Foi a segunda habitação em França a obter a certificação BEPOS Effinergie. O BEPOS é a certificação para as casas que produzem mais energia do que aquela que utilizam.
- Em termos de especificação dos elementos construtivos, esta casa tem uma estrutura de betão celular isolada com poliestireno, um isolamento de alto desempenho nos telhados e pavimentos em poliestireno intertidal e isolamento adicional de 8 cm de poliuretano.
- As janelas são de vidro duplo.

5

CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO DO CONCEITO nZEB EM PORTUGAL

5.1. INTRODUÇÃO

5.1.1. Objetivos e breve descrição do procedimento realizado

Através deste capítulo pretende-se estudar um apartamento tipo inserido num nível intermédio de um edifício. O objetivo fulcral deste capítulo é minimizar as necessidades energéticas quer para arrefecimento quer para aquecimento, não comprometendo, em momento algum, as exigências de conforto térmico, de ventilação, para que seja garantida a qualidade do ar interior e as necessidades de água quente sanitárias.

Deste modo, e partindo de um modelo comum, para três cidades distintas de Portugal Continental (Bragança, Faro e Porto) serão comparadas diversas soluções, através de variações de elementos da envolvente ou sistemas técnicos, por exemplo, tentando obter, para cada um destes locais, uma solução que satisfaça os ideais do conceito nZEB.

Assim sendo, numa primeira parte deste estudo pretende-se quantificar as necessidades energéticas de cada uma das soluções aplicadas e para isso recorreu-se a uma folha de cálculo da aplicação do REH desenvolvida pelo ITeCons .

O ITeCons desenvolveu uma ferramenta de cálculo de aplicação do Regulamento de Desempenho Energético de Habitação (REH), aprovada pelo Decreto-Lei nº 118/2013, que permite a emissão de Pré-Certificados e Certificados Energéticos para qualquer tipo de edifício (novo ou existente) e, para isso, apenas é necessária a introdução de dados relativos ao edifício, como por exemplo: informação geográfica, elementos construtivos, sistemas técnicos, entre outros. Assim sendo, será possível determinar para cada uma das soluções apresentadas as necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), para arrefecimento (N_{vc}) e, ainda, as necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}) para cada uma das soluções expostas. Deste modo, será possível observar o impacto que

modificar determinados elementos causará nos resultados obtidos.[56]

No capítulo 6 será utilizada uma ferramenta de simulação dinâmica, o Design Builder, que permitirá estudar o desempenho da fração habitacional tendo em conta as atividades realizadas (perfis de utilização) na mesma, que corresponderão, quase sempre, a aquecimento intermitente. Desta forma, pretende-se calcular os consumos energéticos e, além disso, avaliar o conforto térmico na habitação.

5.1.2. Arquitetura

A habitação em estudo localiza-se num piso intermedio de um edifício e apresenta um pé direito no valor de 2,5m. Na seguinte imagem é possível observar a planta do piso onde se insere o apartamento devidamente assinalado.

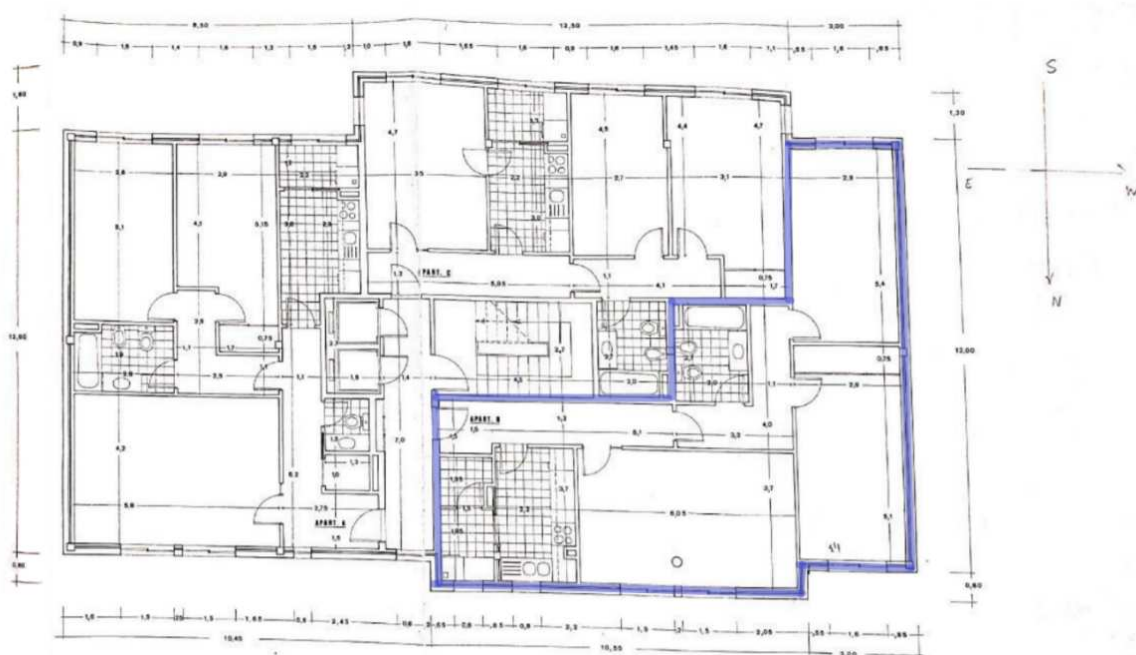


Figura 57 - Planta da habitação em estudo

Além disso, é importante uma definição clara da envolvente interior e envolvente exterior, como se pode observar na Figura 58. Deste modo, a azul está representada a envolvente exterior, ou seja, as paredes em contacto direto com o exterior e a vermelho a envolvente interior, isto é, paredes que delimitam espaços aquecidos de espaços não aquecidos, no interior do edifício.

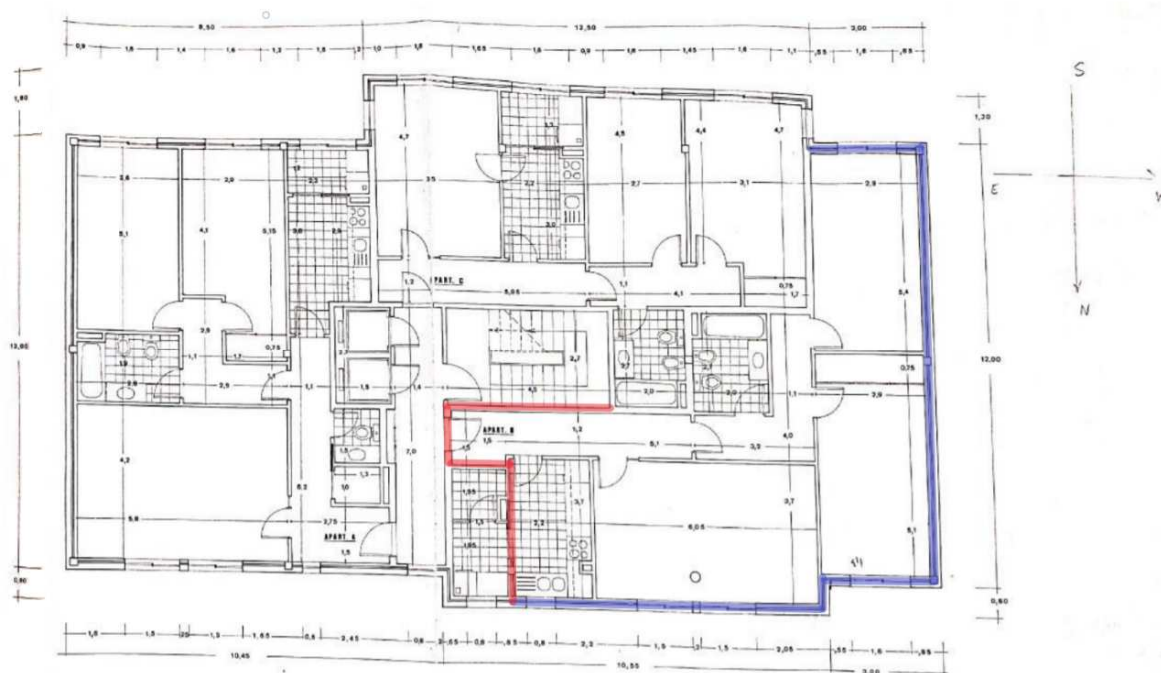


Figura 58 - Definição de envolvente interior e exterior

Em seguida, na tabela 12, será possível observar, o levantamento dimensional da habitação:

Tabela 12 - Levantamento dimensional da habitação

Divisão	Área (m ²)	% Área	Volume (m ³)
Hall 1	8,37	9,4	20,93
Hall 2	6,92	7,8	17,30
Casa de Banho	5,40	6,1	13,50
Quarto 1	15,66	17,6	39,15
Quarto 2	16,97	19,1	42,43
Sala	22,39	25,2	55,98
Cozinha	8,14	9,2	20,35
Lavandaria	5,10	5,70	12,75
TOTAL	88,95	100	222,38

5.1.3. Pontes térmicas existentes na fração

Na seguinte imagem será apresentada a ponte térmica plana existente na habitação (local rodeado a azul), isto é, numa das suas paredes exteriores existe um pilar que facilitará as transferências de calor entre meio interior e exterior, logo esta secção deverá ser tratada com especial cuidado. De notar que nos diferentes casos de estudo realizados esta ponte térmica será alvo de modificações com a finalidade de garantir que esta não constituía um problema para a habitação.

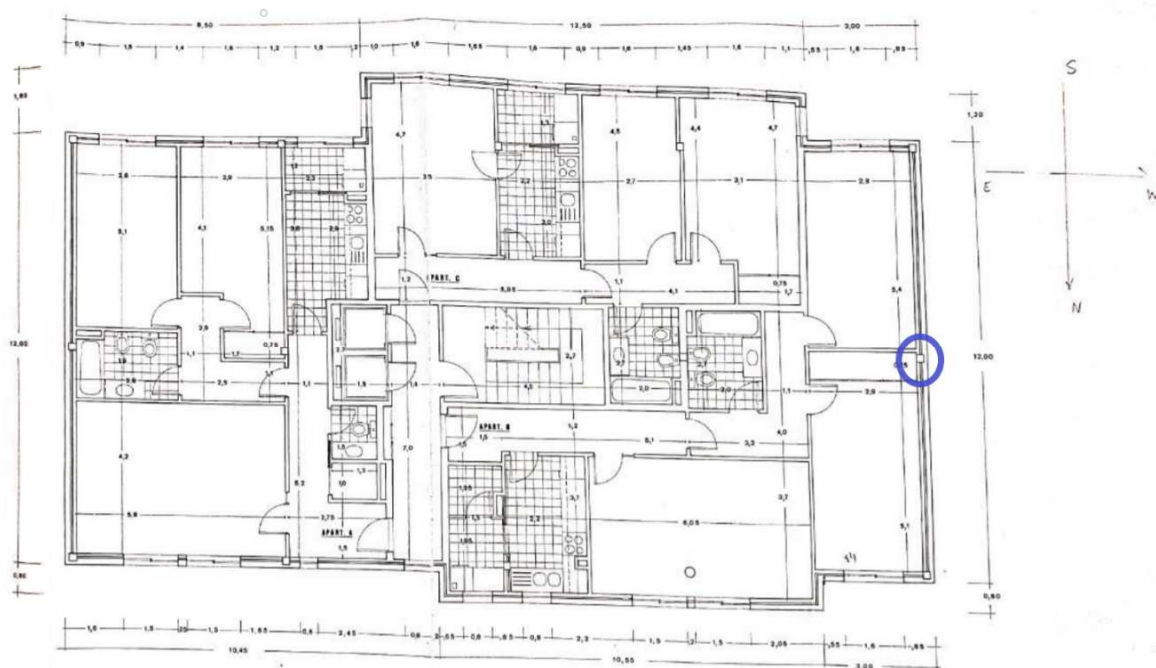


Figura 59 - Ponte térmica existente em zona de pilar

A ponte térmica plana referida anteriormente é apresentada com maior detalhe na Figura 60 que na solução base apresenta um coeficiente de transmissão térmica $U = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

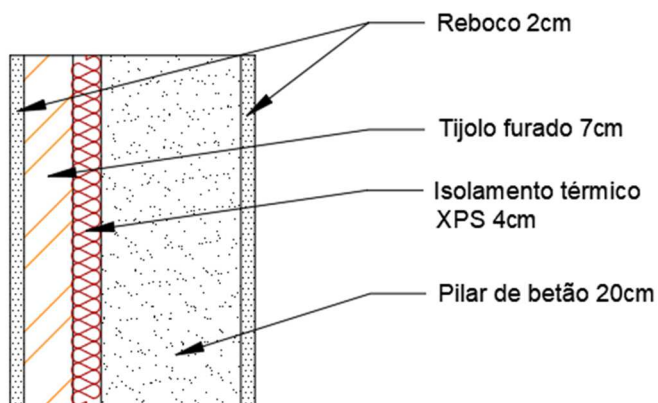


Figura 60 - Desenho de pormenor da ponte térmica

Por fim, segue-se uma imagem que evidencia as pontes térmicas lineares existentes na habitação:

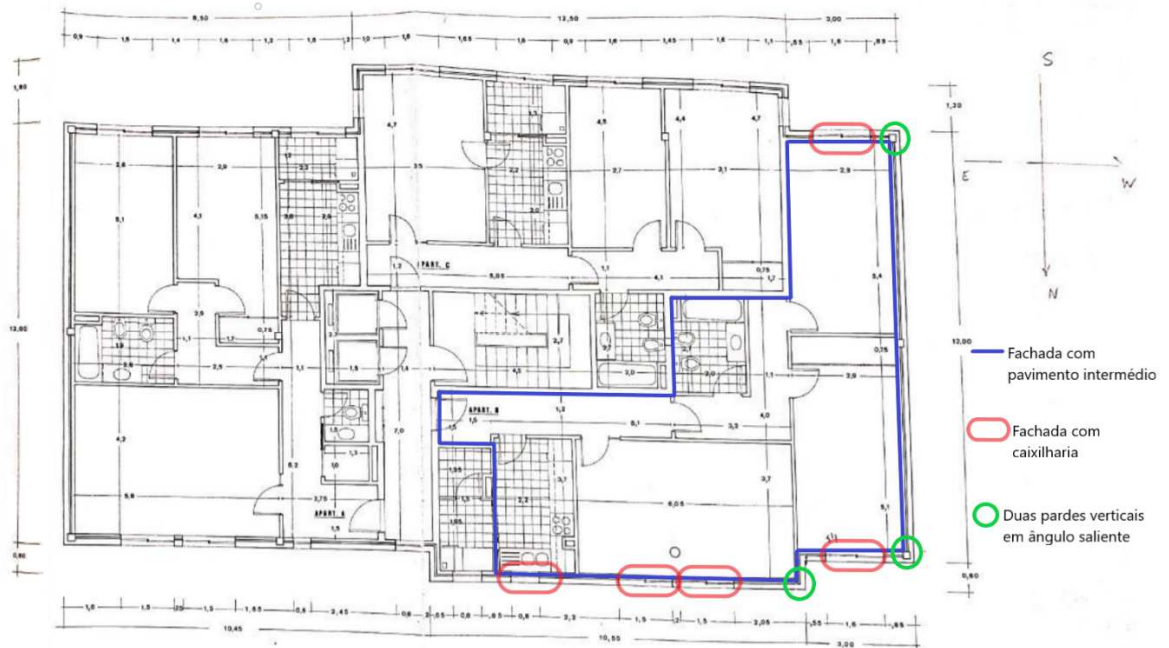


Figura 61 - Exposição das pontes térmicas lineares existentes na habitação

Estas zonas requerem especial cuidado, uma vez que a inexistência de tratamentos adequados dos pontos assinalados permitem as trocas de calor com o meio exterior o que poderá resultar no aumento dos consumos energéticos da habitação. Além disso, poderão surgir patologias construtivas associadas a fenómenos de condensação que culminarão em gastos adicionais de manutenção, desconforto térmico, redução da durabilidade dos materiais e aparecimento de fungos e bolores.

5.1.4. Definição da área útil e não útil para efeitos do REH

As exigências estabelecidas no Regulamento dos Edifícios de Habitação, apenas, serão aplicadas a espaços onde são exigidas condições interiores de conforto, espaços esses denominados de “zona útil” (assinalado na figura como zona 1). Espaços onde não se aplicam as condições expostas classificam-se como “não útil” ou não aquecidos (assinalados na figura como zona 2). Estes espaços, que no caso da habitação de estudo correspondem à lavandaria e zona comum do piso pela aplicação do REH, não são incluídos no cálculo dos valores de N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} .

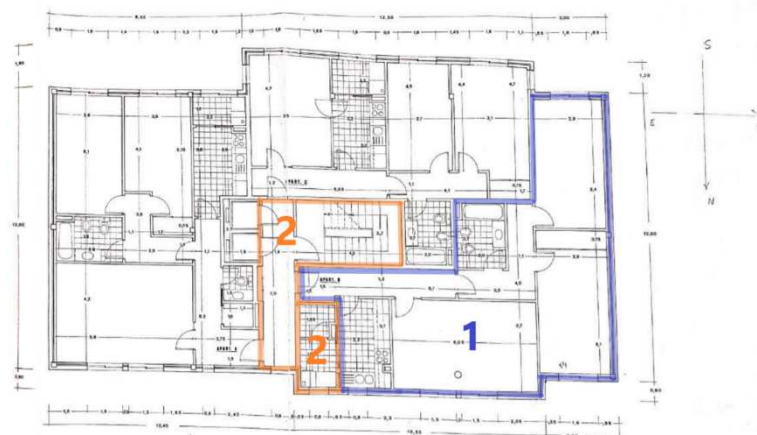


Figura 62 - Representação dos espaços úteis (1) e não úteis (2)

Para os espaços não úteis, o coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, btr foi obtido de acordo com o REH, tendo sido considerados os parâmetros da Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013. Os espaços não úteis considerados foram:

- Caixa de escadas e circulação comum, com $A_i/A_u \geq 4$, um volume superior a 50 m^3 com ventilação fraca, btr = 0,40;
- Lavandaria, com $0,5 \leq A_i/A_u < 1$, um volume inferior a 50 m^3 com ventilação forte, btr = 0,70.

5.1.5. Elementos construtivos comuns a todos os casos de estudo

As paredes interiores (Figuras 63 e 64) serão comuns a todos os casos, isto é, não serão um elemento que sofrerá alterações em nenhuma das soluções apresentadas. As seguintes soluções de parede são as que delimitam espaços interiores aquecidos. A figura da esquerda, representa as paredes interiores em quartos e sala comum e a figura da direita, na cozinha e quarto de banho.

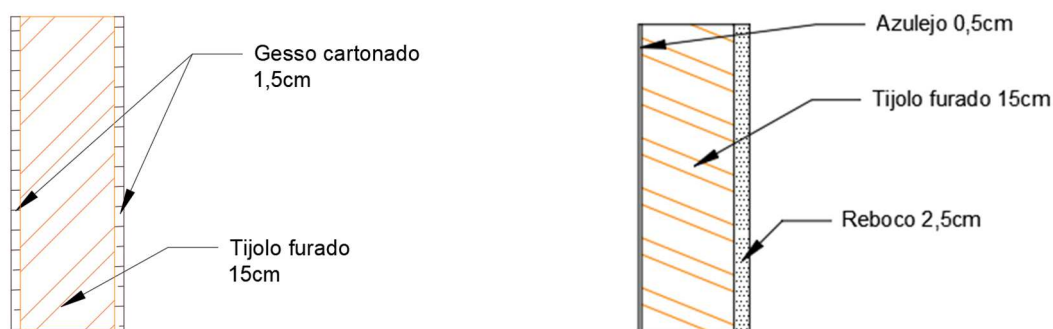


Figura 63 - Desenho de pormenor das paredes interiores

Posto isto, as seguintes imagens representam as restantes paredes interiores existentes sendo que a parede da esquerda é a que contacta com a zona comum e a da direita a que contacta com a lavandaria, ambos espaços não aquecidos.



Figura 64 - Desenho de pormenor das paredes interiores que contactam com espaços não úteis

No que diz respeito à laje de pavimento interior e de teto, este apresenta a seguinte constituição (Figura 65) e também será um elemento imutável em todas as soluções de estudo.

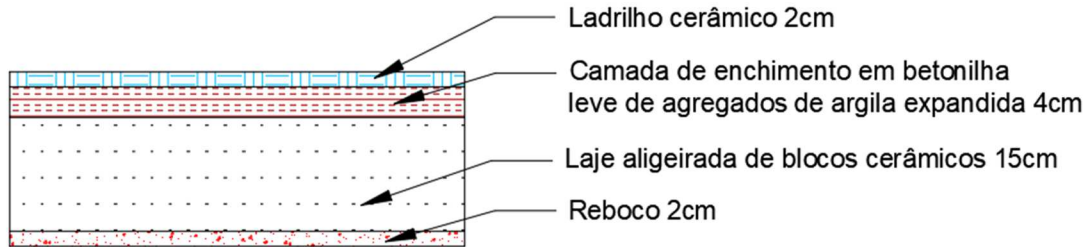


Figura 65 - Desenho de pormenor do pavimento

Em jeito de conclusão, a seguinte tabela expõe os valores dos coeficientes de transmissão dos elementos, anteriormente, apresentados:

Tabela 13 - Coeficientes de transmissão dos elementos interiores

Elemento	Coefficiente U (W/m ² .°C)
Parede interior 1	1,3
Parede interior 2	1,49
Parede interior 3	0,5
Parede interior 4	1,52
Pavimento interior	1,67

5.1.6. Soluções de partida para os casos de estudo

Como já foi referido anteriormente, cada um dos três casos de estudo irá partir de uma solução base e a partir dessa mesma solução serão apresentadas medidas de melhorias de desempenho energético da habitação que venham a corresponder aos objetivos desejados para um edifício nZEB.

Essa solução base, apresenta os seguintes elementos construtivos:

- Paredes exteriores (U=0,49 w/m²°C)

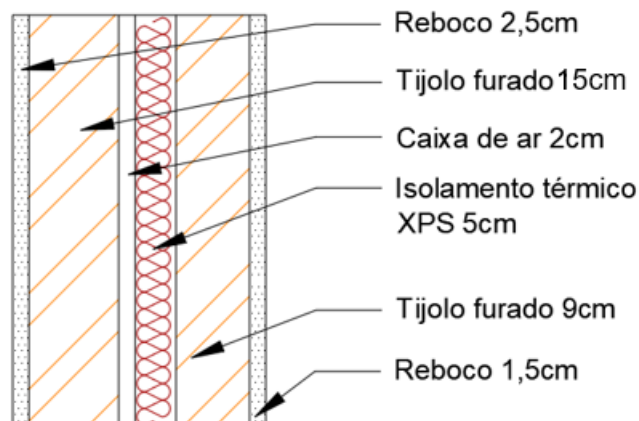


Figura 66 - Desenho de pormenor da parede exterior

- Vãos envidraçados exteriores ($U_{wdn}=2,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$)

Os vãos envidraçados da envolvente do edifício serão constituídos por um tipo de vão envidraçado simples, caixilharia de metal e vidro duplo (8mm + 16mm + 5mm). Quanto à proteção dos vãos, ela consiste em proteção pelo exterior tipo persiana de réguas plásticas de cor clara.

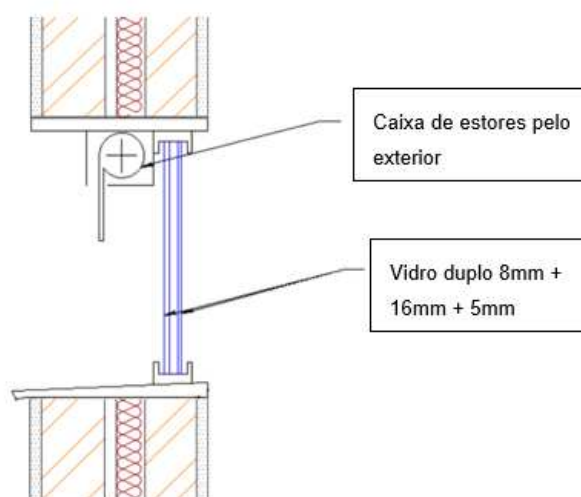


Figura 67 - Desenho de pormenor do vão envidraçado

Relativamente a sistemas técnicos a habitação detém um termoacumulador elétrico com funcionamento constante e um painel solar térmico para garantir água quente sanitária. Os sistemas de coletores solares térmicos a instalar, de acordo com a Portaria n.º 349-B/2013, deverão gerar um contributo de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico ao previsto ou instalado, baseado em coletores solares padrão, com as seguintes características:

- Orientação solar a Sul e com inclinação de 35°;
- Área de abertura de 0,65 m² por ocupante convencional;
- Rendimento ótico de 73%;
- Coeficientes de perdas térmicas: $a_1=4,12 \text{ W/m}^2\text{.K}$ e $a_2=0,014 \text{ W/m}^2\text{.K}$;
- Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.

