



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



**“Thermobuild®” – Uma solução sustentável  
de isolamento térmico para aproximação ao desempenho  
de edifícios NZEB**

**Paulo Jorge Teixeira Barradas**  
Licenciado em Engenharia Civil

**Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Civil**

Orientadores:

Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro Silva  
Mestre João Manuel Barrento da Costa

Júri:

Presidente: Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques

Vogais: Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques  
Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

**dezembro de 2019**



## **Agradecimentos**

Durante a realização do presente trabalho de projeto, contei com o apoio de diversas pessoas e instituições de vários âmbitos da engenharia, às quais me encontro extramente agradecido. No entanto, não poderia deixar de expressar os mais sinceros agradecimentos:

Aos meus orientadores, o Professor Mestre Professor João Manuel Barrento da Costa e o Professor Doutor Pedro Silva, pela disponibilidade pessoal e técnica demonstrada ao longo de todo o atribulado percurso de elaboração deste documento.

Ao meu colega, Engenheiro Miguel Gonçalves, pela oportunidade que me deu de participar no desenvolvimento dum projeto sustentável e inovador, o produto “Thermobuild®”, e pelo seu contributo técnico e crítico no desenvolvimento do presente Trabalho de Projeto de Mestrado (TFM).

Quero expressar, em particular, ao Professor Mestre João Manuel Barrento da Costa, os meus sinceros agradecimentos pelos ensinamentos transmitidos, pelos constantes incentivos e pelas inúmeras revisões do trabalho que fui desenvolvendo nestes últimos anos, sem os quais não teria sido possível a conclusão do TFM.

A todos os meus colegas e amigos, que contribuíram através do seu tempo, paciência e motivação nos momentos mais difíceis, até alcançar esta meta. Os meus mais sinceros agradecimentos.

Por fim, à minha família, aos meus pais por todo o apoio incondicional ao longo de todos estes anos de percurso académico e profissional contínuo, e que sem a sua colaboração a realização deste trabalho teria sido impossível.

A todos, o meu mais sentido agradecimento.



## Resumo

Este documento resulta da constatação da evolução da legislação e da tecnologia em torno da eficiência energética de infraestruturas, de equipamentos e de edifícios. Assim como, o desenvolvimento e introdução de novos materiais, mais eficientes e com menor impacto ambiental.

O setor imobiliário, é o maior consumidor energético da EU através de um parque habitacional envelhecido e pouco eficiente do ponto de vista térmico. Tendo em consideração, a EU promove a redução do consumo de energia nos edifícios, introduzindo o conceito NZEB (Nearly Zero Emission Building), ou seja, edifícios de necessidades energéticas quase nulas. O edifício NZEB deverá ser alcançado através da diminuição das necessidades energéticas através de soluções passivas, e aplicação de sistemas de produção de energia renovável local para colmatar as necessidades energéticas. O que patenteou uma nova fase no sector da engenharia e da construção, em torno dos sistemas construtivos e materiais.

Com uma alta viabilidade de aplicação em edifício existentes, o produto de origem sustentável, de denominação “Thermobuild®”, é apresentado como solução na aproximação da melhoria do desempenho térmico de elementos construtivos como caixas de ar, nomeadamente, em paredes duplas e pavimentos tradicionais com estrutura de madeira, entre outros.

O presente Trabalho de Projeto consiste na simulação da aplicação do produto “Thermobuild®” num edifício unifamiliar e verificação das condições de eficiência energética para alcançar o designo de edifício NZEB em Portugal. Assim como, a apresentação de outras simulações, nas quais se evidenciaram as dificuldades em alcançar os níveis de eficiência energética, e se destacaram as necessidades em conjugar de várias soluções construtivas e a aplicação de sistemas técnicos com um grau elevado de eficiência que recorram a fontes de energia renovável.



## **Abstract**

The present document results in the growing awareness of legislation and technologies around the energy efficiency of infrastructures, equipment, and buildings. As well as the development and introduction of new materials, more efficient and with less environmental impact.

The real estate sector is the largest energy consumer of the EU through an aged and poorly efficient residential park. Considering the low standards of energy efficiency, the EU delivers the Directive 2010/31/EU. This directive aims to promote the reduction of energy consumption in buildings by introducing the concept of NZEB (Nearly Zero Emission Building), buildings of energy needs almost null. The NZEB building should be achieved by decreasing energy needs through passive solutions and applying local renewable energy production systems to bridge energy needs. This patented the beginning of a new phase in the engineering and construction sector, around the building and material systems.

With a high feasibility of existing building application, a product of sustainable origin, with the designation "Thermobuild®", is presented as a solution to approximation of the improvement of the thermal performance of constructive elements such as air boxes, namely, In double walls and traditional floors with wood structure, among others.

The study cases presented in this project work consists in the simulation of the application of the product "Thermobuild®" in a single-family building to achieve the design of an NZEB building at Portugal. As well as the presentation of other simulations, that evidenced the difficulties in achieving the levels of energy efficiency and presented the need to combine several constructive solutions and the application of technical systems with a degree of high efficiency of renewable energy sources.