Seguidamente, será apresentada uma tabela com os elementos da solução base que serão passíveis de modificações ao longo de cada um dos casos de estudo:

Tabela 14 - Coeficientes de transmissão de elementos em contacto com o exterior

Elemento	Coefficiente U ($\text{W/m}^2\text{.°C}$)
Paredes exteriores	0,49
Ponte térmica plana	0,64
Vão envidraçado	2,5

Por fim, a tabela 15 visa demonstrar as áreas das envolventes verticais da habitação, além disso é apresentado um quociente entre a área de envidraçado e a área de pavimento para cada uma das orientações :

Tabela 15 - Áreas de envidraçado e envolvente opaca por orientação

	Norte	Oeste	Sul	Este	Total
Envolvente vertical opaca (m²)	23,95	27,88	4,58	0	28,53
Envidraçados (m²)	7,44	0	1,92	0	9,36
Aenv/Apav (%)	14,1	0	12,3	0	

5.2. DADOS CLIMÁTICOS RELATIVOS ÀS LOCALIDADES EM ESTUDO

5.2.1 Cidade de Bragança [34]

A habitação em estudo situa-se na NUTS III de **Alto Trás-os-Montes**. Deste modo, o despacho nº.15793-F/2013 insere a fração na zona climática de inverno **I3** e na zona climática de verão **V2**. Quanto aos Graus-dias de aquecimento que representam a severidade de um clima, neste caso, o seu valor correspondente à estação convencional de aquecimento é de **2280 °C.dias**.

$$X = X_{\text{Ref}} + a(z - z_{\text{Ref}}) \quad (4)$$

Onde:

X – Parâmetro climático;

X_{Ref} – Valor do parâmetro referência;

a – Declive das correções de altitude;

z -altitude do local;

z_{Ref}- altitude de referência para a NUTS III;

Seguidamente serão abordados alguns fatores climáticos como:

- Duração da estação de aquecimento (calculada através da equação acima):

A duração da estação de aquecimento para a fração em estudo é igual a 7,3 meses.

- Energia solar media mensal na estação de aquecimento:

Como já foi referido o apartamento em estudo situa-se na zona climática **I3** e na NUTS III de **Alto Trás-os-Montes**, assim a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento é de **125 kWh/m².mês**.

- Energia solar acumulada na estação de arrefecimento:

A tabela 16 apresenta os valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para o caso em estudo, energia essa, recebida na horizontal (inclinação de 0°) e em superfícies verticais (inclinação de 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais.

Tabela 16 - Valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para Bragança [34]

NUTS III	I_{sol} [kWh/m ²] acumulados de junho a setembro								
	Horiz.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Alto Trás-os-Montes	790	220	345	480	485	425	485	480	345

- Temperatura exterior média do ar para a estação de arrefecimento:

Nesta localidade a temperatura exterior média do ar para a estação convencional de arrefecimento é igual a 21,5 °C.

5.2.2. Cidade de Faro [34]

A habitação em estudo situa-se na NUTS III de **Algarve**. Deste modo, o despacho n.º.15793-F/2013 insere a fração na zona climática de inverno **II** e na zona climática de verão **V3**. Quanto aos Graus-dias de aquecimento que representam a severidade de um clima, neste caso, o seu valor correspondente à estação convencional de aquecimento é de **745 °C.dias**.

Seguidamente serão abordados alguns fatores climáticos como:

- Duração da estação de aquecimento:

A duração da estação de aquecimento para a habitação em estudo é igual a 4,8 meses.

- Energia solar média mensal na estação de aquecimento:

Como já foi referido o apartamento em estudo situa-se na zona climática **II** e na NUTS III de **Algarve**, assim a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento é de **155 kWh/m².mês**.

- Energia solar acumulada na estação de arrefecimento:

A tabela 17 apresenta os valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para o caso em estudo, energia essa, recebida na horizontal (inclinação de 0°) e em superfícies verticais (inclinação de 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais.

Tabela 17 - Valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para Faro [34]

NUTS III	I_{sol} [kWh/m ²] acumulados de junho a setembro								
	Horiz.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Algarve	865	225	375	515	500	405	495	510	370

- Temperatura exterior média do ar para a estação de arrefecimento:
Nesta localidade a temperatura exterior média do ar para a estação convencional de arrefecimento é igual a 23,1 °C.

5.2.3. Cidade do Porto [34]

A habitação em estudo situa-se na NUTS III de **Grande Porto**. Deste modo, o despacho n.º.15793-F/2013 insere a fração na zona climática de inverno **II** e na zona climática de verão **V2**. Quanto aos Graus-dias de aquecimento que representam a severidade de um clima, neste caso, o seu valor correspondente à estação convencional de aquecimento é de **1234 °C.dias**.

Seguidamente serão abordados alguns fatores climáticos como:

- Duração da estação de aquecimento:
A duração da estação de aquecimento para a habitação em estudo é igual a 6,2 meses.

- Energia solar média mensal na estação de aquecimento:
Como já foi referido o apartamento em estudo situa-se na zona climática **II** e na NUTS III de **Porto**, assim a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento é de **130 kWh/m².mês**.

- Energia solar acumulada na estação de arrefecimento:
A tabela 18 apresenta os valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para o caso em estudo, energia essa, recebida na horizontal (inclinação de 0°) e em superfícies verticais (inclinação de 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais.

Tabela 18 - Valores de energia solar acumulada, na estação de arrefecimento, para o Porto [34]

NUTS III	I_{sol} [kWh/m ²] acumulados de junho a setembro								
	Horiz.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Porto	800	220	350	490	490	425	490	490	350

- Temperatura exterior média do ar para a estação de arrefecimento:
Nesta localidade a temperatura exterior média do ar para a estação convencional de arrefecimento é igual a 20,9 °C

5.3. VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR PARA O CUMPRIMENTO DOS REQUISITOS NZEB: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.3.1. Caso de estudo em Bragança

5.3.1.1. Solução 1: Solução Base

A seguinte tabela tem como objetivo a exposição do cumprimento ou não do REH no que diz respeito aos coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados.

Tabela 19 - Bragança: Solução 1, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente

Elementos da envolvente	Coeficientes de transmissão térmica superficiais [W/(m ² ·°C)]	
	U _{solução}	U _{referência}
Paredes exteriores	0,49	0,35
Vãos envidraçados	2,5	2,2

Para esta solução inicial (Anexo A.1) não estão a ser cumpridos os valores de referência indicados pelo REH, logo este será um dos tópicos a melhorar na solução seguinte uma vez que é obrigatório garantir os valores limite impostos pelo regulamento.

Foi, também, introduzido na folha de Excel um termoacumulador elétrico para AQS e um painel solar térmico que apresenta as seguintes características:

- Modelo: Baxi Mediterraneo Slim 250
- Produção total de energia: 1526 kWh/ano
- Área total de coletores: 2,4m²
- Produtividade de referência: 636 kWh/m²

Uma vez que não foi especificado nenhum sistema técnico com a função de aquecimento, segundo a Portaria 349-B, esta função será garantida por um sistema por defeito com uma eficiência nominal igual a 1.

Posteriormente à introdução de todos os dados relativos ao edifício é possível obter os resultados presentes na Figura 68, de onde se poderá retirar algumas conclusões relativamente à classe energética e às necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

Balço energético			
Indicadores energéticos			
Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	66,74	71,99
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	2,78	7,09
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wwm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	1526	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1526	0
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{EP} /m ² .ano)	169,29	239,96

Ntc/Nt: 0,71

Classe Energética: B

Figura 68 - Bragança: Solução 1, resultados obtidos através da folha de cálculo

Da análise do balanço energético pode-se constatar que o valor do Nic corresponde a 92,7% do Ni, o Nvc a 39,2% do Nv e o Ntc a 71% do Nt. Logo, ainda que se cumpram os valores de referência do REH é de notar que as exigências nZEB ainda não se encontram cumpridas.

Para terminar a abordagem desta solução, através do balanço das necessidades nominais anuais globais de energia primária (Figura 69), será verificado o valor percentual de energia proveniente de fontes renováveis que deverá ser superior a 50%.

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Energia primária para aquecimento	166,85	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	20,02	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	17,58	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{tc}	169,29	kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 69 - Bragança: Solução 1, percentagem de energias renováveis obtidas

Pelos valores obtidos, verifica-se que, apenas, 9,4% das necessidades globais de energia primária são garantidas por via de recursos renováveis, o que representa um valor muito pouco satisfatório. Na presente solução, nenhum dos objetivos nZEB foi atingido.

5.3.1.2. Solução 2

O principal objetivo desta segunda solução consiste em garantir o cumprimento do REH relativamente aos coeficientes de transmissão térmica superficiais e procurar uma redução significativa do valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic), assim como as necessidades nominais anuais globais de energia primária (Ntc).

Deste modo, serão modificadas as paredes exteriores e os vãos envidraçados exteriores. O isolamento térmico em XPS será aumentado em 3cm na parede exterior e 3cm na ponte térmica existente e o vão envidraçado será composto por caixilharia de madeira, com vidro duplo de laminas incolores de 8mm e 4mm com um espaçamento de 16mm low ϵ . O que permite obter a seguinte solução de elementos:

Tabela 20 - Bragança: Solução 2, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente

Elementos da envolvente	Coeficientes de transmissão térmica superficiais [W/(m ² ·°C)]	
	Usolução	Ureferência
Paredes exteriores	0,35	0,35
Vãos envidraçados	2,0	2,2
Ponte térmica plana	0,44	

Além disso, não foram realizadas alterações nos sistemas técnicos. O que permitiu obter o balanço energético da Figura 70:

Balanço energético			
Indicadores energéticos			
Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² ano)	59,43	71,99
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² ano)	2,95	7,09
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	1526	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1526	0
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² ano)	153,48	239,96

Ntc/Nt

0,64

Classe Energética

B

Figura 70 - Bragança: Solução 2, resultados obtidos através da folha de cálculo

Daqui se conclui que com as alterações realizadas:

- O Nic passou a 82,5% do Ni (menos 10,2% comparando com a solução 1);
- O Nvc passou a 41,6 % do Nv;
- O Ntc passou a 64% do Nt (menos 7% comparando com a solução 1);

Portanto, foi conseguida uma redução no Nic e Ntc, ainda que não sejam resultados totalmente satisfatórios.

Por fim, a Figura 71 permite obter o valor percentual de energia proveniente de fontes renováveis:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Energia primária para aquecimento	148,58	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	2,46	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	20,02	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	17,58	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{cc}	153,48	kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 71 - Bragança: Solução 2, percentagem de energias renováveis obtidas

Com as alterações realizadas esta percentagem aumentou de 9,4% para 10,3%. Portanto, será preciso aumentar esta percentagem substancialmente para atingir os 50% desejados. A aplicação da biomassa será alvo de estudo na 3ª solução ainda que uso de biomassa como fonte renovável seja possa ser discutível e seja difícil assegurar que o utilizador faça um uso constante deste recurso.

5.3.1.3. Solução 3

Na terceira e última solução serão introduzidas duas alterações face ao sistema anterior. De notar que nenhuma das exigências nZEB estava a ser cumprida com a solução anterior o que motivou a aplicação de um outro sistema técnico, a biomassa, através de um recuperador de calor a “pellets” que permitirá, por um lado incrementar a percentagem de energias renováveis a utilizar e, por outro, a consequente redução do valor do Ntc. Além disso, o valor das necessidades de energia primária para aquecimento era bastante elevado e, portanto, instalou-se um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor.

Posto isto, obteve-se, na Figura 72, o seguinte balanço energético:

Balanço energético			
Indicadores energéticos			
Síglia	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	51,22	71,99
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	3,64	7,09
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	7453	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1526	0
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{EP} /m ² .ano)	7,42	140,87

Ntc/Nt

0,05

Classe Energética

A+

Figura 72 - Bragança: Solução 3, resultados obtidos através da folha de cálculo

Daqui se conclui que com as alterações realizadas:

- O Nic passou a 71,1% do Ni (menos 11,4% comparando com a solução 2);
- O Nvc passou a 52,3 % do Nv;
- O Ntc passou a 5% do Nt (menos 59% comparando com a solução 2);

Pode-se garantir, assim, o cumprimento de duas exigências nZEB uma vez que o Nic é menor que 75% do Ni e o Ntc menor que 50% do Nt. Aliás, através das alterações realizadas foi possível elevar a classe energética de B para A+.

Em jeito de conclusão, a Figura 73, permite obter o valor percentual de energia proveniente de fontes renováveis é:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	
Energia primária para aquecimento	68,29 kWh _{EP} /m ² .ano
	+
Energia primária para arrefecimento	3,03 kWh _{EP} /m ² .ano
	+
Energia primária para a preparação de AQS	20,02 kWh _{EP} /m ² .ano
	+
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	1,95 kWh _{EP} /m ² .ano
	-
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	85,88 kWh _{EP} /m ² .ano
	=
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{tc}	7,42 kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 73 - Bragança: Solução 3, percentagem de energias renováveis obtidas

A combinação do painel solar térmico para aquecimento de água quente sanitária com um recuperador de calor a “pellets” permitiu um incremento muito grande da percentagem de energia proveniente de fontes renováveis que passou de um 10,3% na solução 2 para um valor de 92% nesta solução. Deste modo, foi, então, garantida o 3º requisito para um nZEB uma vez que o valor de energia primária obtida através de fontes renováveis é superior a 50%.

5.3.2. Caso de estudo em Faro

5.3.2.1. Solução 1: Solução Base

Verificou-se o cumprimento do REH relativamente aos coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados (Tabela 21):

Tabela 21 - Faro: Solução 1, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente

Elementos da envolvente	Coeficientes de transmissão térmica superficiais [W/(m ² ·°C)]	
	U _{solução}	U _{referência}
Paredes exteriores	0,49	0,50
Vãos envidraçados	2,5	2,8

De notar, que para a solução inicial (Anexo A.2) são cumpridas as exigências do REH.

Será, também, instalado um termoacumulador elétrico e um painel solar térmico para a produção de AQS e, portanto, foi introduzido na folha de Excel um painel solar térmico que apresenta as seguintes características:

- Modelo: ACV Boilernox Solarline 2.0
- Produção total de energia: 1536 kWh/ano
- Área total de coletores: 2m²
- Produtividade de referência: 784 kWh/m²

Uma vez que não foi especificado nenhum sistema técnico com a função de aquecimento, segundo a Portaria 349-B, esta função será garantida por um sistema por defeito com uma eficiência nominal igual a 1.

Em seguida, serão, então, analisados os resultados relativos ao balanço energético:

Balanço energético			
Indicadores energéticos			
Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	7,68	15,71
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	12,51	18,97
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wwm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	1536	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1536	0
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{EP} /m ² .ano)	31,74	109,16

Ntc/Nt	0,29
Classe Energética	A

Figura 74 - Faro: Solução 1, resultados obtidos através da folha de cálculo

Pela análise do balanço energético, verifica-se que o valor do Nic corresponde a 49% do Ni, o Nvc a 66% do Nv e o Ntc a 29% do Nt. Logo, ainda que se cumpram os valores de referência do REH e das exigências nZEB, no que diz respeito ao Nic e Ntc. A solução a testar de seguida deverá tentar uma redução do Nvc para que se consiga diminuir substancialmente as necessidades de arrefecimento que, na região do Algarve, são bastante mais consideráveis que as de aquecimento. Além disso, é importante alcançar uma classe energética superior à que foi obtida com esta solução.

Pela Figura 75 será possível determinar a percentagem de energia renovável para suprir as necessidades de energia primária:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	
Energia primária para aquecimento	19,19 kWh _{EP} /m ² .ano
	+
Energia primária para arrefecimento	10,43 kWh _{EP} /m ² .ano
	+
Energia primária para a preparação de AQS	19,83 kWh _{EP} /m ² .ano
	+
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00 kWh _{EP} /m ² .ano
	-
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	17,70 kWh _{EP} /m ² .ano
	=
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{tc}	31,74 kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 75 - Faro: Solução 1, percentagem de energias renováveis obtidas

Verificou-se que, aproximadamente, 36% das necessidades globais de energia primária são garantidas por recursos renováveis (painel solar térmico), o que permite concluir que este valor ainda é débil e deverá ser ligeiramente superior para se atingir a exigência de 50%.

5.3.2.2. Solução 2

Uma vez que o valor das necessidades nominais anuais globais para aquecimento e arrefecimento encontra-se significativamente abaixo dos requisitos energéticos limites de energia primária previstos pelo REH é, sobretudo, importante retificar o valor percentual de energia primária obtida através de fontes renováveis. Para isso, além dos sistemas já definidos na solução anterior, foi adicionado um Split ar-ar com 3,2 kWatt de potência de refrigeração e obteve-se, na Figura 76, o seguinte certificado:

Balanço energético			
Indicadores energéticos			
Sígl	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m2.ano)	7,68	15,71
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m2.ano)	12,51	18,97
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2405	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1536	0
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m2.ano)	27,57	109,16

Ntc/Nt	0,25
Classe Energética	A+

Figura 76 - Faro: Solução 2, resultados obtidos através da folha de cálculo

Neste caso, apenas se verificou um incremento no valor da energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (Eren) devido à introdução do Split. Além disso, o valor do Ntc sofreu uma redução, o que permitiu que a sua relação com o Nt passasse a 25%, um valor bastante abaixo do objetivo de 50% o que é bastante satisfatório.

De notar que a classe energética da habitação também melhorou para a classe A+.

Seguidamente, será analisada a percentagem de energia renovável para suprir as necessidades de energia primária:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento	19,19	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	6,26	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	19,83	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	17,70	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{ec}	27,57	kWh_{EP}/m².ano

Figura 77 - Faro: Solução 2, percentagem de energias renováveis obtidas

Com a implementação da Split ocorre um aumento para um valor de 39% das necessidades globais de energia primária que são garantidas por recursos renováveis (painel solar térmico e Split), deste modo, ainda que se tenha atingido uma melhoria não é suficiente para atingir os 50% desejados

5.3.2.3. Solução 3

Na terceira e última solução será introduzida uma alteração face ao sistema anterior. De notar que apenas uma das exigências nZEB não foi cumprida e, portanto, é importante a introdução de algum sistema técnico que permita um incremento da percentagem de energia primária conseguida através de fontes renováveis. Deste modo, em vez de se considerar um sistema de aquecimento por defeito, o split que apenas se destinava a arrefecimento será, também, considerado como fonte de aquecimento. Obtendo-se, assim, o balanço energético da figura 78:

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nc	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m2.ano)	7,68	15,71	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m2.ano)	12,51	18,97	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783	
Wm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2405	0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1536	0	
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00		
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{ep} /m2.ano)	12,22	81,43	

Ntc/Nt
0,15

Classe Energética
A+

Figura 78 - Faro: Solução 3, resultados obtidos através da folha de cálculo

Uma vez mais, apenas se verificou um aumento significativo na energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados e, além disso, o valor das necessidades anuais globais de energia primária (N_{tc}) passou de 25% do valor do N_t para 15% na presente solução.

Finalmente, será analisada (Figura 79) a percentagem de energia renovável para suprir as necessidades de energia primária:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Energia primária para aquecimento	3,84	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	6,26	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	19,83	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	17,70	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc}	12,22	kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 79 - Faro: Solução 3, % de energias renováveis obtidas

A combinação dos três sistemas técnicos permitiu um incremento muito grande da percentagem de energia proveniente de fontes renováveis que passou de um valor de 39% na solução 2 para um valor de 59% nesta solução. Deste modo, foi, então, garantida o 3º requisito para um nZEB uma vez que o valor de energia primária obtida através de fontes renováveis é superior a 50%.

5.3.3. Caso de estudo no Porto

5.3.3.1. Solução 1: Solução Base

Verificou-se o cumprimento do REH (Tabela 22) relativamente aos coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados.

Tabela 22 - Porto: Solução 1, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente

Elementos da envolvente	Coeficientes de transmissão térmica superficiais [W/(m ² .°C)]	
	U _{solução}	U _{referência}
Paredes exteriores	0,49	0,50
Vãos envidraçados	2,5	2,8

De notar, que para a solução inicial (Anexo A.3) são cumpridas as exigências do REH.

A nível de sistemas técnicos foi introduzido na folha de Excel um termoacumulador para AQS e um painel solar térmico que apresenta as seguintes características:

- Modelo: Papaemmanouel ASL0580.S86RS-2.00m²
- Produção total de energia: 1206 kWh/ano

- Área total de coletores: 1,9m²
- Produtividade de referência: 648 kWh/m²

Uma vez que não foi especificado nenhum sistema técnico com a função de aquecimento, segundo a Portaria 349-B, esta função será garantida por um sistema por defeito com uma eficiência nominal igual a 1.

Em seguida, na Figura 80, serão, então, analisados os resultados relativos ao balanço energético:

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² ano)	22,90	36,35	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² ano)	4,33	9,13	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783	Ntc/Nt
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		0,48
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	1206	0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1206	0	Classe Energética
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00		A
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{EP} /m ² ano)	73,19	152,55	

Figura 80 - Porto: Solução 1, resultados obtidos através da folha de cálculo

Pela análise do balanço energético, verifica-se que o valor do Nic corresponde a 63% do Ni, o Nvc a 47,4% do Nv e o Ntc a 48% do Nt. Logo, esta solução base cumpre os valores de referência do REH e permite cumprir duas das exigências nZEB relativamente ao Nic e Ntc. Ainda assim, é importante na seguinte solução reduzir o valor do Nic e Ntc tentando maximizar a sua melhoria. De notar, que é essencial alcançar uma classe energética superior à que foi obtida com esta solução.

Pela Figura 81 será possível determinar a percentagem de energia renovável para suprir as necessidades de energia primária.

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Energia primária para aquecimento	57,24	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	3,60	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	26,25	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	13,90	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{tc}	73,19	kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 81 - Porto: Solução 1, percentagem de energias renováveis obtidas

Verificou-se que, aproximadamente, 16% das necessidades globais de energia primária são garantidas por recursos renováveis, o que permite concluir que este valor deverá ser substancialmente superior.

5.3.3.2. Solução 2

Uma vez que os valores de Nic e Ntc já se encontram, praticamente, em patamares desejados é, na presente solução, importante aumentar a percentagem de energia primária proveniente de fontes renováveis. Para alcançar esse objetivo será introduzido na habitação uma bomba de calor ar-água com uma potência de 14 W com a função de garantir a AQS e aquecimento da habitação, obtendo-se o seguinte balanço energético:

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	22,39	34,88	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	4,14	9,13	Ntc/Nt
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783	0,34
Wwm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	3065	0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1516	0	Classe Energética
Eren ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00		A
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{EP} /m ² .ano)	18,38	54,57	

Figura 82 - Porto: Solução 2, resultados obtidos através da folha de cálculo

Pode concluir-se que com as alterações realizadas:

- O valor do Nvc permanece praticamente igual;
- O Nic apresenta uma relação com o Ni de 64%
- O Ntc passou a 34% do Nt, o que constituiu uma redução de 14% face à solução anterior.

Portanto, o objetivo desta segunda solução é, parcialmente, alcançado uma vez que o Ntc tem uma redução significativa, porém não foi possível obter uma classe energética superior.

Seguidamente será analisada, na Figura 83, a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis utilizada:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Energia primária para aquecimento	12,44	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	3,45	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	16,05	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	13,56	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{tc}	18,38	kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 83 - Porto: Solução 2, percentagem de energias renováveis obtidas

A instalação da bomba de calor permite um aumento de energia obtida por fontes renováveis, que passou de um valor de 16% para, aproximadamente, 42%. Constituindo, assim, um aumento muito positivo. Porém, ainda será necessário incrementar melhorias nos sistemas de energia renovável para superar os 50% exigidos em energias obtidas através de fontes renováveis.

5.3.3.3. Solução 3

Na terceira e última solução, decidiu-se uma melhoria a envolvente da habitação. Deste modo, realizou-se a seguinte alteração:

- Nas paredes exteriores o isolamento térmico de XPS será aumentado em 3cm;
- O vão envidraçado será composto por caixilharia de madeira, com vidro duplo de lamina incolores de 8mm e 4mm com um espaçamento de 16mm low ε.

O que permite obter com a Tabela 23 a seguinte solução de elementos:

Tabela 23 - Porto: Solução 3, Coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente

Elementos da envolvente	Coeficientes de transmissão térmica superficiais [W/(m ² .°C)]	
	U _{solução}	U _{referência}
Paredes exteriores	0,35	0,50
Vão envidraçados	2,0	2,8
Ponte térmica plana	0,64	

Além disso, no sentido de auxiliar a bomba de calor para realização do aquecimento, foi introduzido um recuperador de calor a “pellets” o que permitiu obter o seguinte certificado:

Balanço energético			
Indicadores energéticos			
Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nc	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	18,71	34,88
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	4,35	9,13
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wwm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	3023	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	15,25	0
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	10,54	59,15

Ntc/Nt
0,18

Classe Energética
A+

Figura 84 - Porto: Solução 3, resultados obtidos através da folha de cálculo

Pode concluir-se que com as alterações realizadas:

- O valor de Nic sofreu uma grande redução e, portanto, corresponde a 53,6% do Ni o que resultou numa redução de 10,4%;
- O valor do Nvc permanece, praticamente, igual;
- O Ntc passou a 18% do Nt, o que constituiu uma redução de 16% face à solução anterior.

Portanto, o objetivo da terceira solução foi totalmente conseguido uma vez que são cumpridos os valores regulamentados para o Nic e Ntc. Além disso, foi possível obter, finalmente, uma classe energética A+.

Seguidamente, na Figura 85, será analisada a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis utilizada:

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Energia primária para aquecimento	14,03	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	3,62	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	15,80	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0,00	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	22,91	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _{tc}	10,54	kWh _{EP} /m ² .ano

Figura 85 - Porto: Solução 3, percentagem de energias renováveis obtidas

A análise dos dados acima permite verificar que se garante uma percentagem de 68,5% e, portanto, com a implementação de algumas modificações tanto nas paredes exteriores como nos vãos envidraçados e com a adição do recuperador de calor foi possível um aumento de 28,5% garantindo, assim, o cumprimento das exigências regulamentares nZEB.

6

CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO DO DESIGN BUILDER

6.1. INTRODUÇÃO AO PROGRAMA

Para uma avaliação mais detalhada e precisa do comportamento térmico da habitação em estudo recorreu-se ao software Design Builder. Através desta, é possível modelar um determinado espaço a estudar e, portanto, será produzido um modelo tridimensional do objeto de estudo, sendo que os pisos serão tratados como blocos e são produzidos, automaticamente, os elementos da envolvente vertical e horizontal. Todos esses elementos são caracterizados por dados introduzidos pelo utilizador que irão definir as superfícies e equipamentos a utilizar, para que se possam obter simulações realistas no que diz respeito ao conforto térmico. A associação deste software com uma ferramenta de simulação denominada de energyPlus permite obter, detalhadamente, um conjunto de dados dinâmicos do comportamento térmico de uma determinada habitação e avaliar fatores como a ventilação natural, oscilações térmicas, ganhos solares, entre outros, a diferentes horas do dia, semanalmente ou anualmente, por exemplo.

Numa primeira fase é especificada uma localização da habitação (Figura 86) no programa, conforme se observa na seguinte imagem:

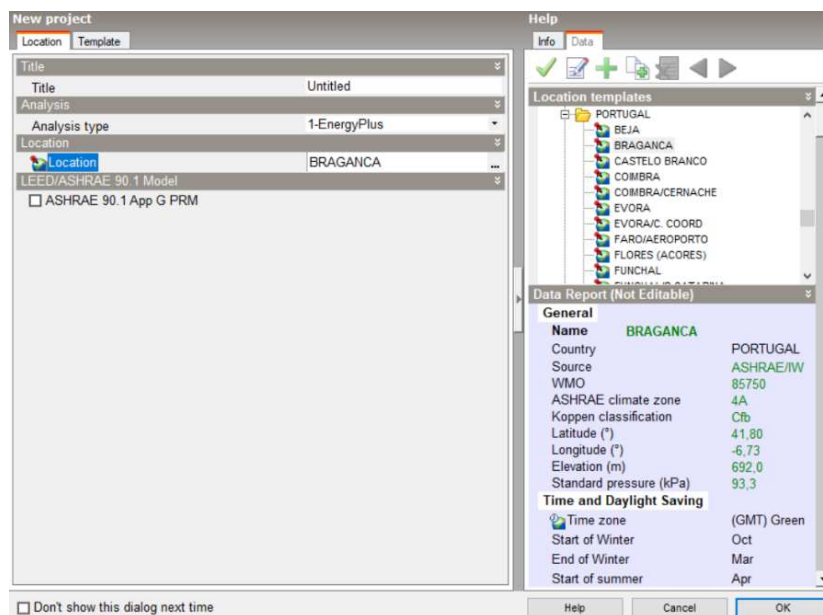


Figura 86 - Separador "Location" no DesignBuilder onde é possível definir a localização da habitação

Deste modo, dependendo da localização inserida as simulações realizadas posteriormente serão, sempre, em função das condições climáticas do local.

Posteriormente foi feita uma modelação tridimensional (Figura 87) do apartamento no programa, como se pode verificar na seguinte imagem:

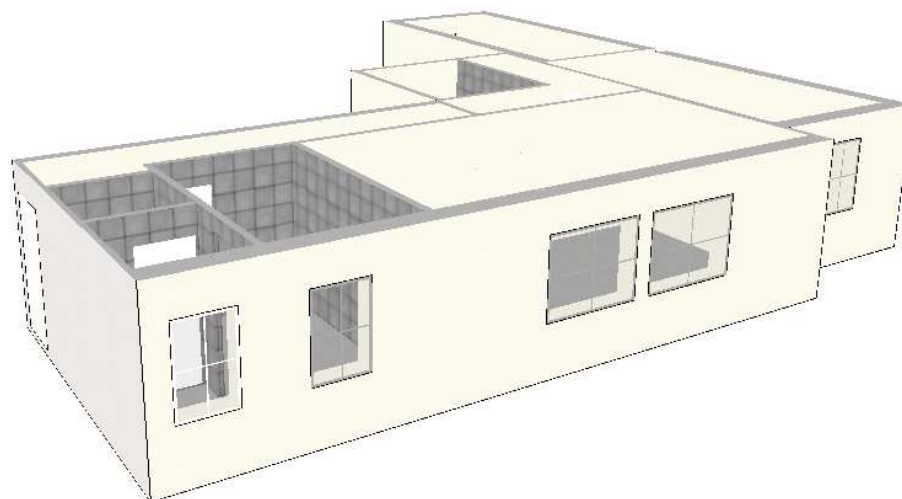


Figura 87 - Representação tridimensional da habitação no DesignBuilder

É fulcral uma correta definição da envolvente para se obter uma simulação mais rigorosa, a Figura 87 representa o tipo de fronteiras existentes na habitação em estudo:

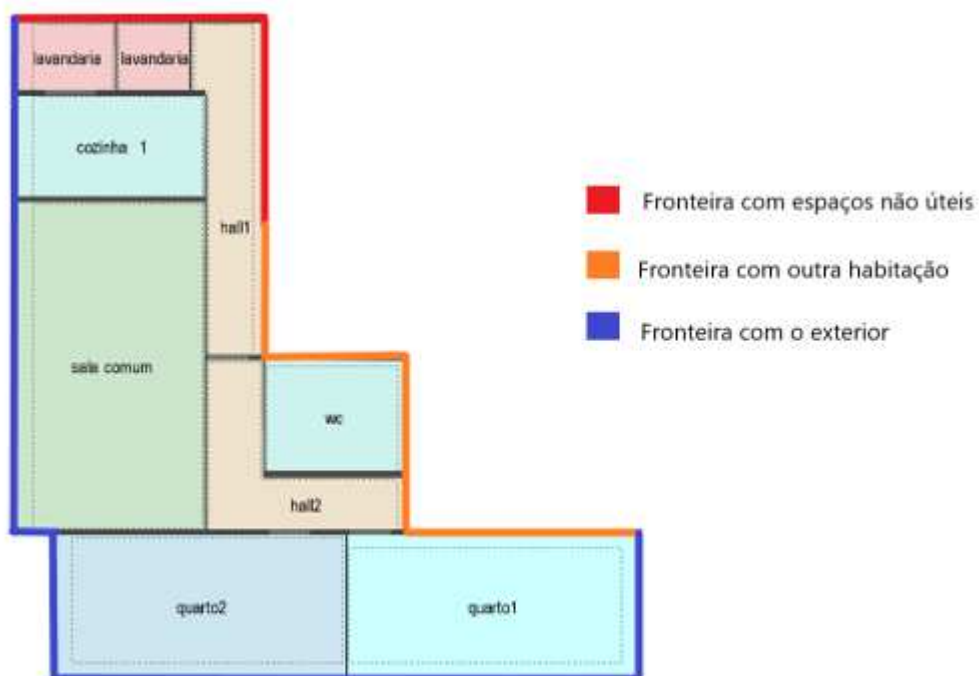


Figura 88 - Definição das fronteiras existentes na habitação

Deste modo, distingue-se três fronteiras distintas, sendo que uma delas, a com o exterior, será automaticamente definida pelo programa e é por esta que ocorrem, em grande parte, as trocas energéticas. As fronteiras com espaços não úteis e com a outra habitação terão de ser introduzidas pelo utilizador, através da criação de um compartimento onde será definida uma atividade típica de espaços não climatizados e com uma circulação muito pouco frequente. Relativamente à fronteira com a habitação vizinha toda ela será considerada uma fronteira adiabática, assim como, a fronteira com o piso inferior e superior.

Além do que já foi referido é importante anexar um conjunto de dados, tais como:

- **Atividades:**

Cada zona da habitação e mesmo do edifício terão atividades distintas e, portanto, para uma simulação mais realista é importante uma definição cuidadosa da atividade tipo de cada espaço (Figura 89), que será definida da forma representada no seguinte exemplo:

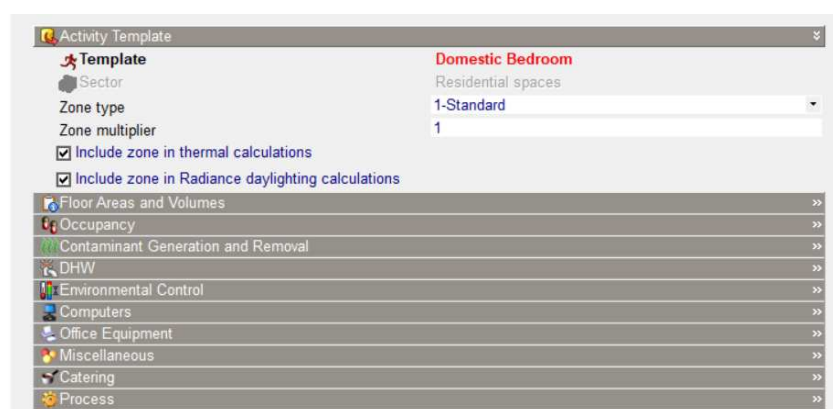


Figura 89 - Separador “activity” no DesignBuilder onde se pode escolher o ocupação, taxa de metabolismo, entre outros parâmetros

Depois de definido o tipo de atividade em cada um dos compartimentos da habitação, pode-se observar uma representação da habitação com todos os seus espaços com atividades definidas (Figura 90):

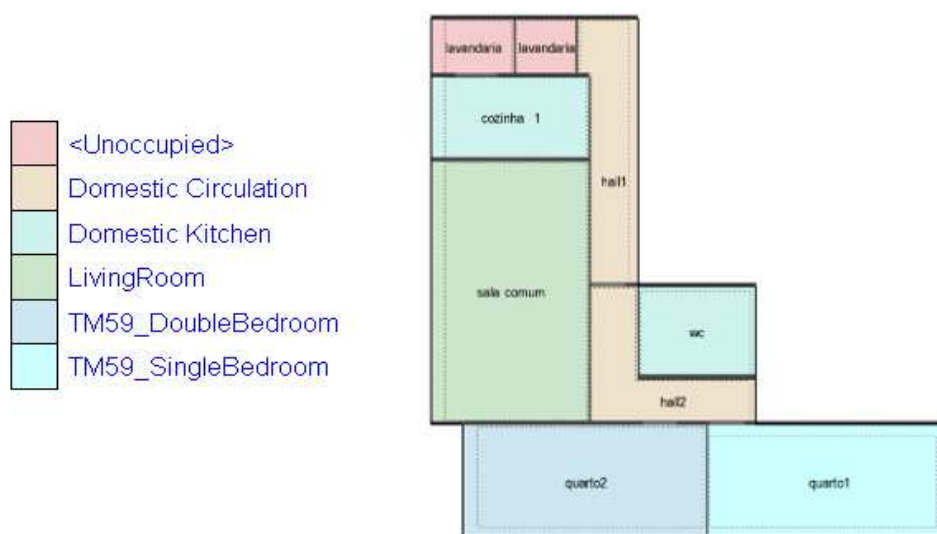


Figura 90 - Definição das atividades existentes na habitação

De notar que o programa já contém na sua base de dados um vasto conjunto de atividades “tipo” para os diversos espaços de uma habitação e sempre que seja modificada a atividade a realizar num determinado espaço serão igualmente modificados uma serie de parâmetros como por exemplo, densidade de ocupação, metabolismo, equipamentos existentes no espaço, entre outros.

Para efeitos de conforto interior definiu-se para todos os espaços interiores aquecidos, uma temperatura mínima de 18°C e máxima de 26°C

Elementos opacos:

Terão de ser cuidadosamente detalhadas todas as paredes existentes na habitação (Figura 91) e, assim sendo, terão de ser definidas as paredes interiores e exteriores e especificada a sua constituição. A seguinte imagem representa a introdução dos dados relativos à parede exterior, como os materiais a utilizar e a sua espessura:

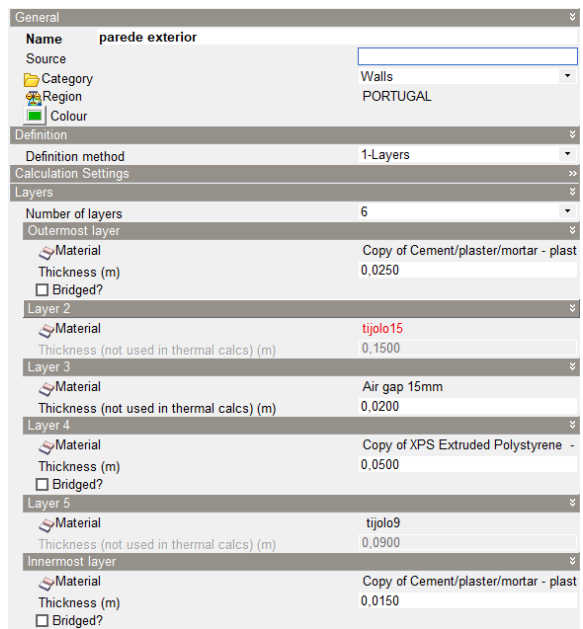


Figura 91 - Separador "Construction" no DesignBuilder que permite a definição dos elementos da envolvente opaca

Depois de introduzir os materiais que constituem a parede exterior é possível observar o resultado da sua constituição:

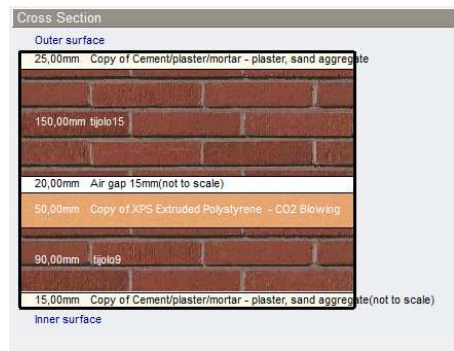


Figura 92 - Visualização realista da constituição da parede exterior

- **Vãos envidraçados:**

O programa insere um conjunto de vãos envidraçados por defeito e, portanto, é necessário definir as dimensões reais das janelas (Figura 93) e colocá-las nos, respetivos, locais corretos. Além disso é necessário, uma vez mais, representar as características adjacentes aos vãos envidraçados, o que poderá ser feito através do seguinte menu:

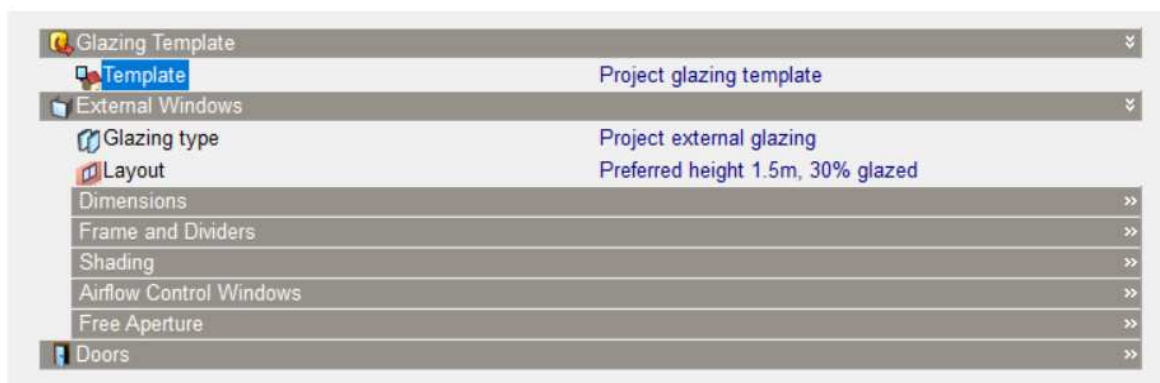


Figura 93 - Separador "Openings" no DesignBuilder que permite caracterizar a janela e o tipo de envidraçado

- **Iluminação:**

É possível definir o tipo de iluminação a utilizar na habitação assim como a sua potência:

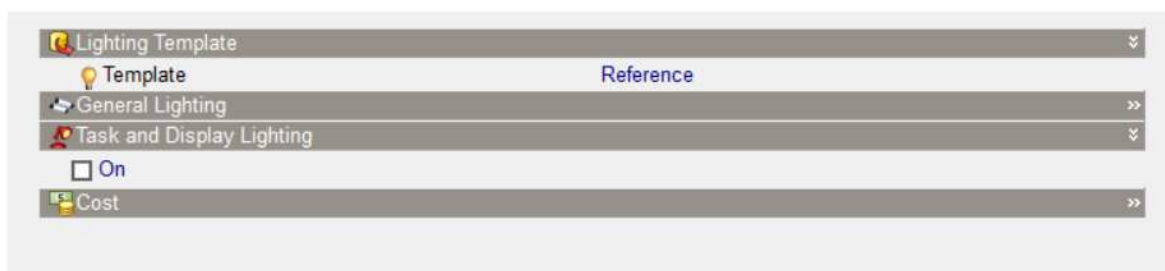


Figura 94 - Separador "Lighting" para definir o tipo de iluminação de determinada zona

Em todo o apartamento serão utilizados sistemas de iluminação com elevada eficiência, sendo que os valores dos parâmetros considerados neste separador encontram-se descritos na tabela 24:

Tabela 24 - Propriedades do tipo de iluminação utilizada

Tipo de iluminação	Montagem em superfície
Fração radiante	0,72
Potência	2 W/m ²

- **AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado:**

Neste separador (Figura 97) poderão ser introduzidos os sistemas de AVAC utilizados em cada uma das soluções de estudo, a seguinte imagem expõe uma janela com algumas das possibilidades que o Design Builder oferece ao utilizador para caracterizar estes sistemas:

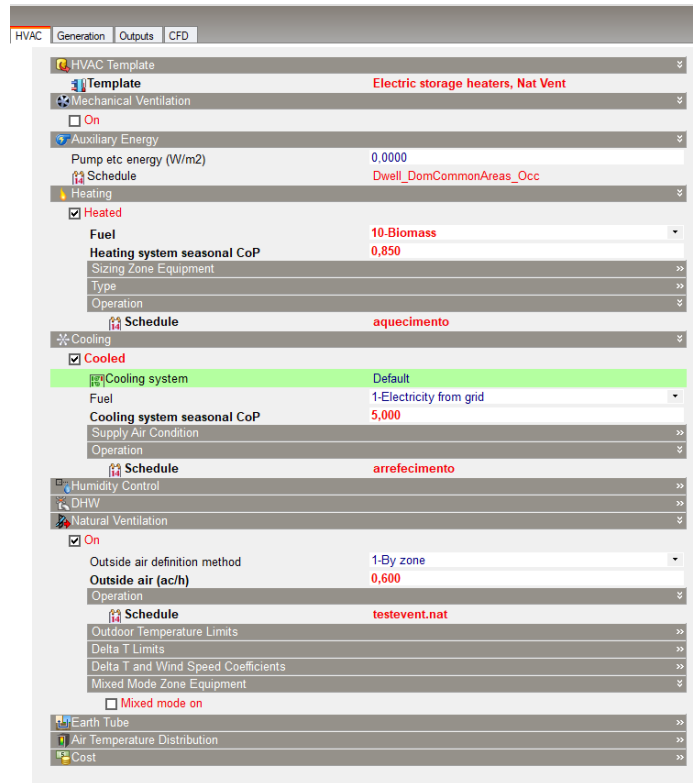


Figura 95 - Separador "HVAC" para definição de sistemas AVAC

No exemplo representado acima, é possível observar a definição de alguns sistemas como o de aquecimento e arrefecimento, assim como a ventilação natural. Quanto à ventilação natural, será alvo de alterações nas diferentes situações estudadas com o objetivo de melhorar o comportamento térmico da habitação, no entanto é dado um elevado destaque, na sua aplicação, ao favorecimento da ventilação noturna nos períodos do ano mais quentes.

Seguidamente será avaliado, em termos de conforto térmico, uma das divisões da habitação em estudo, a sala comum, uma vez que é um local onde se realizam refeições, convívio, etc e, portanto, deve ser garantido conforto térmico. Portanto, para cada uma das localidades onde a habitação será avaliada serão introduzidas, inicialmente, as características da solução base já descritas no Capítulo 5 e, posteriormente, serão feitas as modificações mencionadas ao longo do mesmo capítulo, essencialmente em termos de elementos da envolvente e, além disso, algumas modificações extra que irão potenciar melhorias no conforto do apartamento. De notar, que a habitação é totalmente desprovida de dispositivos de sombreamento fixos e não é considerada a existência de edifícios vizinhos que poderiam produzir sombreamento. Além disso, com o objetivo de avaliar o conforto térmico obtido pelo edifício de forma passiva, durante esta avaliação nunca serão ativados quaisquer sistemas ativos de aquecimento ou arrefecimento.

6.2. CARACTERÍSTICAS DE UTILIZAÇÃO DA HABITAÇÃO

É importante elucidar algumas propriedades de utilização da habitação em geral e da sala comum em particular, uma vez que sobre esta será feito um estudo relativo ao seu conforto térmico.

Deste modo, em termos de caracterização da utilização da habitação e dos seus sistemas pode-se observar o seguinte:

- Período de ocupação da sala comum:

Definiu-se, para a sala comum, um horário genérico para que se pudesse avaliar o conforto nos períodos de ocupação da divisão em apreço.

Tabela 25 - Horário de ocupação da sala comum

Ocupação			
0,0139 pessoas/m ²			
% Ocupação			
Horários	Semana corrente	Sábados	Domingos
00:00 h - 8:30 h	0	0	0
8:30 h - 9:30 h	100	0	0
9:30 h - 10:00 h	0	0	0
10:00 h - 11:00 h	0	100	100
11:00 h - 14:00 h	0	0	0
14:00 h - 18:00 h	0	0	100
18:00 h - 20:00 h	100	0	100
20:00 h - 23:00 h	100	100	100
23:00 h - 24:00 h	0	100	0

- Horário de funcionamento dos estores da sala comum:

Através do horário apresentado na tabela 26 é possível, no inverno, maximizar os ganhos solares por via dos envidraçados uma vez que os estores se encontram abertos durante o dia e reduzir as perdas de calor pois estes encontram-se fechados durante os períodos onde não serão alvo de exposição solar. Por oposição, no Verão, para evitar o sobreaquecimento da habitação, estes encontram-se encerrados nos períodos de maior exposição solar (considerando que a habitação se encontra vazia, portanto não existirão gastos energéticos em iluminação) e abertos durante os demais momentos para permitir maiores perdas de calor.

Tabela 26 - Horário de funcionamento dos estores

Horário	Inverno	Verão
00:00 h - 9:00 h	Fechado	Aberto
9:00 h - 18:00 h	Aberto	Fechado
18:00 h - 24:00 h	Fechado	Aberto

6.3. ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.3.1. Caso de estudo em Bragança

6.3.1.1. Solução 1: Solução Base

Seguidamente será avaliada a sala comum (orientada a norte e com uma razão entre área de envidraçado e área de pavimento igual a 16%), em termos de conforto, para diferentes alturas do ano. Numa primeira fase foi analisada a solução base (Anexo A.1), de notar que foi promovida, para a época de arrefecimento, ventilação natural noturna, entre as 20h e as 8h da manhã, num valor de 0,62 renovações horárias de ar.

Bragança representa uma situação desafiadora em termos térmicos, uma vez que são existentes climas extremos, com temperaturas muito elevadas no verão e muito baixas no inverno.

Em seguida, para uma semana típica de verão (20 a 26 de julho) verifica-se a obtenção de diversos parâmetros médios diários (Figura 96) e a evolução da temperatura ao longo da semana (Figura 97):

Day	20 Sat	21 Sun	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri
Air Temperature (°C)	27,38	27,56	28,44	29,22	29,58	29,58	28,43
Radiant Temperature (°C)	27,79	27,87	28,58	29,37	29,83	30,03	29,09
Operative Temperature (°C)	27,58	27,72	28,51	29,30	29,70	29,81	28,76
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	21,91	23,47	26,82	27,46	26,29	23,80	19,50
Relative Humidity (%)	40,52	38,14	30,77	35,74	29,80	35,01	33,45
Fanger PPD (%)	19,62	20,53	27,60	39,77	43,43	47,11	30,76
Fanger PMV ()	0,80	0,82	1,00	1,28	1,35	1,43	1,10

Figura 96 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o verão ("*SummerDesignWeek*"), parâmetros obtidos na simulação

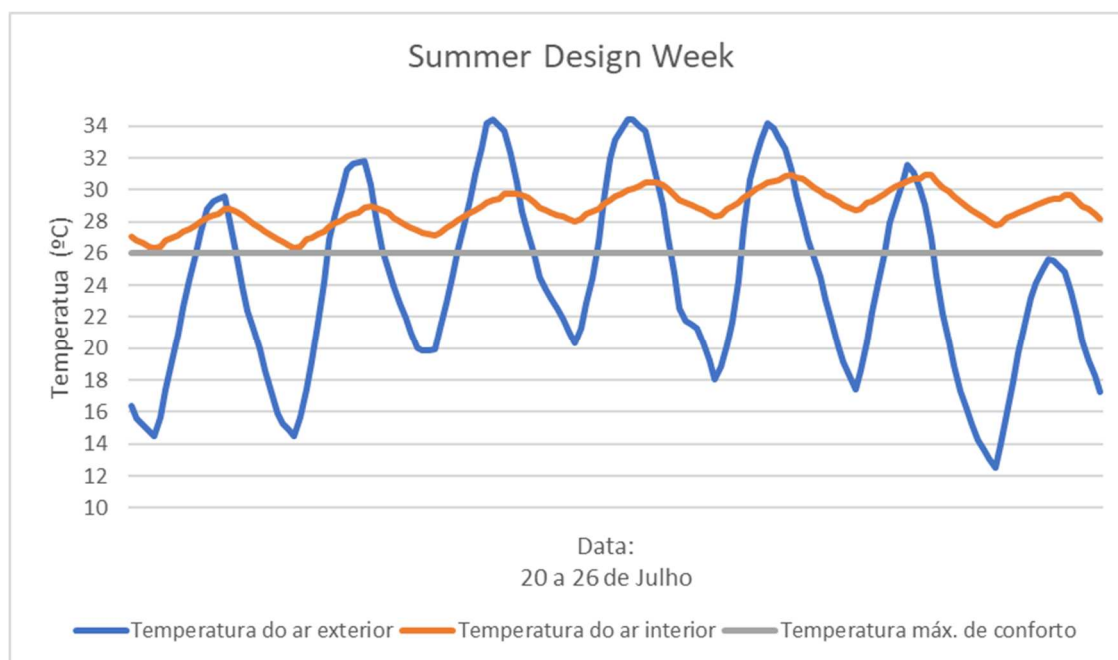


Figura 97 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

A primeira imagem permite obter uma ideia mais generalizada do comportamento da sala comum ao longo da semana através do fornecimento de alguns indicadores que permitem avaliar o conforto

enquanto a segunda elucida em termos horários a evolução da temperatura exterior e interior na semana em estudo. Pode-se concluir que para a solução base é constante temperaturas superiores à temperatura limite de conforto, 26°C.

Para uma semana típica de inverno, de 20 a 26 de janeiro pode observar-se nas Figuras 98 e 99 o comportamento térmico da sala comum:

Day	20 Sun	21 Mon	22 Tue	23 Wed	24 Thu	25 Fri	26 Sat
Air Temperature (°C)	7,61	7,60	7,68	8,23	8,02	8,19	7,73
Radiant Temperature (°C)	7,73	7,65	7,73	8,20	8,09	8,25	7,87
Operative Temperature (°C)	7,67	7,62	7,71	8,21	8,05	8,22	7,80
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	0,93	2,61	2,70	5,10	2,52	3,56	0,82
Relative Humidity (%)	45,81	51,93	60,60	69,65	63,47	66,58	62,19
Fanger PPD (%)	98,15	98,06	97,80	96,46	97,01	96,58	97,66
Fanger PMV ()	-2,85	-2,85	-2,81	-2,69	-2,74	-2,69	-2,79

Figura 98 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

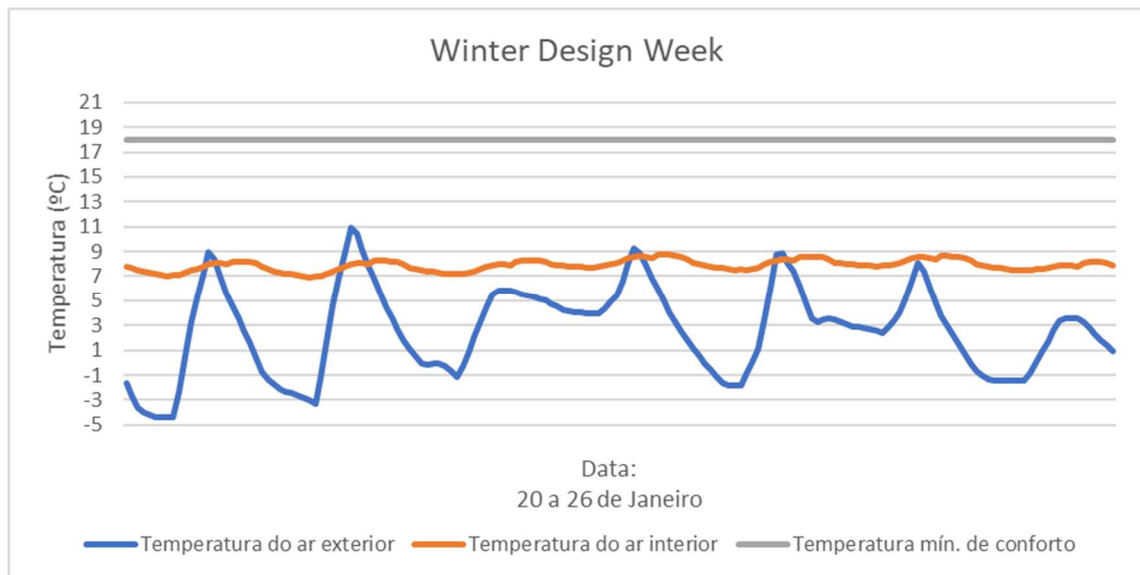


Figura 99 - Bragança: Solução 1, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior

Para a solução 1, o inverno é, indubitavelmente, a situação mais gravosa, uma vez que as temperaturas no interior da habitação rondam, em média, os 7°C e os 9°C e, portanto, encontram-se extremamente longe da temperatura de mínima de conforto (18°C), logo é fulcral incrementar o valor destas temperaturas nas soluções a testar seguidamente.

Finalmente, a Figura 100 apresenta uma distribuição da temperatura, isto é, a contabilização do número de horas em que a temperatura se encontra acima, abaixo ou mesmo a um determinado valor, ao longo do ano, no interior da sala comum para os períodos em que esta se encontra ocupada:

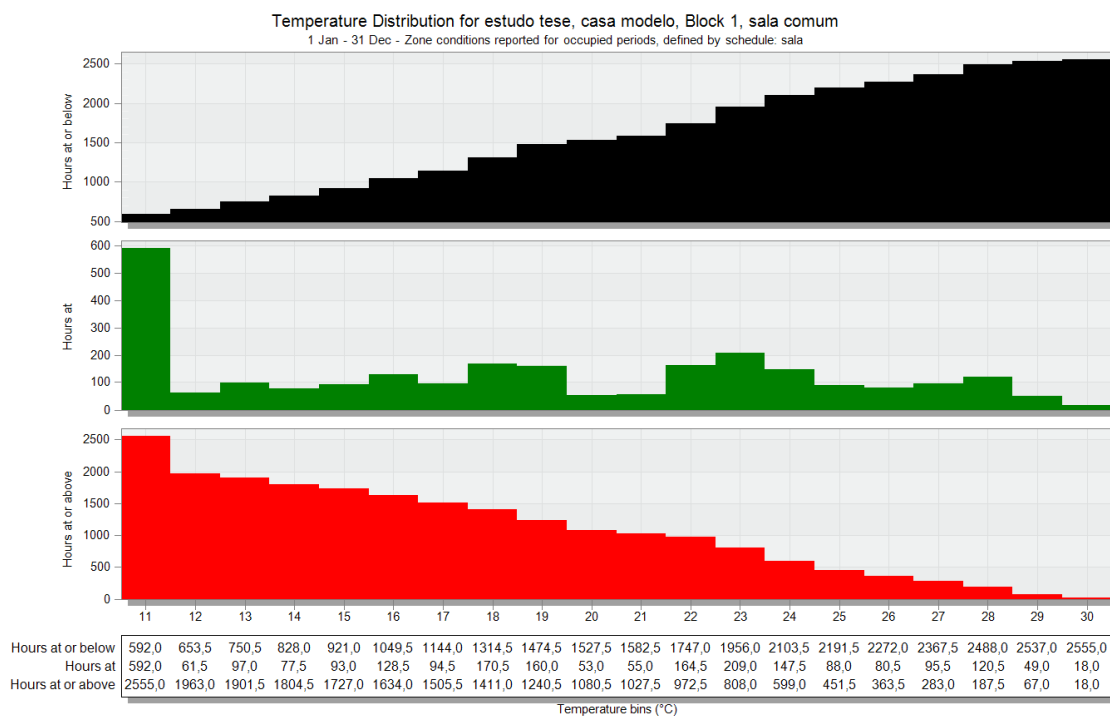


Figura 100 - Bragança: Solução 1, Distribuição anual da temperatura interior

Pela análise da imagem é clara uma distribuição muito alargada de temperaturas o que prejudica acentuadamente o conforto térmico da habitação. Calculou-se ainda o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =5938;

Graus Horas de desconforto (Verão) =555,5.

6.3.1.2. Solução 2

Para melhorar o desempenho térmico da habitação decidiu-se modificar a orientação da fachada principal (com maior área de envidraçados) de norte para sul e, além disso, foram modificados alguns elementos da envolvente da habitação, tal como foi apresentado no capítulo anterior para esta mesma solução.

Desta modificação, observa-se, nas Figuras 101 e 102, os seguintes resultados para a semana típica de verão:

Day	20 Sat	21 Sun	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri
Air Temperature (°C)	30,16	30,48	31,47	32,32	32,73	32,77	31,78
Radiant Temperature (°C)	30,74	30,99	31,82	32,69	33,19	33,40	32,60
Operative Temperature (°C)	30,45	30,73	31,64	32,50	32,96	33,08	32,19
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	21,91	23,47	26,82	27,46	26,29	23,80	19,50
Relative Humidity (%)	34,55	32,39	26,10	30,08	25,07	29,44	27,85
Fanger PPD (%)	56,82	60,02	69,68	82,60	84,52	88,40	78,71
Fanger PMV ()	1,61	1,68	1,89	2,20	2,28	2,37	2,08

Figura 101 - Bragança: Solução 2, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

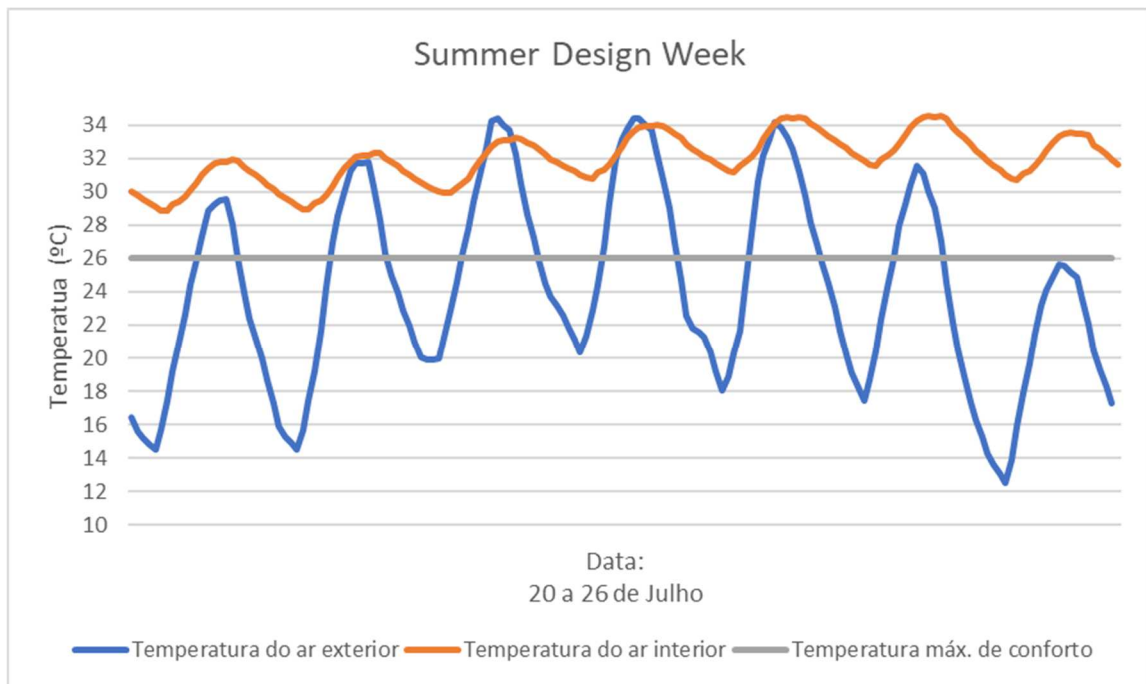


Figura 102 - Bragança: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Nos resultados obtidos para esta semana, face à solução anterior, verificou-se um ligeiro agravamento com uma subida das temperaturas interiores para valores muito indesejados. Focando-se alguma atenção no valor do PMV verifica-se que este se encontra extremamente elevado, traduzindo-se num elevado grau de desconforto. Para uma semana típica de inverno, as Figuras 103 e 104 apresentam os resultados obtidos:

Day	20 Sun	21 Mon	22 Tue	23 Wed	24 Thu	25 Fri	26 Sat
Air Temperature (°C)	17,79	19,39	18,36	17,95	17,60	17,69	16,11
Radiant Temperature (°C)	18,22	19,81	18,81	18,28	18,01	18,07	16,57
Operative Temperature (°C)	18,00	19,60	18,59	18,12	17,81	17,88	16,34
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	0,93	2,61	2,70	5,10	2,52	3,56	0,82
Relative Humidity (%)	25,32	26,12	32,39	38,78	35,73	37,67	37,67
Fanger PPD (%)	23,43	13,47	15,16	18,08	20,72	19,65	31,97
Fanger PMV ()	-0,85	-0,52	-0,69	-0,76	-0,84	-0,81	-1,13

Figura 103 - Bragança: Solução 2, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

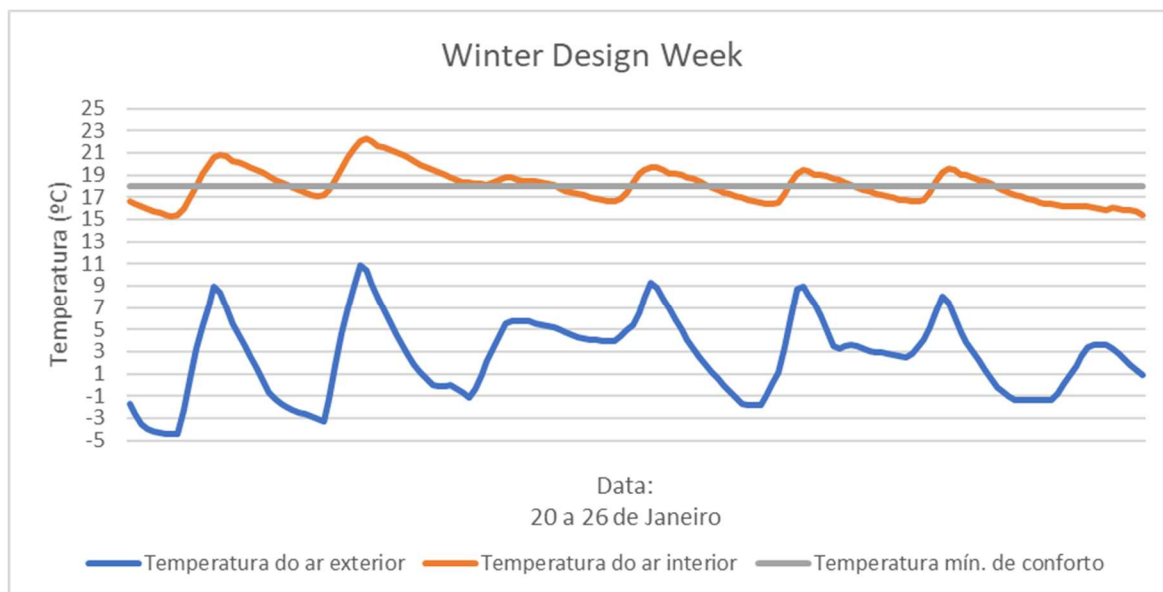


Figura 104 - Bragança: Solução 2, semana de projeto de inverno, avaliação da temperatura interior

Relativamente ao inverno, os resultados foram mais positivos face à solução anterior e durante a semana em estudo a temperatura interior da sala comum é maioritariamente superior a 18°C. Analisando-se o valor do PMV é notório um bom nível de conforto para este período.

Finalmente, a Figura 105 apresenta uma distribuição da temperatura, ao longo do ano, no inteiro da sala comum para os períodos em que esta se encontra ocupada:

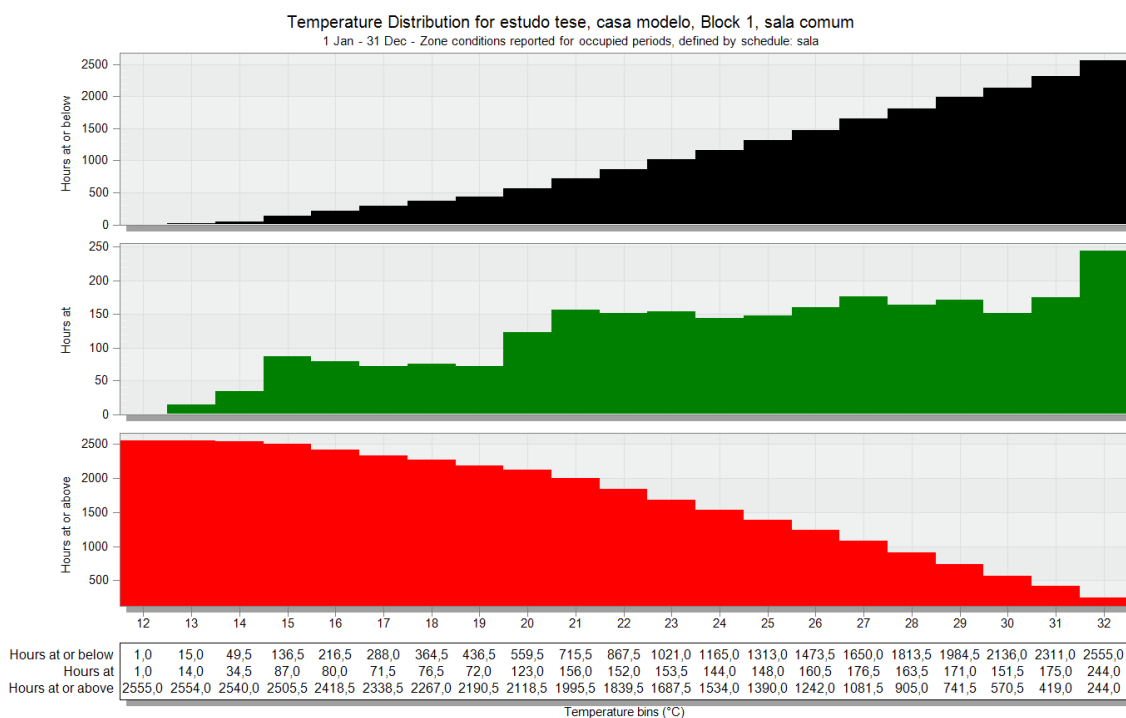


Figura 105 - Bragança: Solução 2, Distribuição anual da temperatura interior

Pela análise da imagem observa-se uma ligeira melhoria da temperatura interior, essencialmente porque o número de horas de desconforto devido ao frio sofreu um decréscimo.

Calculou-se ainda o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =706,5;

Graus Horas de desconforto (Verão) =3961,5.

Face à solução anterior, foi possível uma diminuição acentuada relativamente ao período de inverno, porém, na mesma proporção, acentuou-se um aumento no período do verão, o que culmina em temperaturas interiores inaceitáveis. Deste modo, os resultados, ainda não são, de todo, satisfatórios. De uma forma geral o número de Graus Horas de desconforto totais sofreu uma grande diminuição.

6.3.1.3. Solução 3

Além das alterações realizadas anteriormente, na presente situação foi modificada o valor da ventilação natural para 4 renovações horarias de ar (exclusivamente durante o verão), ainda que este represente um valor relativamente otimista. De sublinhar que será mantida a promoção da ventilação noturna. Além disso, na fachada a Sul foi colocada uma pala horizontal com 80 cm de comprimento (Figura 106) que permitirá melhorar o desempenho térmico no verão:

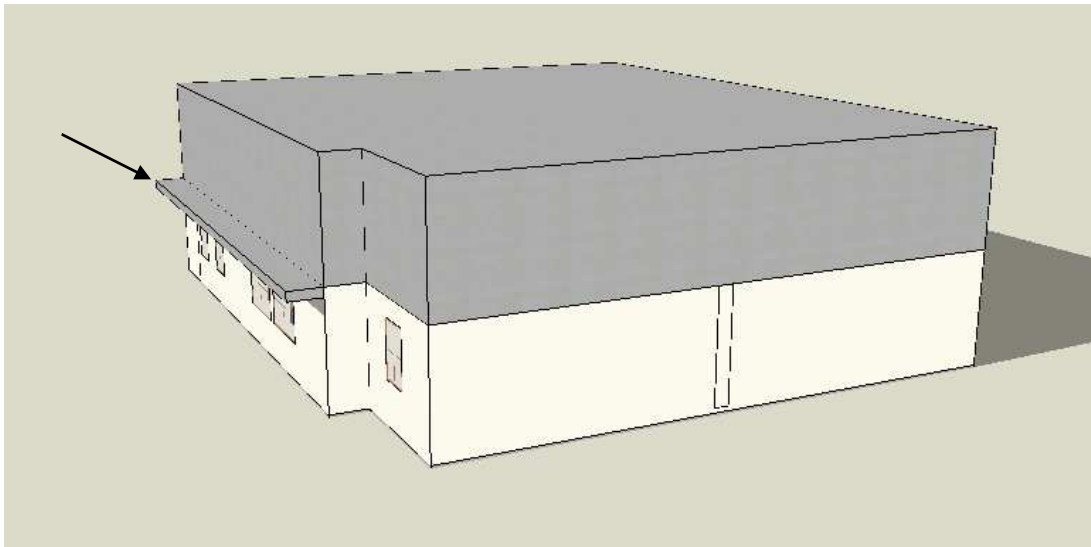


Figura 106 - Introdução, no modelo, de uma pala horizontal com 80 cm de largura

Desta modificação, observa-se os seguintes resultados para a semana típica de verão através das Figuras 107 e 108:

Day	20 Sat	21 Sun	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri
Air Temperature (°C)	23,82	24,15	25,21	26,10	26,16	25,70	24,00
Radiant Temperature (°C)	24,39	24,57	25,43	26,36	26,60	26,57	25,08
Operative Temperature (°C)	24,11	24,36	25,32	26,23	26,38	26,14	24,54
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	21,91	23,47	26,82	27,46	26,29	23,80	19,50
Relative Humidity (%)	49,14	45,51	36,12	42,84	36,15	43,39	42,12
Fanger PPD (%)	7,56	7,45	7,66	9,92	10,82	9,49	6,54
Fanger PMV ()	-0,19	-0,13	0,09	0,41	0,40	0,38	-0,11

Figura 107 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

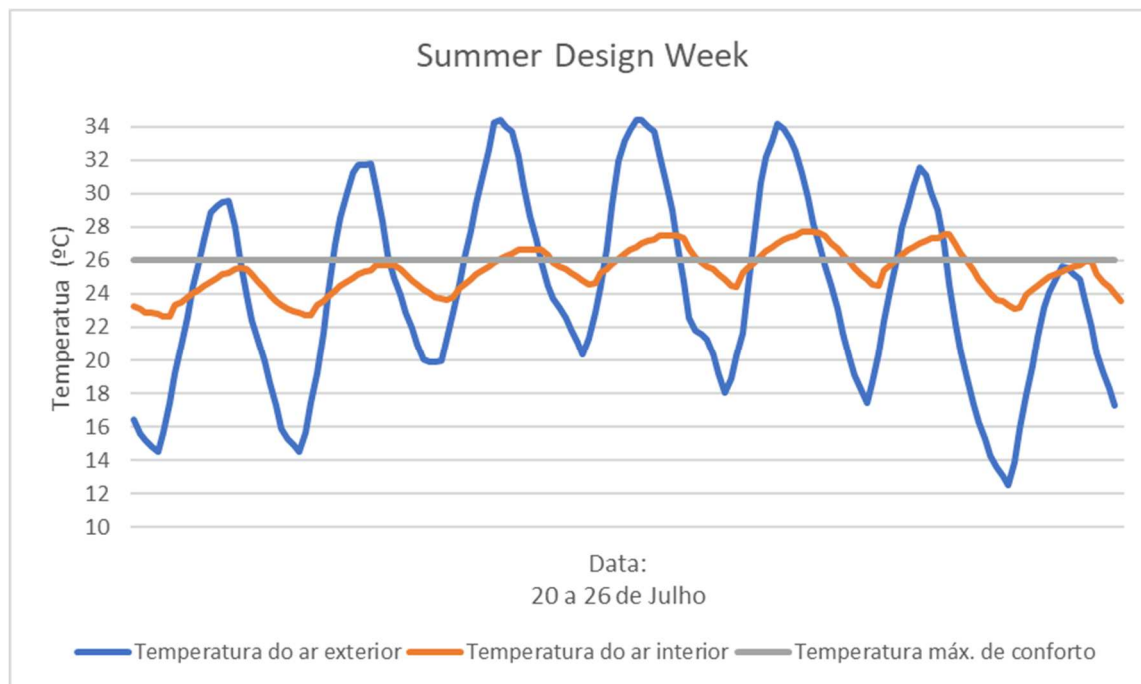


Figura 108 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Com as últimas modificações realizadas foi possível diminuir as temperaturas no interior da sala comum, tal como era desejado. Ainda assim, são visíveis alguns períodos onde a temperatura interior excede a temperatura máxima de conforto. Deste modo seria interessante testar algumas diferentes soluções de sistemas de sombreamento.

Relativamente aos resultados para a semana de inverno, obteve-se a Figura 109 e 110:

Day	20 Sun	21 Mon	22 Tue	23 Wed	24 Thu	25 Fri	26 Sat
Air Temperature (°C)	16,61	18,00	17,03	16,63	16,26	16,32	14,88
Radiant Temperature (°C)	17,01	18,38	17,43	16,92	16,63	16,66	15,29
Operative Temperature (°C)	16,81	18,19	17,23	16,77	16,44	16,49	15,08
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	0,93	2,61	2,70	5,10	2,52	3,56	0,82
Relative Humidity (%)	26,96	28,13	34,78	41,77	38,49	40,71	40,41
Fanger PPD (%)	31,91	20,42	24,49	27,75	31,41	30,42	44,27
Fanger PMV ()	-1,08	-0,79	-0,96	-1,03	-1,11	-1,09	-1,37

Figura 109 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

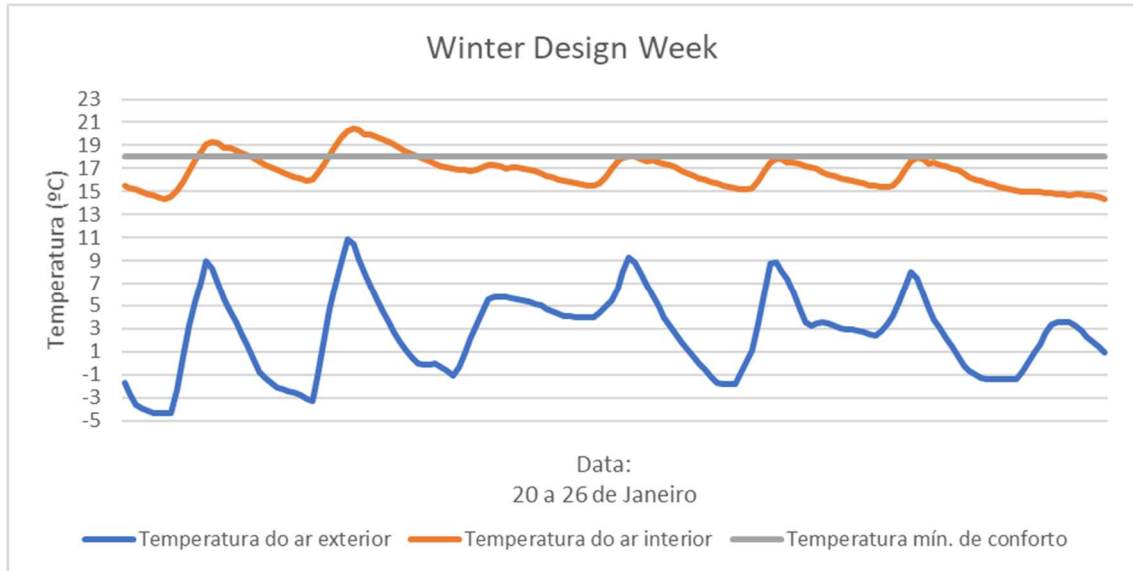


Figura 110 - Bragança: Solução 3, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior

As modificações realizadas nesta última solução produziram uma ligeira redução da temperatura interior da sala comum e, portanto, os valores para a temperatura interior não são os mais satisfatórios, porém é importante sublinhar a dificuldade de atingir valores adequados uma vez que a temperatura exterior é muito baixa.

Por fim, a Figura 111 apresenta uma distribuição da temperatura, ao longo do ano, no inteiro da sala comum para os períodos em que esta se encontra ocupada:

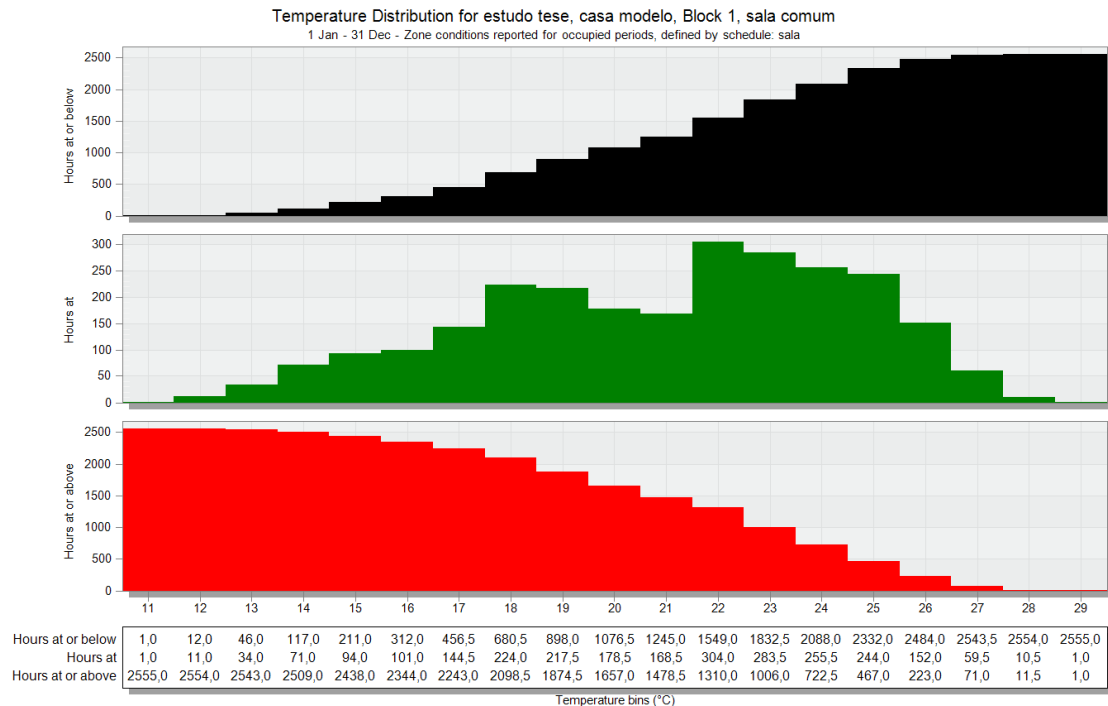


Figura 111 - Bragança: Solução 3, Distribuição anual da temperatura interior

Pela análise da imagem observa-se uma ligeira melhoria da temperatura interior, uma vez que a temperatura máxima registada passou para 29°C. Ainda assim, é visível um número de horas significativo com temperaturas bastante baixas.

Calculou-se ainda o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =1155,5;

Graus Horas de desconforto (Verão) =83,5.

Bragança representa um grande desafio devido à grande variação climática existente entre o verão e inverno. Pode-se concluir que o principal problema consiste em vencer o elevado número de graus-horas de desconforto existentes durante o inverno, porém é, também, perceptível a dificuldade em garantir condições de conforto interior sem qualquer sistema de aquecimento ativo quando no exterior são notadas temperaturas negativas. Relativamente ao verão, acredita-se que são garantidas as condições de conforto desejadas considerando as elevadas temperaturas existentes no local.

6.3.2. Caso de estudo em Faro

6.3.2.1. Solução 1: Solução Base

Seguidamente será avaliada a sala comum, em termos de conforto, para diferentes alturas do ano. Numa primeira fase foi analisada a solução base (Anexo A.2), de notar que foi promovida, durante o verão, ventilação natural noturna num valor de 0,51 renovações horárias de ar com um funcionamento entre as 20h e as 8h da manhã (Este horário da ventilação natural será mantida nas restantes soluções).

Em seguida, para uma semana típica de verão (22 a 28 de julho) verificam-se, nas Figuras 112 e 113 os seguintes resultados:

Day	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri	27 Sat	28 Sun
Air Temperature (°C)	28,43	29,36	29,88	30,22	30,01	30,02	30,35
Radiant Temperature (°C)	28,66	29,46	30,01	30,44	30,40	30,33	30,59
Operative Temperature (°C)	28,55	29,41	29,95	30,33	30,20	30,18	30,47
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	24,78	27,34	28,04	27,21	24,36	25,24	26,95
Relative Humidity (%)	41,29	39,61	36,89	28,12	39,82	46,69	45,38
Fanger PPD (%)	31,45	43,26	50,33	52,17	55,80	58,61	62,74
Fanger PMV ()	1,10	1,35	1,49	1,52	1,59	1,65	1,72

Figura 112 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o verão ("*SummerDesignWeek*"), parâmetros obtidos na simulação

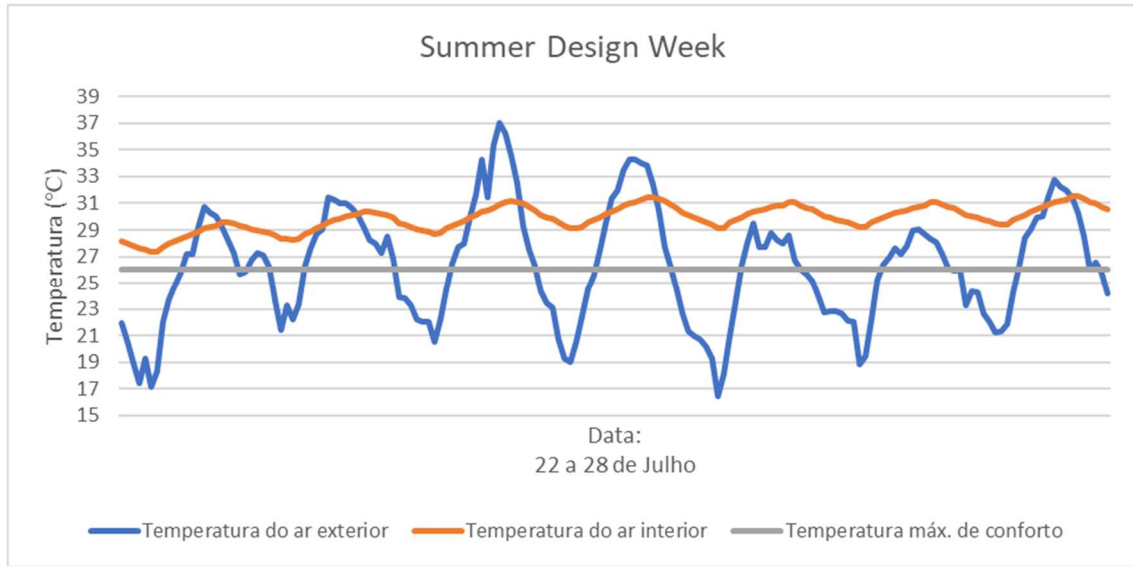


Figura 113 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Para a primeira solução as temperaturas interiores, durante o verão, são superiores à temperatura máxima de conforto, o que representa um fator negativo a sublinhar. E para uma semana típica de inverno, de 8 a 14 de janeiro pode analisar-se o comportamento da sala comum através das Figuras 114 e 115:

Day	8 Tue	9 Wed	10 Thu	11 Fri	12 Sat	13 Sun	14 Mon
Air Temperature (°C)	17,65	17,62	16,80	16,05	16,00	16,19	16,15
Radiant Temperature (°C)	17,68	17,76	17,08	16,29	16,07	16,26	16,22
Operative Temperature (°C)	17,66	17,69	16,94	16,17	16,04	16,23	16,18
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	13,69	12,15	8,35	7,94	11,04	11,52	11,29
Relative Humidity (%)	66,39	58,98	30,41	32,92	46,31	53,63	56,17
Fanger PPD (%)	16,40	17,00	27,61	34,45	33,45	30,05	30,05
Fanger PMV ()	-0,73	-0,75	-1,03	-1,18	-1,16	-1,09	-1,09

Figura 114 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

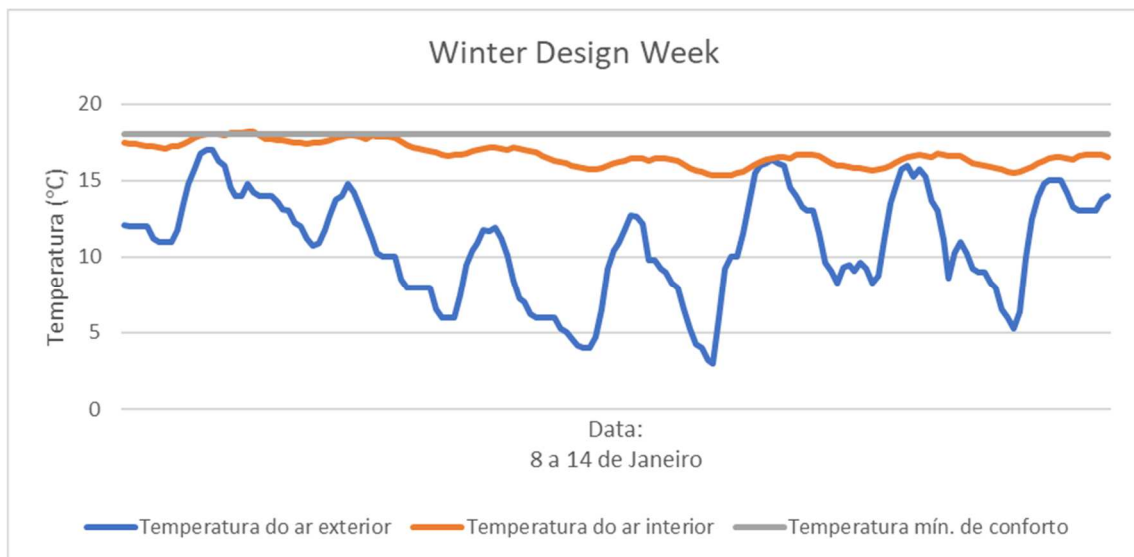


Figura 115 - Faro: Solução 1, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior

Dado o típico inverno ameno da localidade do Algarve, sul de Portugal, as temperaturas registadas no interior da sala comum já se encontram relativamente próximas da temperatura mínima de conforto, ainda que só em escassos momentos os 18°C são atingidos.

Em seguida, a Figura 116 apresenta uma distribuição da temperatura, ao longo do ano, no interior da sala comum para os períodos em que esta se encontra ocupada:

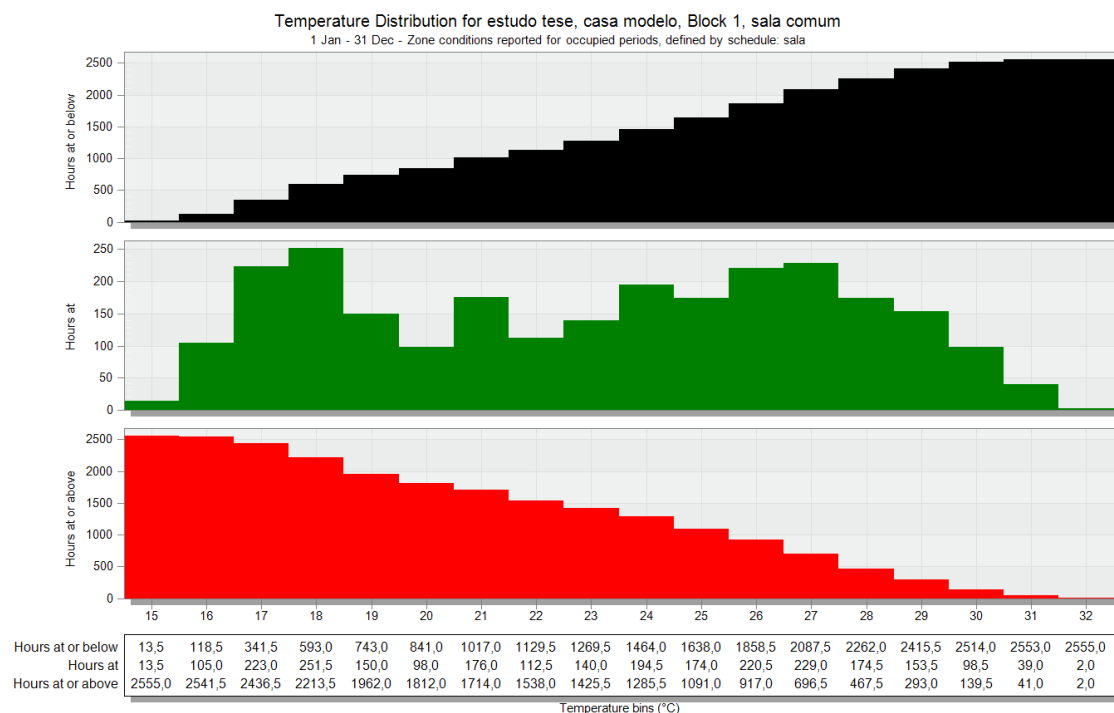


Figura 116 - Faro: Solução 1, Distribuição anual da temperatura interior

Pela análise da imagem observa-se que para uma primeira solução, a habitação já consegue apresentar um desempenho razoável e que, apenas, no verão se registam algumas horas de temperaturas excessivas.

Calculou-se ainda o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =473,5;

Graus Horas de desconforto (Verão) =1639,5.

É essencial nas seguintes soluções melhorar o desempenho durante o verão, uma vez que o valor de Graus Horas de desconforto para este período é bastante elevado, o que seria expectável, à partida, tendo em consideração a localização geográfica da habitação.

6.3.2.2. Solução 2

Na presente solução foi modificada a orientação da fachada principal para sul e nessa mesma fachada foi introduzida uma pala horizontal com 1 metro de comprimento.

Obteve-se, portanto, os seguintes resultados na semana de verão em estudo (Figura 117 e 118):

Day	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri	27 Sat	28 Sun
Air Temperature (°C)	28,06	28,99	29,53	29,88	29,68	29,70	30,03
Radiant Temperature (°C)	28,26	29,05	29,63	30,08	30,04	29,99	30,24
Operative Temperature (°C)	28,16	29,02	29,58	29,98	29,86	29,84	30,13
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	24,78	27,34	28,04	27,21	24,36	25,24	26,95
Relative Humidity (%)	42,17	40,38	37,49	28,62	40,53	47,43	46,08
Fanger PPD (%)	26,73	37,73	44,91	46,94	50,67	53,67	57,70
Fanger PMV (I)	0,99	1,24	1,38	1,42	1,49	1,55	1,63

Figura 117 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

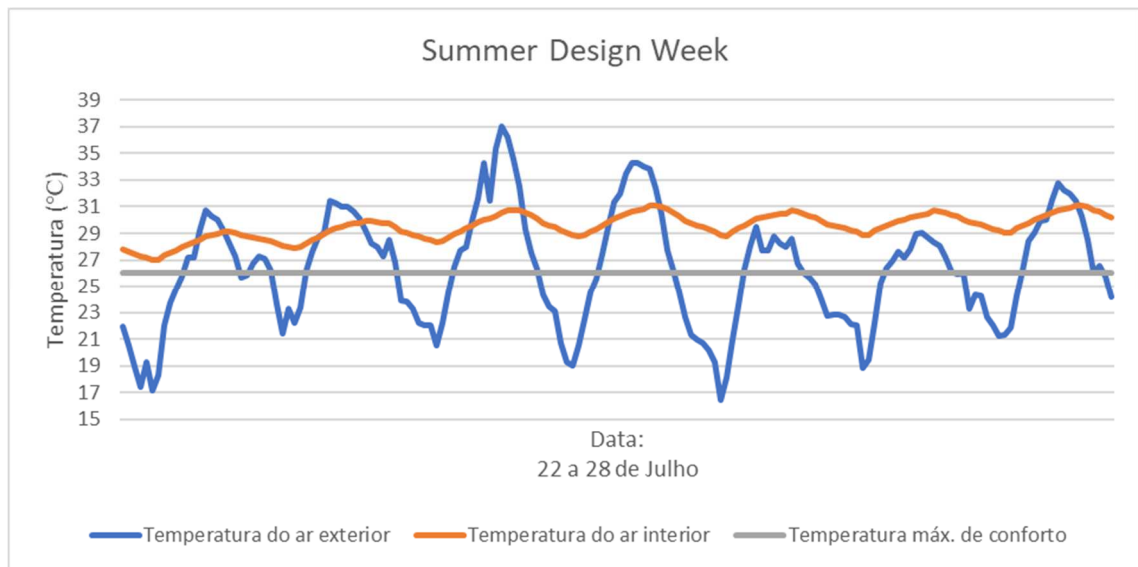


Figura 118 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Com estas alterações não se verificou alterações notórias nas temperaturas interiores que se fazem sentir, deste modo é importante realçar que estes valores de temperaturas interiores para este período são elevadas e proporcionaram momentos de desconforto, além disso, o próprio parâmetro PMV, elucida alguma ineficácia em termos de conforto. E, assim, este é um tópico fundamental a melhorar numa solução a testar seguidamente.

Quanto à semana de inverno, as Figuras 119 e 120 apresentam o comportamento da divisão em estudo:

Day	8 Tue	9 Wed	10 Thu	11 Fri	12 Sat	13 Sun	14 Mon
Air Temperature (°C)	24,80	24,97	24,64	24,30	24,09	24,41	23,54
Radiant Temperature (°C)	25,11	25,35	25,14	24,79	24,47	24,78	23,93
Operative Temperature (°C)	24,95	25,16	24,89	24,55	24,28	24,60	23,74
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	13,69	12,15	8,35	7,94	11,04	11,52	11,29
Relative Humidity (%)	44,18	38,77	19,94	21,34	29,63	33,89	36,94
Fanger PPD (%)	16,81	16,86	12,05	10,94	10,81	13,31	8,81
Fanger PMV (I)	0,73	0,74	0,55	0,49	0,49	0,58	0,42

Figura 119 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

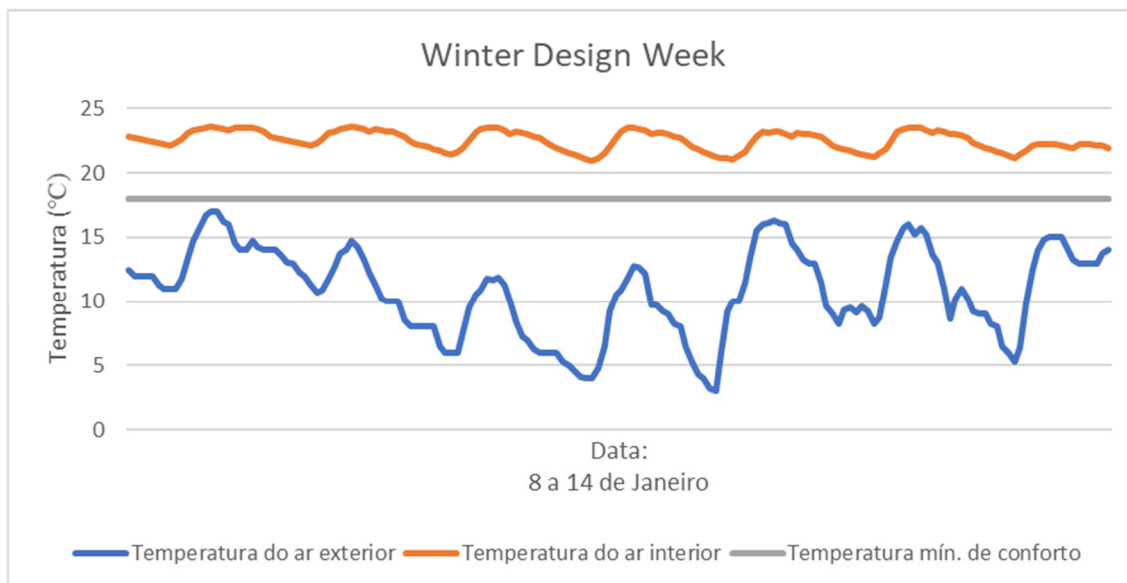


Figura 120 - Faro: Solução 2, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior

Durante o inverno, tal como já seria esperado devido ao clima ameno do Algarve na estação de aquecimento, as temperaturas interiores são bastante superiores à temperatura mínima o que constitui um ótimo resultado.

A próxima imagem (Figura 121) apresenta uma distribuição da temperatura, ao longo do ano, no interior da sala comum para os períodos em que esta se encontra ocupada:

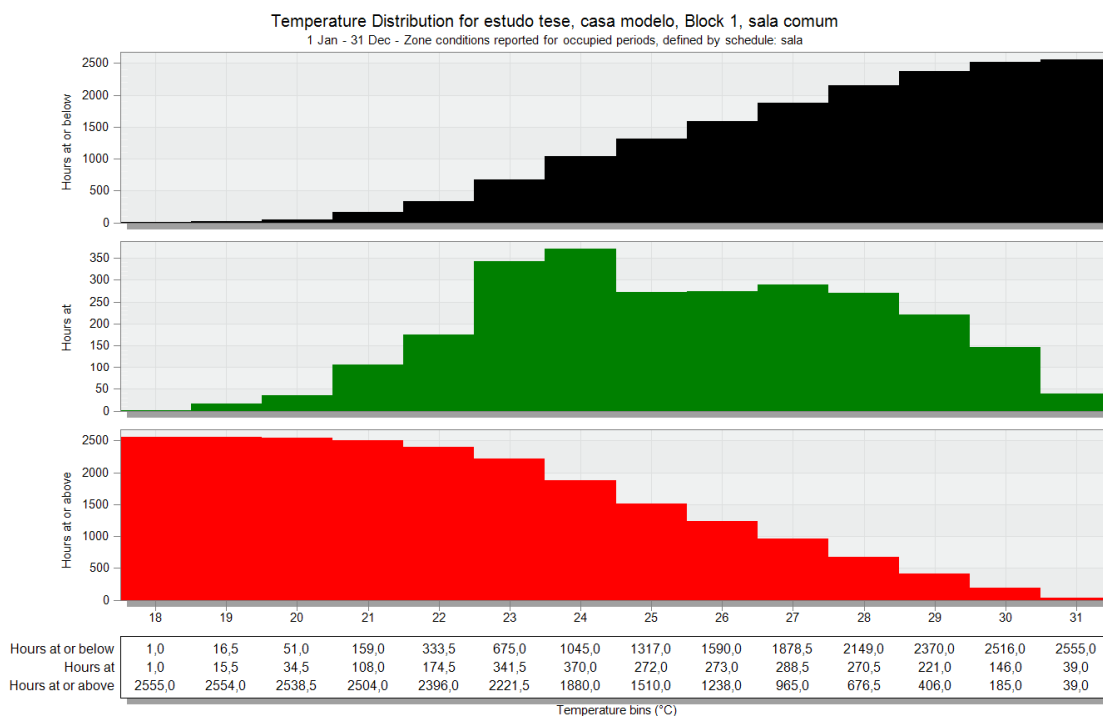


Figura 121 - Faro: Solução 2, Distribuição anual da temperatura interior

Analisando-se a imagem é de salientar a inexistência, no inverno, de temperaturas inferiores à temperatura mínima de conforto o que representa um resultado extremamente satisfatório. Calculou-se

ainda o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =0;

Graus Horas de desconforto (Verão) =2271,5.

Desta feita, o objetivo fulcral e principal desafio deste caso de estudo em Faro será, mais uma vez, procurar uma diminuição do elevado número de horas existentes com temperaturas superiores à temperatura de conforto. Deste modo na terceira solução serão estudadas algumas formas de reduzir as temperaturas interiores existentes.

6.3.2.3. Solução 3

Uma vez que a grande limitação deste caso de estudo é notada no verão devido às elevadas temperaturas do algarve, para esta solução decidiu-se estudar a influência do valor das renovações horárias de ar na temperatura interior. Deste modo, serão efetuadas simulações para valores de Rph=2, 3 e 4 respetivamente (Tal como já foi referido anteriormente, será promovida a ventilação noturna), nas Figuras 122, 123, 124.

A modificação deste parâmetro não trará influência para a típica semana de inverno e, portanto, apenas, será analisado os resultados obtidos para a semanas de verão:

Rph=2:

Day	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri	27 Sat	28 Sun
Air Temperature (°C)	25,74	27,05	27,55	27,77	27,31	27,37	27,78
Radiant Temperature (°C)	26,03	27,11	27,77	28,15	27,92	27,82	28,12
Operative Temperature (°C)	25,88	27,08	27,66	27,96	27,61	27,60	27,95
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	24,78	27,34	28,04	27,21	24,36	25,24	26,95
Relative Humidity (%)	47,54	44,35	40,64	31,53	45,11	52,76	51,74
Fanger PPD (%)	9,28	16,20	20,81	21,41	21,35	23,45	27,26
Fanger PMV ()	0,34	0,68	0,82	0,84	0,84	0,90	1,00

Figura 122 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação com Rph=2

Rph=3:

Day	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri	27 Sat	28 Sun
Air Temperature (°C)	25,19	26,63	27,07	27,18	26,59	26,69	27,12
Radiant Temperature (°C)	25,54	26,69	27,33	27,64	27,28	27,16	27,49
Operative Temperature (°C)	25,37	26,66	27,20	27,41	26,94	26,92	27,31
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	24,78	27,34	28,04	27,21	24,36	25,24	26,95
Relative Humidity (%)	49,45	45,06	41,75	32,58	46,89	54,64	53,88
Fanger PPD (%)	8,05	13,13	16,84	16,66	15,52	17,17	20,54
Fanger PMV ()	0,19	0,56	0,69	0,68	0,65	0,71	0,82

Figura 123 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtido na simulação com Rph=3

Rph=4:

Day	22 Mon	23 Tue	24 Wed	25 Thu	26 Fri	27 Sat	28 Sun
Air Temperature (°C)	25,18	26,42	26,67	26,61	25,87	25,99	26,42
Radiant Temperature (°C)	25,54	26,46	26,91	27,05	26,53	26,38	26,70
Operative Temperature (°C)	25,36	26,44	26,79	26,83	26,20	26,18	26,56
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	24,84	27,34	28,04	27,21	24,36	25,24	26,95
Relative Humidity (%)	50,93	46,82	44,02	34,93	49,69	57,59	57,09
Fanger PPD (%)	8,03	11,84	13,90	12,65	10,81	11,97	14,26
Fanger PMV ()	0,21	0,51	0,59	0,53	0,45	0,50	0,61

Figura 124 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação com Rph=4

De notar que, com o incremento existente no valor de Rph as temperaturas interiores são menores e consequentemente o valor do PMV tende a aproximar-se de 0 indicando um maior nível de conforto.

Para que seja mais elucidativa a influência do valor de Rph na temperatura interior da sala comum, a Figura 125 permite analisar as 3 hipóteses apresentadas:

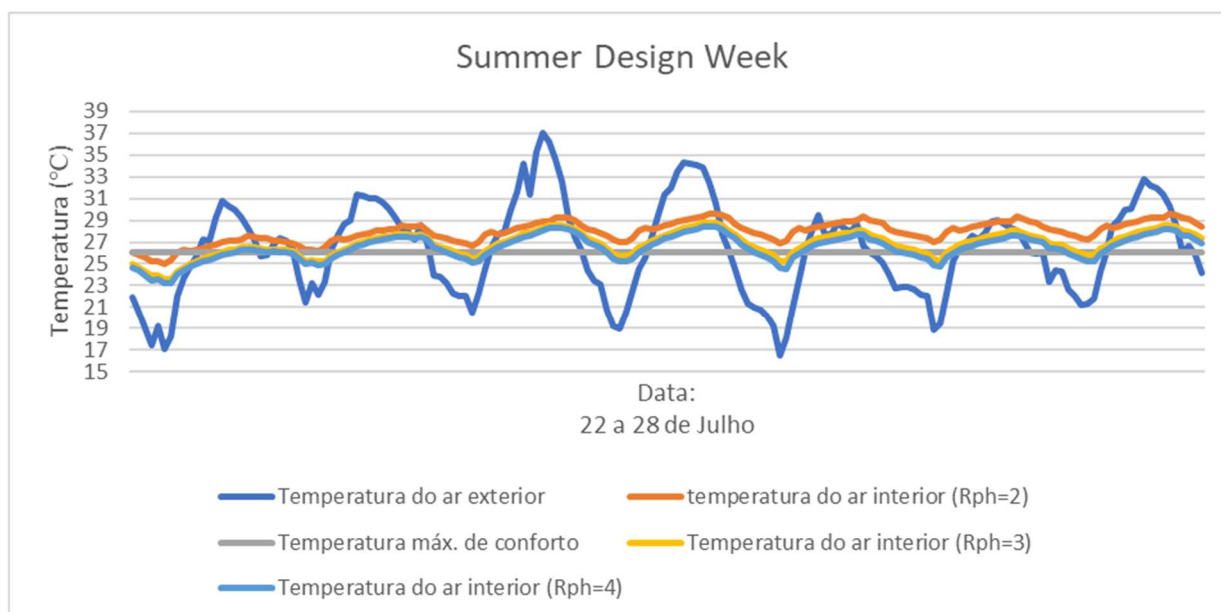


Figura 125 - Faro: Solução 3, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), avaliação da temperatura interior

Com o incremento no valor da ventilação natural noturna é de prever que serão obtidas temperaturas interiores mais baixas. Conclui-se que quando maior o valor do Rph melhores resultados é possível obter, deste modo para que seja estudada a distribuição da temperatura anual (Figura 126) será utilizado um valor do Rph igual a 4.

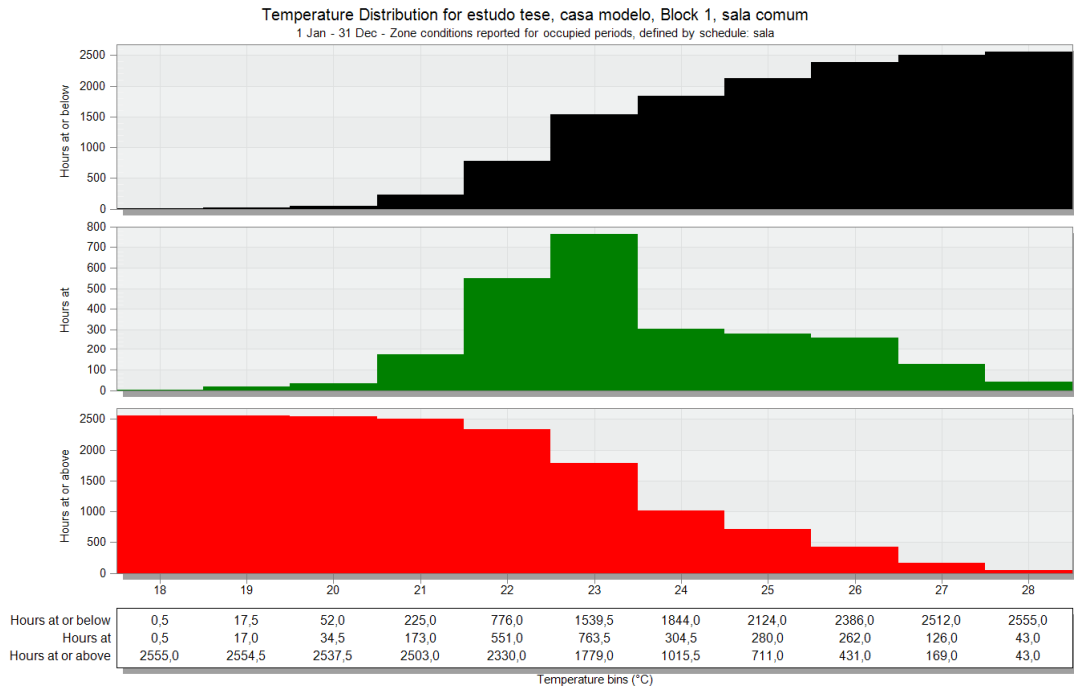


Figura 126 - Faro: Solução 3, Distribuição anual da temperatura interior

Com a atenção dada à ventilação noturna os resultados obtidos são extremamente satisfatórios e, portanto, não existem temperaturas inferiores a 18°C e a temperatura máxima registada é de 28°C, apenas 2°C acima da temperatura de conforto. Calculou-se ainda o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =0;

Graus Horas de desconforto (Verão) =212.

Deste modo, pode concluir-se que em termos de conforto os resultados obtidos para o caso de faro são extremamente positivos.

6.3.3. Caso de estudo no Porto

6.3.3.1. Solução 1: Solução Base

O Porto representa o local mais equilibrado dos três em estudo onde as temperaturas são bastante equilibradas. Portanto em seguida serão apresentados os resultados obtidos da simulação realizada na sala comum. De notar que a única coisa que diferencia esta solução base (Anexo A.3) das demais é o seu valor de renovações horarias de ar que é igual a 0,49. De notar que no Verão é privilegiada uma ventilação natural noturna com um funcionamento entre as 20h e as 8h da manhã (Este horário para a ventilação natural será mantido para as restantes soluções).

Seguidamente, para uma semana típica de verão (5 a 11 de agosto) verificam-se, através das imagens 127 e 128, os seguintes resultados:

Day	5 Mon	6 Tue	7 Wed	8 Thu	9 Fri	10 Sat	11 Sun
Air Temperature (°C)	24,38	24,93	24,45	24,26	25,14	25,94	26,20
Radiant Temperature (°C)	24,56	25,20	24,91	24,58	25,23	25,96	26,54
Operative Temperature (°C)	24,47	25,06	24,68	24,42	25,19	25,95	26,37
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	21,18	20,55	17,58	19,42	23,45	25,41	21,40
Relative Humidity (%)	59,29	63,13	61,17	52,94	51,12	53,20	54,91
Fanger PPD (%)	6,55	6,21	5,47	6,06	6,40	9,88	11,90
Fanger PMV (l)	-0,00	0,20	0,07	-0,06	0,16	0,40	0,55

Figura 127 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtido na simulação

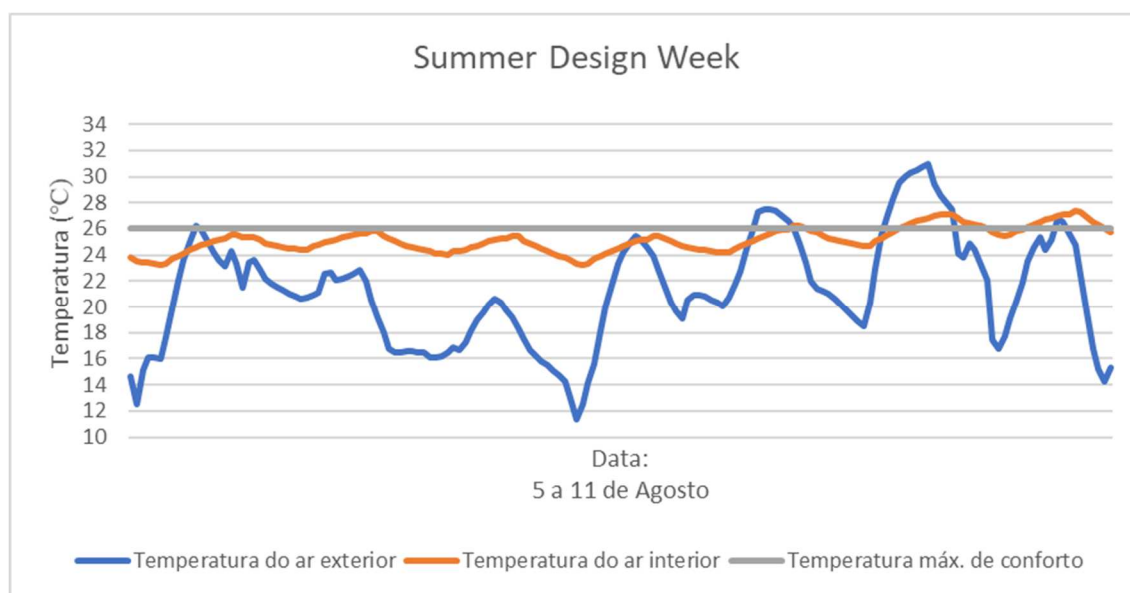


Figura 128 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Como seria de prever, uma vez que o verão no Porto não é muito rigoroso, para esta solução inicial, existem escassos momentos em que a temperatura interior excede a temperatura de conforto. De notar que o valor absoluto do PMV médio diário raramente excede os 0,5 o que representa ótimas condições de conforto no verão.

Relativamente ao estudo efetuado para a semana de inverno (22 a 28 de janeiro), pode-se observar os seguintes resultados nas Figuras 129 e 130:

Day	22 Tue	23 Wed	24 Thu	25 Fri	26 Sat	27 Sun	28 Mon
Air Temperature (°C)	13,78	13,46	13,18	12,67	12,70	12,94	12,90
Radiant Temperature (°C)	13,94	13,62	13,35	12,86	12,74	13,00	12,95
Operative Temperature (°C)	13,86	13,54	13,26	12,77	12,72	12,97	12,93
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	7,42	6,87	6,59	5,45	8,38	8,40	8,59
Relative Humidity (%)	47,50	47,18	47,48	51,22	57,06	60,80	63,59
Fanger PPD (%)	56,35	59,96	62,95	67,61	67,01	63,73	63,85
Fanger PMV (l)	-1,60	-1,67	-1,72	-1,81	-1,80	-1,74	-1,74

Figura 129 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

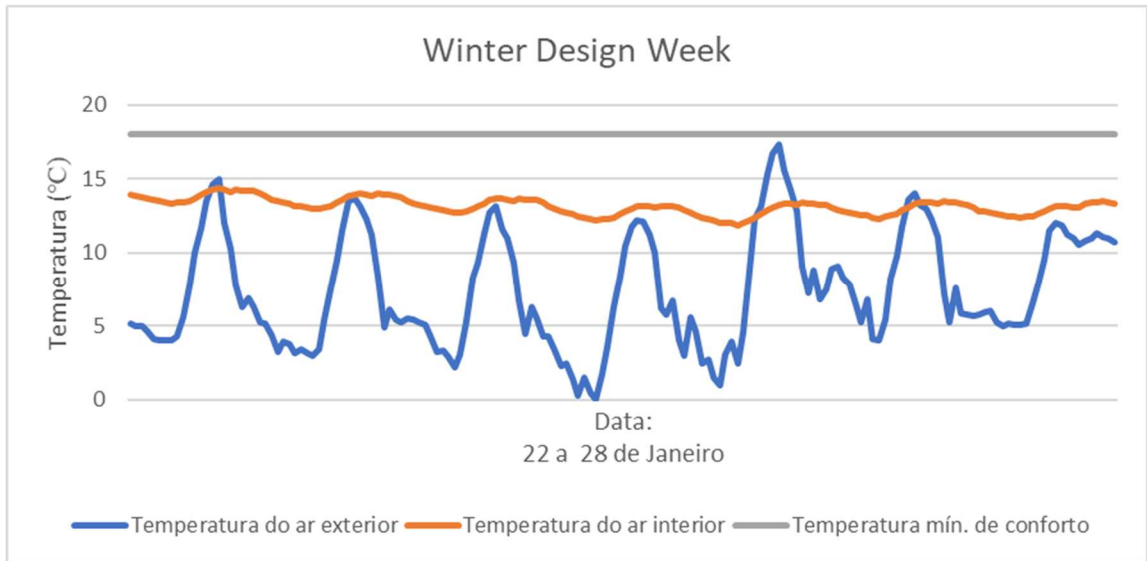


Figura 130 - Porto: Solução 1, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior

Contrariamente aos resultados positivos obtidos para o verão, o inverno constitui um sério problema neste caso de estudo, uma vez que a temperatura interior se encontra em valores significativamente mais baixos que a temperatura mínima de conforto. Portanto, a principal preocupação para este caso de estudo é incrementar as condições de conforto no inverno.

Em seguida será avaliada a distribuição de temperatura anual (Figura 131) para esta situação:

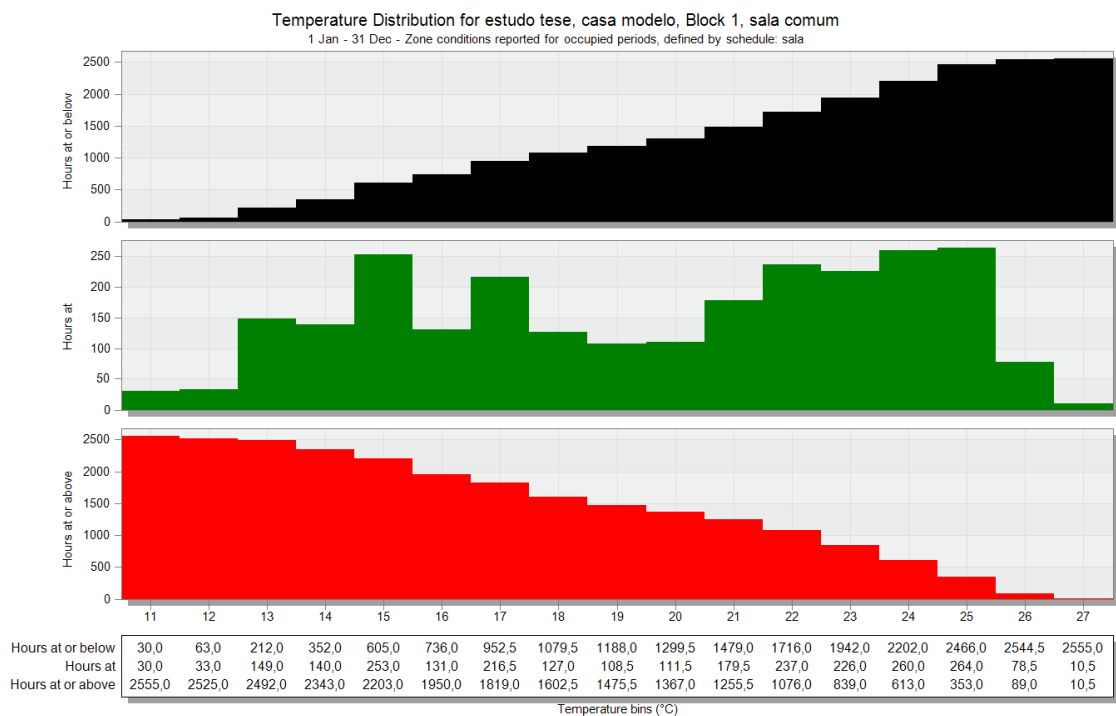


Figura 131 - Porto: Solução 1, Distribuição anual da temperatura interior

Tal como seria de prever, analisando a imagem, é de notar as condições nefastas existentes durante o inverno, uma vez que as temperaturas interiores da sala comum são extremamente baixas. O principal ponto positivo é o facto de a temperatura quase nunca exceder a temperatura máxima de conforto. Além

disso, foi calculado o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =2950,5;

Graus Horas de desconforto (Verão) =10,5.

Concluindo, a situação de inverno necessita, numa próxima solução, de uma grande melhoria.

6.3.3.2. Solução 2

Como o principal objetivo se prende com as melhorias de conforto durante o inverno decidiu-se, para esta solução, a mudança da fachada principal do apartamento de norte para sul, tal como já se havia realizado para os restantes casos de estudo. Com esta alteração obteve-se os seguintes resultados para a semana de verão nas Figuras 132 e 133:

Day	5 Mon	6 Tue	7 Wed	8 Thu	9 Fri	10 Sat	11 Sun
Air Temperature (°C)	28,25	28,89	28,08	27,86	28,97	29,93	30,37
Radiant Temperature (°C)	28,70	29,39	28,75	28,42	29,33	30,24	30,95
Operative Temperature (°C)	28,48	29,14	28,41	28,14	29,15	30,09	30,66
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	21,18	20,55	17,58	19,42	23,45	25,41	21,40
Relative Humidity (%)	47,69	50,47	49,78	42,98	41,26	42,46	43,47
Fanger PPD (%)	34,12	43,77	32,32	27,79	40,47	54,92	64,14
Fanger PMV ()	1,13	1,36	1,13	0,98	1,28	1,58	1,76

Figura 132 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtido na simulação

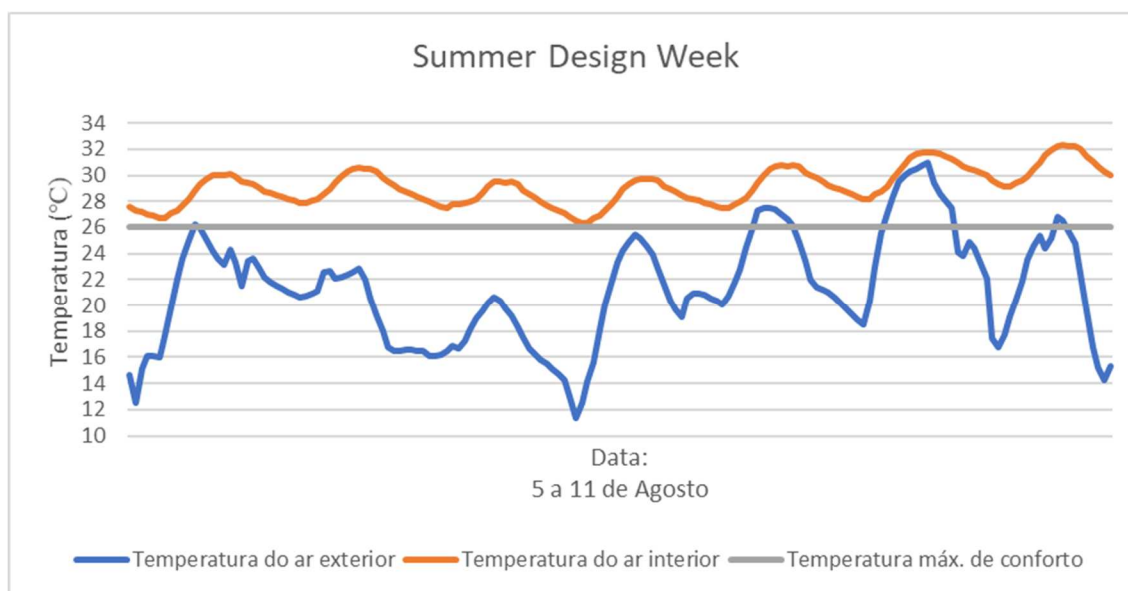


Figura 133 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Com esta alteração o valor das temperaturas interiores sofre um acréscimo e em praticamente todo o período de estudo é superior à temperatura limite e, assim, são atingidas temperaturas interiores muito elevadas. Deste modo, analisando os resultados do PMV nota-se um decréscimo significativo de

conforto face à solução anterior, desta feita na solução a testar seguidamente, será fundamental reduzir o valor destas temperaturas interiores para valores mais aceitáveis.

Relativamente à semana de estudo de inverno, as Figuras 134 e 135 apresentam os seguintes resultados:

Day	22 Tue	23 Wed	24 Thu	25 Fri	26 Sat	27 Sun	28 Mon
Air Temperature (°C)	21,78	21,64	21,29	21,19	21,52	21,81	20,52
Radiant Temperature (°C)	22,16	22,02	21,68	21,60	21,83	22,13	20,81
Operative Temperature (°C)	21,97	21,83	21,48	21,40	21,68	21,97	20,66
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	7,42	6,87	6,59	5,45	8,38	8,40	8,59
Relative Humidity (%)	36,02	35,55	35,27	36,48	39,45	41,68	45,91
Fanger PPD (%)	5,89	5,88	5,71	6,64	6,36	5,99	5,88
Fanger PMV (l)	0,03	0,00	-0,07	-0,09	-0,01	0,07	-0,19

Figura 134 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

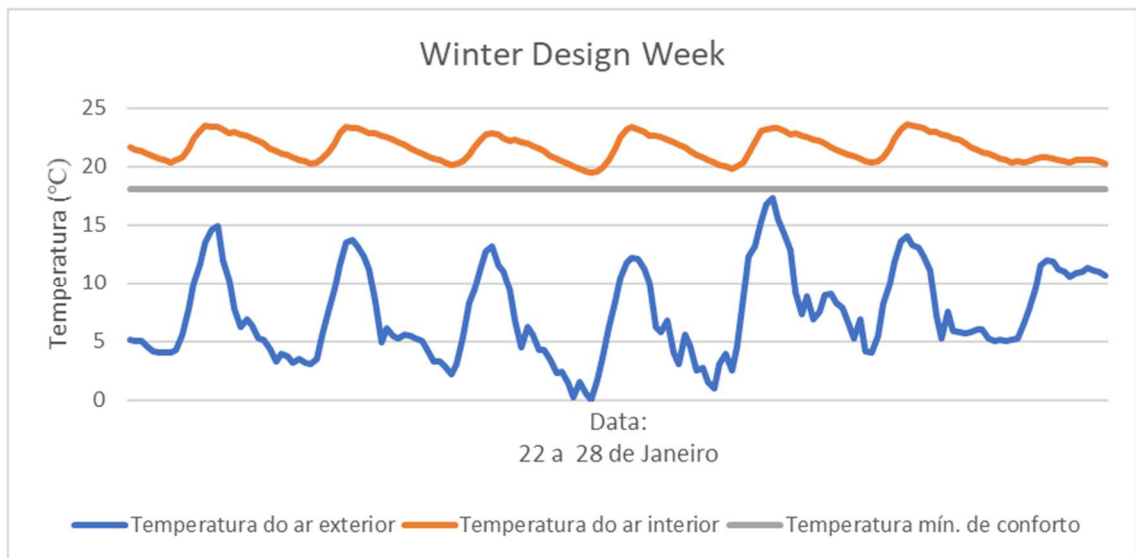


Figura 135 - Porto: Solução 2, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

A mudança da orientação da fachada principal a sul permitiu uma melhoria muito significativa das temperaturas interiores durante o inverno, tal como já tinha sucedido para o caso de Bragança. Deste modo a alteração realizada constitui resultados positivos para o período de inverno, uma vez que no decorrer de toda a semana a temperatura interior excede sempre a temperatura mínima de conforto. Seguidamente, na Figura 136, será analisada a variação da temperatura anual para a sala comum:

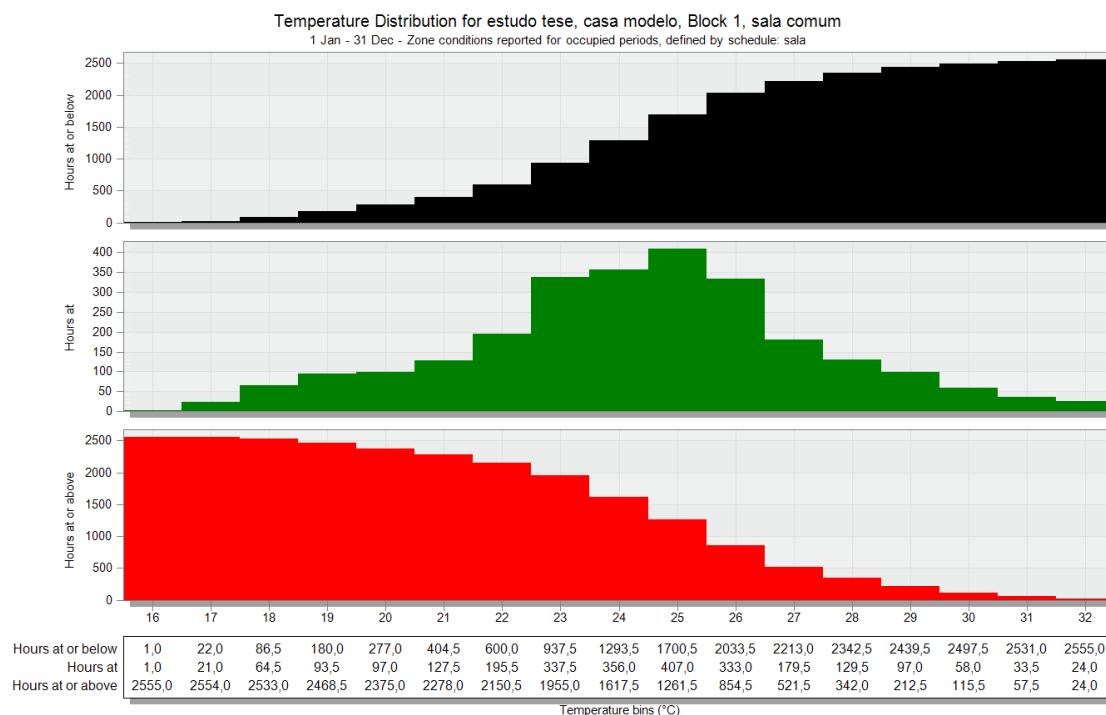


Figura 136 - Porto: Solução 2, Distribuição anual da temperatura interior

Em termos de distribuição de temperatura a alteração realizada teve um efeito extremamente positivo uma vez que a temperatura mínima registada na sala comum passou de 11°C para 16 °C e, ainda que tenha surgido a existência de períodos com temperaturas superiores a 26°C, estes são de curta duração. Foi ainda calculado o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =23;

Graus Horas de desconforto (Verão) =1273.

O decréscimo acentuado que se verificou para a situação de inverno representa um resultado muito positivo uma vez que as horas de desconforto se tornam praticamente nulas. No entanto, o valor de Graus Hora de desconforto no verão sofreu um aumento muito significativo. Conclui-se, assim, que a alteração realizada resulta em resultados muito positivos para o inverno, porém, é fulcral na seguinte solução melhorar as condições de conforto para o verão.

6.3.3.3. Solução 3

Para esta última solução era extremamente importante reduzir as horas de desconforto existentes no verão, deste modo, na fachada a sul foi colocada uma pala horizontal com 80 cm de largura. Além disso, para esta solução, tal como já foi referido no capítulo anterior, realizaram-se alterações a nível dos elementos da envolvente.

Portanto, para a semana típica de verão observam-se os seguintes resultados expressos na Figura 137 e 138:

Day	5 Mon	6 Tue	7 Wed	8 Thu	9 Fri	10 Sat	11 Sun
Air Temperature (°C)	23,61	24,09	23,20	23,28	24,22	24,99	25,07
Radiant Temperature (°C)	23,90	24,53	23,90	23,66	24,42	25,11	25,63
Operative Temperature (°C)	23,76	24,31	23,55	23,47	24,32	25,05	25,35
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	21,18	20,55	17,58	19,42	23,45	25,41	21,40
Relative Humidity (%)	61,86	65,67	65,11	55,73	53,53	55,56	57,68
Fanger PPD (%)	7,57	5,49	6,83	8,45	6,15	7,08	7,28
Fanger PMV ()	-0,21	-0,01	-0,25	-0,33	-0,09	0,15	0,25

Figura 137 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o verão ("SummerDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

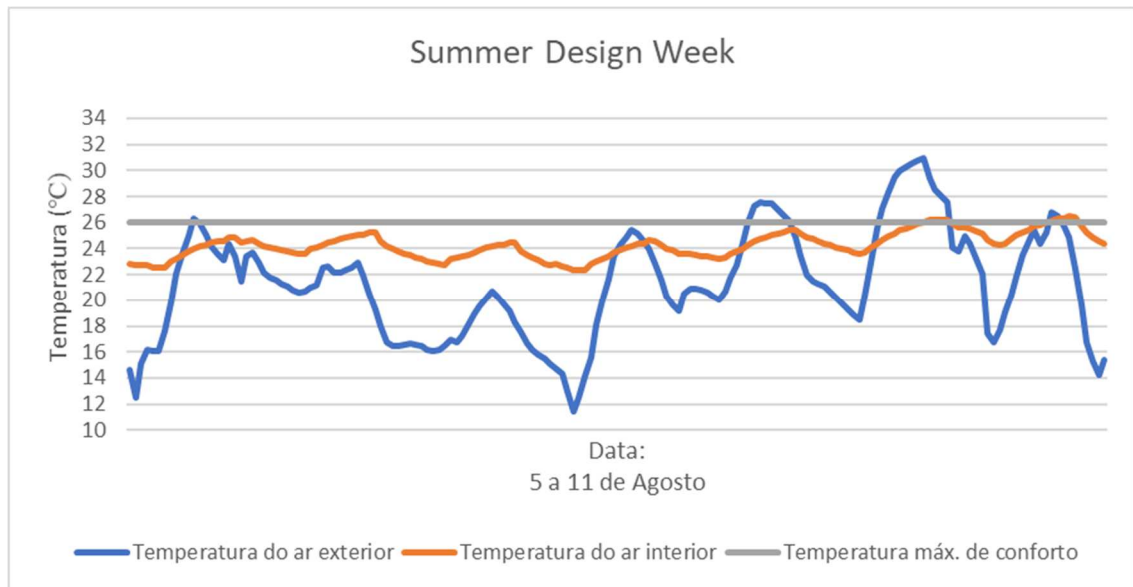


Figura 138 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o verão, avaliação da temperatura interior

Analisando a evolução da temperatura interior ao longo da semana, verifica-se que esta raramente ultrapassa a temperatura máxima de conforto, além disso observando os valores médios diários do PMV, para nenhum dos dias este parâmetro ultrapassa o valor de 0,5 o que clarifica a existência constante de conforto interior. Desta feita e comparando com a solução anterior, surge uma melhoria significativa.

Passando-se, assim, para a típica semana de inverno, as Figuras 139 e 140 representam os resultados da simulação realizada:

Day	22 Tue	23 Wed	24 Thu	25 Fri	26 Sat	27 Sun	28 Mon
Air Temperature (°C)	21,97	21,84	21,52	21,43	21,75	22,00	20,84
Radiant Temperature (°C)	22,35	22,23	21,91	21,84	22,06	22,32	21,13
Operative Temperature (°C)	22,16	22,03	21,71	21,64	21,90	22,16	20,99
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	7,42	6,87	6,59	5,45	8,38	8,40	8,59
Relative Humidity (%)	34,80	34,26	34,54	36,03	39,23	41,23	45,64
Fanger PPD (%)	5,74	5,68	5,46	6,17	6,09	5,89	5,45
Fanger PMV ()	0,07	0,04	-0,03	-0,04	0,04	0,11	-0,12

Figura 139 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o inverno ("WinterDesignWeek"), parâmetros obtidos na simulação

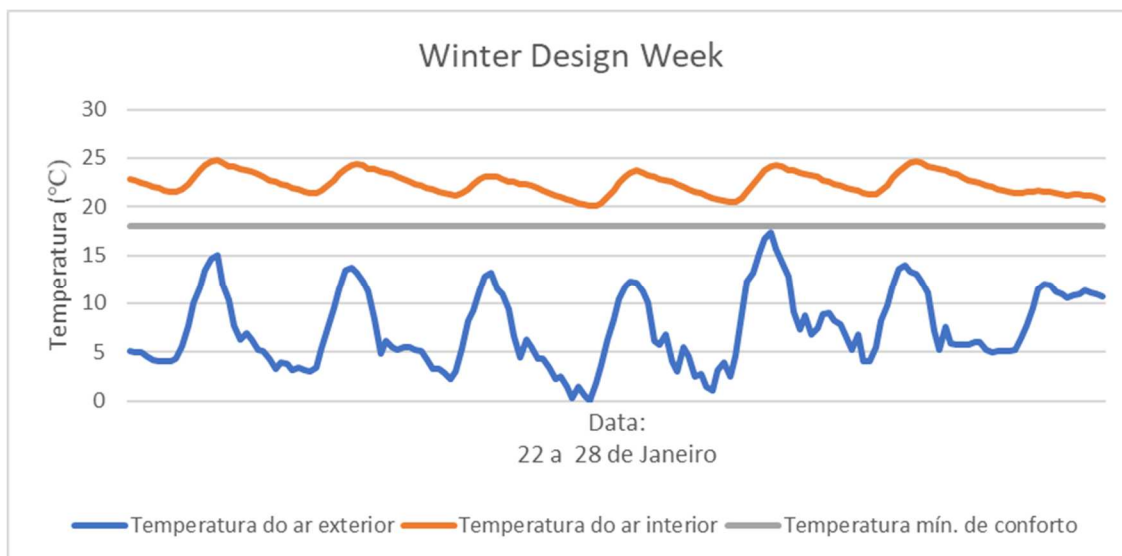


Figura 140 - Porto: Solução 3, semana de projeto para o inverno, avaliação da temperatura interior

Quanto à análise da semana de inverno, é importante salientar que a sala comum apresenta um ótimo comportamento térmico, com a existência de temperaturas interiores relativamente superiores a 18°C. O valor do PMV encontra-se extremamente próximo de 0 o que reitera exatamente a qualidade do conforto existente.

Em seguida, na Figura 140, será analisada a distribuição da temperatura anual:

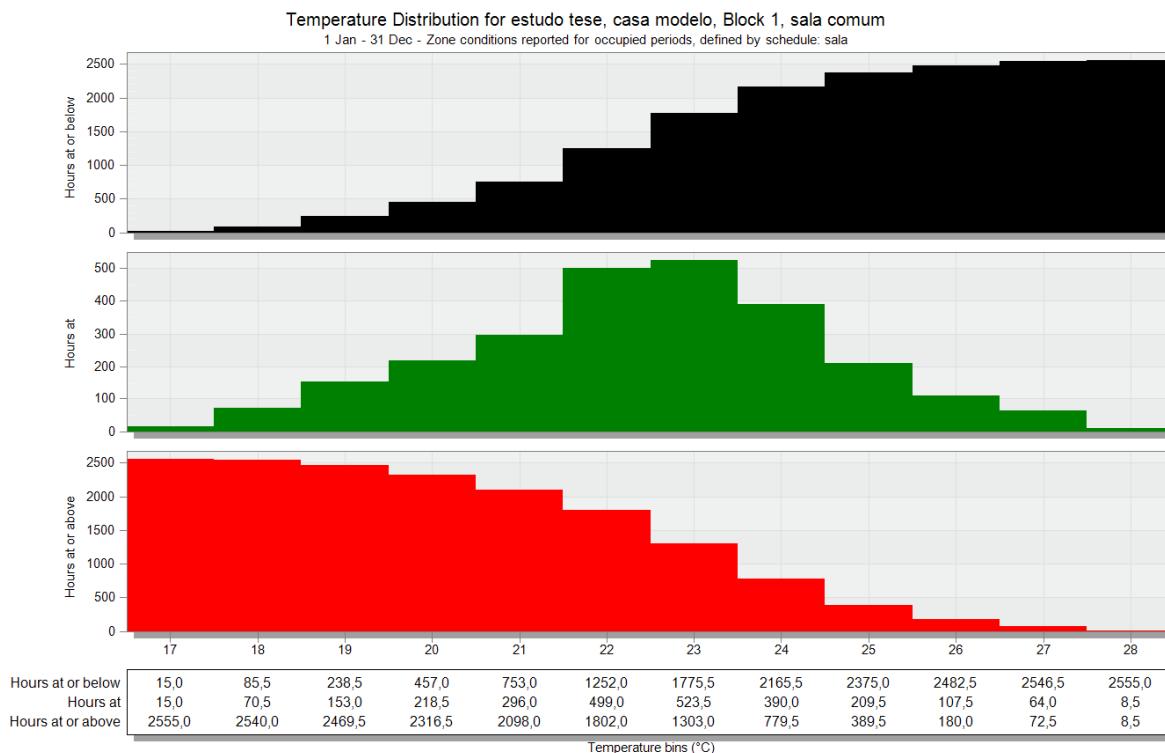


Figura 141 - Porto: Solução 3, Distribuição anual da temperatura interior

Em termos de distribuição de temperatura a alteração realizada teve um efeito extremamente positivo uma vez que a temperatura mínima registada na sala comum é de 17 °C e praticamente não existem períodos de temperaturas superiores a 26°C, o que expressa um encurtamento na distribuição das temperaturas. Desta forma, é importante salientar que as modificações realizadas influenciaram positivamente a habitação, reduzindo, de uma forma acentuada, a existência de períodos de desconforto. Foi ainda calculado o número de graus horas de desconforto para a situação em que a temperatura é inferior à mínima de conforto, durante o inverno, e superior à máxima, durante o verão:

Graus Horas de desconforto (Inverno) =15;

Graus Horas de desconforto (Verão) =81.

Os valores obtidos no cálculo deste parâmetro são extremamente positivos uma vez que na globalidade do ano os momentos de desconforto interior são praticamente nulos. Deste modo, é de notar que este caso de estudo foi o que apresentou melhores resultados no que ao conforto diz respeito.

6.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO NO CASO DE BRAGANÇA

6.4.1. Energia necessária para aquecimento e conforto térmico

A cidade de Bragança, devido ao seu clima mais extremo em cada uma das estações representou o caso de estudo mais complexo. Relativamente à estação de aquecimento, os severos invernos que se fazem sentir nesta região exigem, não só, medidas passivas para garantir o conforto como também, de forma indubitável, técnicas ativas de aquecimento.

Deste modo será estudada a 3ª Solução de Bragança, obtida através do DesignBuilder, considerando, apenas, como sistema de aquecimento um recuperador de calor a Biomassa. Assim, será possível obter a energia despendida para aquecimento e a variação da temperatura interior numa das divisões da habitação. Serão abordados dois cenários de estudo, um primeiro onde se considera, para a estação de aquecimento, a ativação a tempo inteiro do sistema de aquecimento com um setpoint de 18°C. E uma segunda situação, onde este permanecerá ligado, apenas, algumas horas do dia, de forma a criar uma situação mais realista do uso deste tipo de equipamentos.

- Sistema de aquecimento permanentemente ligado:

Para esta situação foi definido o seguinte calendário (Figura 142) de aquecimento, respeitando, praticamente, os 7,3 meses de duração da estação de aquecimento.

Month	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Jan	On	On	On	On	On	On	On
Feb	On	On	On	On	On	On	On
Mar	On	On	On	On	On	On	On
Apr	On	On	On	On	On	On	On
May	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Aug	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	On	On	On	On	On	On	On
Nov	On	On	On	On	On	On	On
Dec	On	On	On	On	On	On	On

Figura 142 - Calendário de aquecimento em condições de aquecimento constante

Apresentam-se, na tabela 27, as necessidades de energia para os meses de aquecimento para a habitação em causa:

Tabela 27 – Necessidades de energia mensais em aquecimento, em condições de aquecimento permanente

Mês	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Energia para Aquecimento (KWh)	19,80	170,23	392,79	480,14	286,42	165,31	171,41	51,62

Pode-se observar que no decorrer do mês de Outubro praticamente não se torna necessário recorrer a sistemas de aquecimento e nos meses de Dezembro e Janeiro é quando necessita de mais energia. Totalizou-se, assim, uma necessidade de energia total em aquecimento de 1737,71 kWh.

Passando para a análise do conforto, faz mais sentido avaliar uma determinada divisão em particular e, portanto, este estudo indicará, novamente, sobre a sala comum. A figura 143 permite visualizar a oscilação da temperatura interior, em valores horários, na sala comum de 1 de Outubro a 31 de Abril.

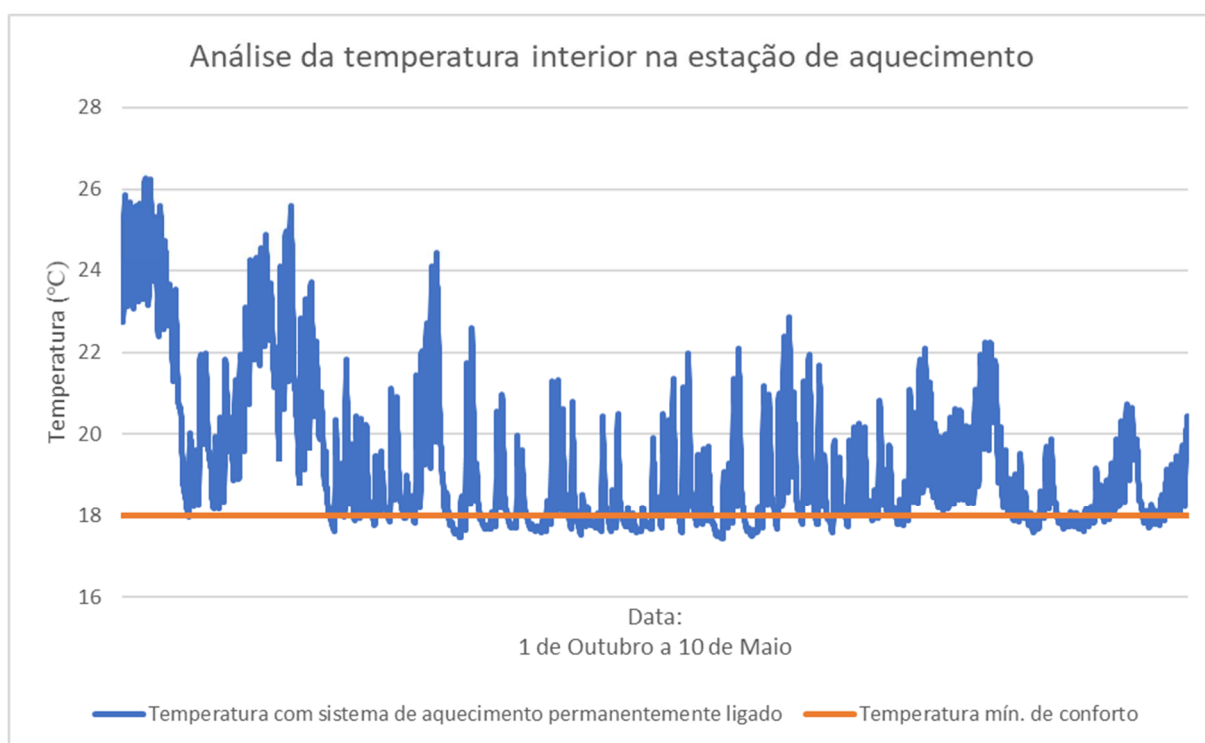


Figura 143 - Variação da temperatura interior, em valores horários, na sala comum para a estação de aquecimento

Verifica-se que com o sistema de aquecimento ligado de forma permanente os momentos com temperaturas inferiores à temperatura mínima de conforto são muito escassos. Além disso, em momento algum se observam temperaturas abaixo dos 17°C o que comprova que com este tipo de utilização o conforto é garantidamente alcançado.

- Sistema de aquecimento com funcionamento mais realista:

Nesta situação os meses de aquecimento serão mantidos, porém o funcionamento do sistema de aquecimento é diferente, sendo que durante a semana se encontra ligado das 7h até 10h e das 18h até as 24h. No fim de semana, apresenta um funcionamento mais lato, das 7h até às 24h.

Neste caso foi possível obter as seguintes necessidades de energia para aquecimento:

Tabela 28 – Necessidades de energia mensais em aquecimento, em condições de aquecimento pontual

Mês	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Energia para Aquecimento (KWh)	14,27	134,64	324,80	401,69	238,25	132,66	131,61	29,97

Para esta situação em que se faz um uso mais controlado e realista do sistema de aquecimento, observamos um consumo total para aquecimento no valor de 1407,89 KWh, portanto, verifica-se uma redução no valor aproximado de 19%.

Relativamente à análise do conforto, obteve-se o seguinte gráfico que permite visualizar a oscilação da temperatura interior, em valores horários, na sala comum de 1 de Outubro a 31 de Abril.

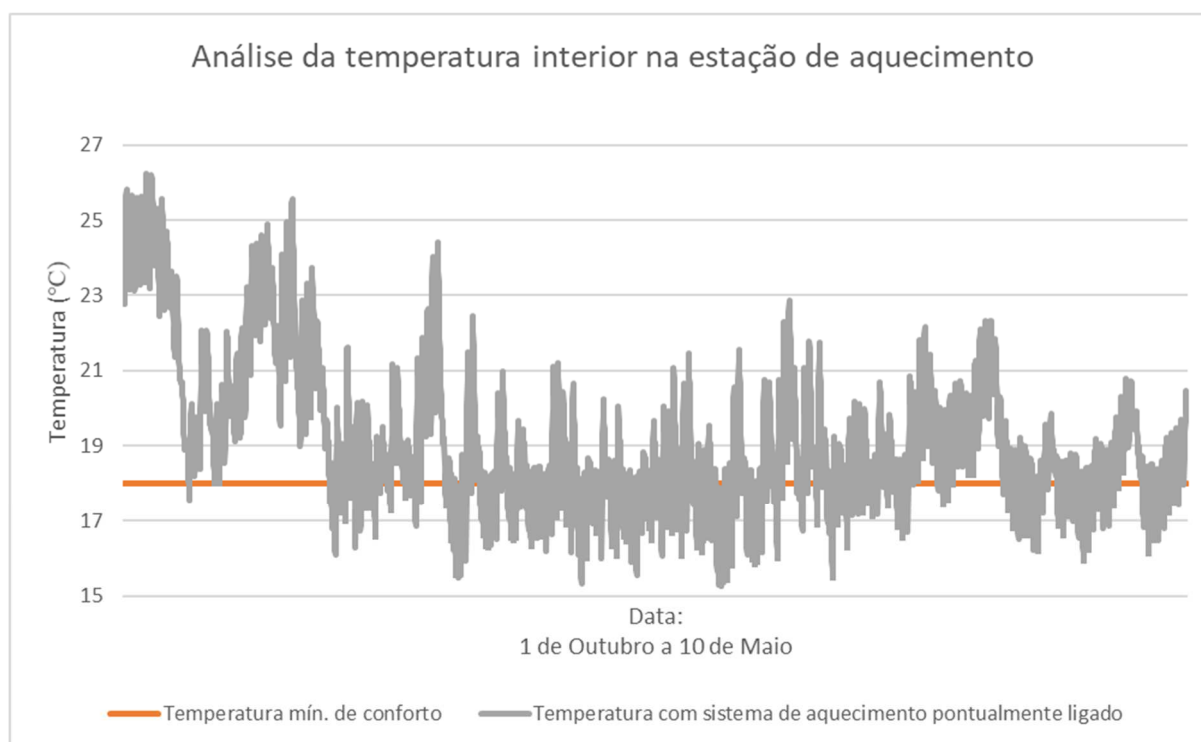


Figura 144 - Variação da temperatura interior, em valores horários, na sala comum para a estação de aquecimento

Com uma utilização mais pontual dos sistemas de aquecimento já serão bem mais frequentes os períodos onde não se garantem as condições mínimas de conforto, inclusive, chegam-se a observar temperaturas a rondar os 15°C, ainda assim é importante não esquecer que este facto não implica, necessariamente,

desconforto porque estas temperaturas mais baixas correspondem, essencialmente, a períodos onde a casa se encontra desocupada. No entanto, na globalidade do período observado as temperaturas encontram-se acima dos 16°C e, portanto, ainda que nem sempre sejam atingidas as temperaturas desejáveis de conforto não se verificam grandes oscilações. De notar, por fim, que o tempo diário de aquecimento admitido para esta situação é relativamente curto e, portanto, é normal, que em alguns períodos do ano com as temperaturas negativas existentes em Bragança exista alguma dificuldade em atingir os 18°C desejáveis.

6.4.2. Comparação dos resultados do DesignBulder com os resultados da folha de cálculo de aplicação do REH

Torna-se interessante comparar os valores obtidos relativamente à energia necessária para aquecimento no DesignBuilder, uma vez que neste é possível criar condições de utilização mais realistas, com os valores obtidos na folha de cálculo de aplicação do REH que recorre a condições nominais de utilização.

Deste modo, na figura 145, é possível observar o balanço energético, obtido na folha de cálculo, da solução em questão:

Balanço energético			
Indicadores energéticos			
Símbolo	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	33,18	70,03
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	3,23	7,09
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1605	1783
Wm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	4913	0
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1526	0
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	5,13	138,66

Ntc/Nt
0,04
Classe Energética
A+

Figura 145 - Balanço energético da 3ª Solução de Bragança (Orientada a Sul)

Em seguida será comparado o valor do Nic com os valores de necessidades energéticas para aquecimento por m² obtidos no DesignBuilder, considerando que a habitação consta de uma área de espaços aquecidos de 86,78 m²:

Tabela 29 - Relação entre as necessidades energéticas para aquecimento obtidas no DesignBuilder e na folha de cálculo de aplicação do REH

Situação	Energia necessária para aquecimento (KWh/m ²)	Relação com o Nic obtido no REH em percentagem (%)
Sistema de aquecimento permanentemente ligado	20,02	- 40
Sistema de aquecimento pontualmente ligado	16,22	- 51

Analisando os resultados obtidos no DesignBuilder para a energia necessária para aquecimento e comparando a mesma com a obtida na folha de cálculo de aplicação do REH é notória a diferença existente, uma vez que são obtidos valores muito inferiores que possibilitam economizar cerca de 50% da energia gasta. Era de prever estes resultados uma vez que as condições nominais utilizadas pela folha de cálculo estipulam, para a estação de aquecimento, que a habitação será constantemente aquecida. No DesignBuilder foi definida uma primeira solução de aquecimento constante com um setpoint de 18° C o que permitiu uma redução de 40%. Esta redução deve-se ao facto do DesignBuilder realizar uma simulação em regime dinâmico o que possibilita uma aproximação mais realista ao efeito da inércia térmica e à variabilidade de fatores como os ganhos solares e as temperaturas exteriores. Além disso, o programa detém os valores horários de diversos dados climáticos específicos para Bragança, o que faz com que a estimativa das necessidades de energia seja muito mais precisa. Por contraste, no REH são considerados valores médios quer de temperaturas exteriores (valores médios diários utilizados para o cálculo dos GD) quer de radiação solar (um único valor médio mensal para toda a estação de aquecimento)

Numa segunda hipótese, onde se definiu um horário de aquecimento mais realista, já foi possível obter uma redução das necessidades de energia ainda maior, no valor de 51% face ao Nic.

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

Com a realização da presente dissertação foi possível aprofundar conhecimentos relativos a um conceito extremamente contemporâneo e que merece um grande destaque no futuro da engenharia civil, o conceito de nZEB (Edifícios com necessidades quase nulas de energia), assim como as diversas técnicas que permitem o melhoramento dos edifícios, não só do ponto de vista energético, assim como térmico.

A atualidade é marcada por uma evolução inexorável da tecnologia o que permitiu explorar as potencialidades de diversas fontes energéticas renováveis e fazer com que o seu proveito atinja qualquer cidadão comum e, portanto, com a comunhão entre técnicas passivas que permitem a diminuição das necessidades energéticas e a aposta na obtenção de energia através de fontes renováveis é possível o alcance dos ideais nZEB, o que permitirá que o setor da construção deixe de representar um “inimigo”, constante, do ambiente.

Ainda que o objeto de estudo seja, apenas, um modelo habitacional considerou-se importante a contextualização do mesmo com as regulamentações nacionais existentes em vigor no âmbito da eficiência energética dos edifícios. Em complemento, também, foram destacadas diversas legislações criadas no contexto dos nZEB quer a nível internacional, quer nacional.

O objetivo central desta dissertação prende-se com a implementação dos nZEB em países do sul da Europa e descortinar as principais potencialidades e dificuldades adjacentes. Deste modo, foi elaborado um caso de estudo de um modelo habitacional (apartamento) inserido num edifício multifamiliar, onde se tentou integrar o conceito de Nearly Zero Energy Buildings através de diversas soluções passivas ou ativas e da incorporação de sistemas de produção de energia renovável. Decidiu-se abordar o desempenho do modelo em três localidades distintas de Portugal: Bragança, Faro e Porto, uma vez que Portugal se insere no sul da Europa e, portanto, apresenta, essencialmente, um clima mediterrânico.

O procedimento prático realizou-se em duas etapas distintas, numa primeira fase, foram desenvolvidas diferentes soluções para cada uma das localidades e determinou-se, através de uma folha de cálculo desenvolvida pelo ITeCons, se as necessidades energéticas e a percentagem de energia primária proveniente de energias renováveis se adequam às exigências requeridas pelo regulamento nacional para atingir os nZEB. Além disso, foi fundamental a aplicação desta folha de cálculo, uma vez que permitiu testar diferentes sistemas técnicos a aplicar nas soluções em apreço e, assim, verificar a influência que esses mesmos sistemas representam na produção de energia renovável. Numa segunda fase, recorrendo

a uma ferramenta de simulação dinâmica, o DesignBuilder, possibilitando a realização de uma análise relativa ao desempenho em termos de conforto térmico de uma das divisões da habitação. Portanto, submeteu-se as soluções desenvolvidas e avaliadas na folha de cálculo a esta simulação e verificou-se diversos parâmetros que indicassem a existência ou não de conforto interior. Além disso, foram, ainda, introduzidas algumas modificações quer em termos de orientação quer estruturais, como por exemplo com a introdução de sistemas de sombreamento fixos, uma vez que para as soluções idealizadas inicialmente, não era possível atingir condições de conforto.

Analisando-se as propostas para cada uma das localidades, verifica-se que a mudança de orientação da fachada com maior área de envidraçados de Norte para Sul aliada à incorporação de uma pala horizontal potencia resultados muito positivos no comportamento térmico de todos os casos de estudo, sobretudo na estação de aquecimento. Além disso, em localidades onde o verão é marcado por temperaturas elevadíssimas, Bragança e Faro, a promoção da ventilação noturna permitiu obter ótimos resultados, evitando sobreaquecimento. Por oposição, nas localidades onde o inverno é mais intenso, Bragança e Porto, as alterações nos elementos construtivos (parede exterior e vãos envidraçados) permitiram, de igual forma, melhorar as condições interiores.

De notar, finalmente, que o caso mais desafiante foi o de Bragança devido às amplitudes existentes entre o verão e o inverno e, portanto, tornou-se mais complexo encontrar um equilíbrio ideal entre a garantia de conforto nas diferentes estações. Tal fator, potenciou um estudo onde se comparou o valor das necessidades de energia para aquecimento obtido no DesignBuilder, em condições mais realista de utilização, com a obtida na folha de cálculo em condições nominais de utilização e verificou-se que, por um lado, pela simples aplicação do cálculo regulamentar podemos ser conduzidos para situações em que os sistemas de aquecimento estarão sobredimensionados e que, por outro lado, em condições mais reais de utilização será possível recorrer a consumos de energia muito inferiores e manter, igualmente, condições de conforto. Este facto poderá vir a facilitar, de certa maneira, a implementação do conceito nZEB nos edifícios portugueses.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para um estudo mais detalhado e para potenciar o conceito na sua máxima eficiência é fundamental uma equipa especializada, recorrendo, portanto, a Engenheiros Cívicos, Engenheiros Mecânicos e Arquitetos.

Seria fundamental realizar uma análise mensal dos ganhos e perdas energéticas, para que dessa forma fosse possível um dimensionamento mais adequando e realista dos sistemas técnicos para aquecimento e arrefecimento. Deste modo, seria muito interessante que a análise realizada através da folha de cálculo do ITeCons para obter as necessidades energéticas fosse, igualmente, realizada no DesignBuilder com condições mais realistas de habitabilidade.

Relativamente à análise de conforto térmico efetuada no DesignBuilder para a sala comum, seria extremamente interessante analisar outra divisão da habitação e verificar, de uma forma mais global o comportamento térmico da mesma.

Por fim, em seguimento da temática em estudo, seria importante, como termo de comparação, a realização de mais cenários em localidades diferentes de países inseridos no sul da Europa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/intro>, 24/03/2020.
- [2] <https://www.global-climate-change.org.uk/6-8.php>, 24/03/2020.
- [3] Igor Sartoria AN, Karsten Voss. *Net zero energy buildings: A consistent definition framework*, Energy Buildings, 2012.
- [4] DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia 2010.
- [5] Crawley, Drury, Shanti Pless, Paul Torcellini. “*Getting to Net Zero*”, ASHRAE Journal, 2009.
- [6] Gonçalves H. *Em direcção aos Edifícios de Balanço Energético Zero*, Jornadas da climatização, Ordem dos Engenheiros, 2011.
- [7] Pascual R, PG. *Nearly Zero-Energy Building Strategy 2020*, Viena, 30/09/2016.
- [8] DIRECTIVA 2006/32/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 27/04/2006. Jornal Oficial da União Europeia 2006.
- [9] https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos2011_apresentacao, 11/03/2020.
- [10] Carreira L. *nZEB, Da definição à implementação em Portugal*, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Setúbal, 2019.
- [11] Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de Junho. Diário da República n.º 119/2016 - I Série I. Lisboa.
- [12] Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro. Diário da República n.º 232/2013, 1º Suplemento - I Série. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- [13] Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril. Diário da República n.º 65/2019 - I Série. Ambiente e Transição Energética. Lisboa.
- [14] Gonçalves TMF. *CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE EDIFÍCIOS*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2017.
- [15] ISO 7730, *moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, Geneva, 2005.
- [16] <http://www.tempoemteutonia.com.br>, 08/03/2020.
- [17] Politano L. *Extreme temperature events in the Mediterranean*. Tese de Mestrado, Bern, 2008.
- [18] <https://www.electronica-pt.com>, 8/03/2020.
- [19] <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>, 16/05/2020.
- [20] <https://www.pordata.pt/DB/Europa/Ambiente+de+Consulta/Gr%C3%A1fico>, 16/05/2020.
- [21] Attia, S., Eleftheriou, P., Xenii, F., Morlot, R., Ménézo, Ch., Kostopoulos, V., Betsi, M., Kalaitzoglou, I., Pagliano, L., Cellura, M., Almeida, M., Ferreira, M., Baracu, T., Badescu, V., Crutescu, R., Hidalgo-Betanzos, JM. *Overview and future challenges of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Southern Europe*, 15/11/2017.

- [22] Cavaco, A., Silva, H., Canhoto, P. *Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade, mensal e anual*, Dezembro de 2016.
- [23] <https://www.gifex.com/detail-en/>, 16/05/2020.
- [24] <http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/>, 15/05/2020.
- [25] Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de agosto. Diário da República n.º 159/2013-Série I .
- [26] <https://www.sce.pt/estatisticas/>, 16/05/2020.
- [27] COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU, AO COMITÉ DAS REGIÕES E AO BANCO EUROPEU DE INVESTIMENTO. 30/11/2016.
- [28] Figueiredo, D. *O Novo Desafio dos NZEBs (Nearly Zero Energy Buildings)*, Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, FEUP, 2018.
- [29] <https://www.portugal2020.pt/content/o-que-e-o-portugal-2020>, 15/05/2020.
- [30] Gonçalves, H., Graça, J. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, INETI, Novembro de 2004, Lisboa.
- [31] SouthZeb:Conceitos e Estratégias nZEB II.
- [32] Isolani P. *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. 2008.
- [33] <https://www.amorimcorkinsulation.com/vantagens/inercia-termica/>, 11/03/2020.
- [34] Despacho nº 15793-K/2013, 3 de Dezembro de 2013, Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II. Lisboa.
- [35] ITE 50.
- [36] SouthZeb:Conceitos e Estratégias nZEB I.
- [37] <https://www.engenhariacivil.com/material-isolamento-termico-30-vezes-mais-forte>, 09/04/2020.
- [38] L. Tirone, “*Coberturas eficientes – Guia para a reabilitação energético-ambiental do edificado*”, Adene, 2011.
- [39] Jorge, A. *Convergência para NZEB de um edifício classificado*. Dissertação de Mestrado, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2013.
- [40] ADENE, Guia da Eficiência Energética. 2010.
- [41] <https://www.engenhariacivil.com/iluminacao-inteligente-luz-natural-espacos-interiores>, 23/03/2020.
- [42] Bointner R. ZEBRA2020: *NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020*, 2016.
- [43] <https://www.voltimum.pt/artigos/estrategias-bioclimaticas-e-sistemas>, 17/03/2020.
- [44] Pinto A, Dias, B. *Aquecimento solar passivo - ganhos diretos, indiretos e isolados*. Revista Arquitectura Lusíada, N. 7, 2015.
- [45] Walker, A., *Natural Ventilation. WBDG - Whole Building Desing Guide*. National Institute of Building Sciences, EUA, 2010.

- [46] <https://www.guiacasaeficiente.com/Arrefecimento/EnvolventesSombraPlantas.html>, 19/03/2020.
- [47] Cardoso, J., Mendes, J. *Aproveitamento da Energia Solar Térmica em Portugal*. II Seminário de Energia Sustentável Loures. 22/02/2013.
- [48] <https://www.sunenergy.pt/particulares/paineis-solares-termicos/>, 14/03/2020.
- [49] <https://www.portal-energia.com/energia-eolica/>, 14/03/2020.
- [50] <https://www.portal-energia.com/energia-geotermica-calor-da-terra/>, 12/03/2020.
- [51] Gonçalves, H., Aelenei, L., Rodrigues, C. *SOLAR XXI: A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building*. REHVA Journal. Março 2012.
- [52] <http://www.plataforma-pep.org/estandar/ejemplos-ph/30>, 16/03/2020.
- [53] <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/oficinas/2015/06/11/737605-el-edificio-de-oficinas-que-paga-menos-que-tu-por-la-factura-de-la-luz>, 09/04/2020.
- [54] <http://www.invira.es/obra/oficinas-passivhaus-en-sollana-valencia/>, 16/03/2020.
- [55] Erhorn, H. Erhorn-Kluttig, H. *Selected Examples of Nearly Zero-Energy Buildings*. Setembro 2014.
- [56] <http://www.itecons.uc.pt/index.php?module=inst&id=2>, 2/05/2020.

ANEXOS

A. DADOS RELATIVOS A CADA UMA DAS SOLUÇÕES ESTUDADAS

A.1. Caso de estudo em Bragança

Localidades	Soluções	Paredes exteriores U(W/(m ² .°C))	Vão envidraçados U(W/(m ² .°C))	Sistemas técnicos	Outros fatores	Resultados		Relação com valor de Referência nZEB
Bragança	1ª Solução	U _{pe} =0,49 U _{pt.t} =0,64	U=2,5 g _{Jvi} =0,75 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Solar: painel solar térmico (AQS) Sistema por defeito para aquecimento	Orientação: Norte; R _{ph} =0,62.	Nic=66,74	Ni=71,99	92,7%
						Nvc=2,78	Nv=7,09	39,2%
						Ntc=169,29	Nt=239,96	71%
						%Ren		9,4%
	2ª Solução	U _{pe} =0,35 U _{pt.t} =0,44	U=2 g _{Jvi} =0,78 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Solar: painel solar térmico (AQS) Sistema por defeito para aquecimento	Orientação: Norte; R _{ph} =0,62; *1	Nic=59,43	Ni=71,99	82,5%
						Nvc=2,95	Nv=7,09	41,6%
						Ntc=153,48	Nt=239,96	64%
						%Ren		10,3%
	3ª Solução	U _{pe} =0,35 U _{pt.t} =0,44	U=2 g _{Jvi} =0,78 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Solar: painel solar térmico (AQS) Biomassa: Recuperador de calor (Aquecimento)	Orientação: Norte; R _{ph} =0,62; Ventilação mecânica com recuperador de calor; *2	Nic=51,22	Ni=71,99	71,1%
Nvc=3,64						Nv=7,09	52,3%	
Ntc=7,42						Nt=140,87	5%	
%Ren						92%		

*1: Para melhoria de conforto térmico no DesignBuilder a orientação foi alterada a Sul;

*2: Para melhoria de conforto térmico no DesignBuilder a orientação permanece a Sul e, nessa mesma fachada foi introduzida uma pala horizontal. Além disso o valor de R_{ph} passou a 4 no verão;

Nota: As indicações salientadas não foram consideradas nos resultados energéticos obtidos.

A.2. Caso de estudo em Faro

Localidades	Soluções	Paredes exteriores U(W/(m ² .°C))	Vão envidraçados U(W/(m ² .°C))	Sistemas técnicos	Outros fatores	Resultados		Relação com valor de referência nZEB	
						Nic	Ni		
Faro	1ª Solução	U _{pe} =0,49 U _{pt.t} =0,64	U=2,5 g _{Jvi} =0,75 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Solar: painel solar térmico (AQS) Sistema por defeito para aquecimento	Orientação: Norte; Rph=0,51.	Nic=7,68	Ni=15,71	49%	
						Nvc=12,51	Nv=18,97	66%	
						Ntc=31,74	Nt=109,16	29%	
							%Ren		36%
	2ª Solução	U _{pe} =0,49 U _{pt.t} =0,64	U=2,5 g _{Jvi} =0,75 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Split ar-ar(arrefecimento) Solar: painel solar térmico (AQS)	Orientação: Norte; Rph=0,51; *3	Nic=7,68	Ni=15,71	49%	
						Nvc=12,51	Nv=18,97	66%	
						Ntc=27,57	Nt=109,16	25%	
							%Ren		39%
	3ª Solução	U _{pe} =0,49 U _{pt.t} =0,64	U=2,5 g _{Jvi} =0,75 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Split ar-ar(arrefecimento e aquecimento) Solar: painel solar térmico (AQS)	Orientação: Norte; Rph=0,51; *4	Nic=7,68	Ni=15,71	49%	
Nvc=12,51						Nv=18,97	66%		
Ntc=8,38						Nt=87,53	15%		
						%Ren		59%	

*3: Para melhoria de conforto térmico no DesignBuilder a orientação foi alterada a Sul e, nessa mesma fachada foi introduzida uma pala horizontal;

*4: Para efeitos de conforto térmico foi testado no DesignBuilder valores de Rph iguais a 2,3 e 4 no verão;

Nota: As indicações salientadas não foram consideradas nos resultados energéticos obtidos.

A.3. Caso de estudo no Porto

Localidades	Soluções	Paredes exteriores U (W/(m ² . °C))	Vão envidraçados U (W/(m ² . °C))	Sistemas técnicos	Outros fatores	Resultados		Relação com valor de referência nZEB
						Nic	Ni	
Porto	1ª Solução	U _{pe} =0,49 U _{pt.t} =0,64	U=2,5 g _{lvi} =0,75 g _{JT} =0,04	Eletricidade: termoacumulador (AQS) Solar: painel solar térmico (AQS) Sistema por defeito para aquecimento	Orientação: Norte; R _{ph} =0,49.	Nic=22,9	Ni=34,88	63%
						Nvc=4,33	Nv=9,13	47%
						Ntc=73,19	Nt=147,56	48%
						%Ren	16%	
	2ª Solução	U _{pe} =0,49 U _{pt.t} =0,64	U=2,5 g _{lvi} =0,75 g _{JT} =0,04	Eletricidade: Bomba de calor ar-água (AQS e aquecimento) Solar: painel solar térmico (AQS) Sistema por defeito para aquecimento	Orientação: Norte; R _{ph} =0,49. *5	Nic=22,9	Ni=34,88	64%
						Nvc=4,33	Nv=9,13	47%
						Ntc=18,38	Nt=54,57	34%
					%Ren	42%		
	3ª Solução	U _{pe} =0,35 U _{pt.t} =0,64	U=2 g _{lvi} =0,78 g _{JT} =0,04	Eletricidade: Bomba de calor ar-água (AQS e aquecimento) Solar: painel solar térmico (AQS) Biomassa: Recuperador de calor (Aquecimento)	Orientação: Norte; R _{ph} =0,49. *6	Nic=18,71	Ni=34,88	53,6%
Nvc=4,35						Nv=9,13	54%	
Ntc=10,54						Nt=59,15	18%	
				%Ren	68,5%			

*5: Para melhoria de conforto térmico no DesignBuilder a orientação foi alterada a Sul;

*6: Para melhoria de conforto térmico no DesignBuilder a orientação foi mantida a Sul e, nessa mesma fachada foi introduzida uma pala horizontal;

Nota: As indicações salientadas não foram consideradas nos resultados energéticos obtidos.