## **Palavras-chave**

NZEB

Eficiência energética

Thermobuild®

Sustentabilidade

Casas passivas

Arquitetura bioclimática

Cypetherm

## **Key Words**

NZEB

Energy efficiency

Thermobuild®

Sustainability

Passive house

Bioclimatic architecture

Cypetherm



# Índice

1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Estrutura do documento.....	6
2. Conceitos e Estratégias .....	7
2.1. Generalidades.....	7
2.2. Definição e conceitos NZEB.....	7
2.3. Estratégia Legal .....	8
2.4. Requisitos para cálculo das necessidades de energia nominal .....	16
3. Estratégias de implementação .....	27
3.1. Arquitetura bioclimática.....	27
3.2. Sistemas Ativos .....	41
4. Sistemas de energia renovável .....	45
4.1. Exigências NZEB .....	45
4.2. Energia hídrica.....	45
4.3. Energia eólica .....	46
4.4. Energia solar.....	47
5. Produto “Thermobuild®” .....	51
5.1. Generalidades.....	51
5.2. A Cortiça .....	53
5.3. A borracha de pneus reciclados .....	54
6. Casos de estudo .....	55
6.1. CYPETHERM REH .....	55
6.2. O Edifício .....	56
6.3. Simulação energética do edifício no estado atual.....	66
6.4. Simulação energética com Thermobuild® .....	72

6.5.	Análise do desempenho energético com Thermobuild® .....	76
6.6.	Simulações de aproximação a NZEB.....	80
6.7.	Simulação conjunta NZEB .....	92
7.	Conclusões.....	97
8.	Desenvolvimentos futuros.....	99
9.	Referências Bibliográfica .....	101
10.	Anexos.....	105

## Índice de Figuras

Figura 1-1 – Principais consumos Europeus de energia 2018 (fonte "Eurostat – Statistic Explained" 2018) .....	2
Figura 1-2 – Balanço energético do sector habitacional (fonte "Eurostat - Statistic Explained" 2018) .....	2
Figura 1-3 – Evolução do balanço energético em Portugal (fonte DGEG 2019) .....	3
Figura 1-4 – Evolução da dependência energética de Portugal (fonte DGEG 2019) .....	4
Figura 1-5 – Percentagem de incorporação de renováveis no setor da eletricidade, 2016 (fonte DGEG, 2018) .....	4
Figura 2-1 – Cronologia da Legislação Portuguesa (fonte: "Encontro 2013" - ADENE) ...	9
Figura 3-1 – Sistema Direto (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal) .....	32
Figura 3-2 – Sistema Indireto (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal) .....	33
Figura 3-3 – Sistema Independente (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal) .....	34
Figura 3-4 – Coletor de ar numa parede exterior (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal) .....	34
Figura 3-5 – Aplicação de Isolamento térmico (fonte: Polirigido 2018) .....	39
Figura 5-1 – Thermobuild® .....	53
Figura 6-1 – Orientação geográfica do edifício (Planta do Piso 0) .....	58
Figura 6-2 – Planta do piso +1 .....	59
Figura 6-3 - Alçado Sul.....	59
Figura 6-4 - Alçado Norte .....	60
Figura 6-5 - Perdas de calor no período de Inverno .....	71
Figura 6-6 - Ganhos térmicos no período de Verão.....	72
Figura 6-7 – Perdas térmicas no período de Inverno.....	77
Figura 6-8 - Ganhos térmicos no período de Verão.....	78
Figura 6-9 - Perdas térmicas no período de Inverno.....	93
Figura 6-10 - Ganhos térmicos no período de Verão.....	94



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica para Portugal Continental (fonte: Portaria n.º 349-A/2015) .....	17
Tabela 2 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica para Regiões Autónomas (fonte: Portaria n.º 349-A/2015) .....	17
Tabela 3 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados (fonte: Portaria n.º 349-B/2013) .....	18
Tabela 4 - Espessuras mínimas de isolamento de tubagens (mm) (fonte: Portaria n.º 349-B/2013) .....	19
Tabela 5 - Espessuras mínimas de isolamento para condutas (fonte: Portaria n.º 349-B/2013) .....	19
Tabela 6 - Espessuras mínimas de isolamento para equipamentos e depósitos (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	19
Tabela 7 - Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	21
Tabela 8 - Classificação do desempenho de unidades split, multis-split, VRF e compactas, com permuta ar-ar (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	22
Tabela 9 - Classificação do desempenho de unidades split, multis-split e compactas, com permuta ar-água (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	22
Tabela 10 - Classificação do desempenho de unidades do tipo Rooftop (fonte: Portaria n.º 349-B/2013) .....	22
Tabela 11 - Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de compressão (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	23
Tabela 12 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores (fonte: Portaria n.º 349-B/2013) .....	23
Tabela 13 - Valores de eficiência de termoacumuladores em função de $Q_{pr}$ (fonte: Portaria n.º 349-B/2013) .....	24
Tabela 14 - Eficiência mínima aplicável a caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	25
Tabela 15 - Requisitos e valores de referência a considerar em função do contexto do edifício e data do início do processo de licenciamento ou autorização de edificação (fonte: Portaria n.º 379-A/2015).....	26
Tabela 16 - Localizações em estudo .....	57
Tabela 17 – Caracterização dos espaços em análise.....	58

Tabela 18 - Resumo dos coeficientes de transferência de calor ( $W/^\circ C$ ) .....	63
<i>Tabela 19 - Caracterização dos vãos envidraçados</i> .....	64
Tabela 20 - Valores nominais da solução base .....	67
Tabela 21 - Indicadores de desempenho .....	69
Tabela 22 - Indicadores de Aquecimento da solução base .....	70
Tabela 23 - Indicadores de Arrefecimento da solução base .....	71
Tabela 24 – Comparação dos coeficientes de transferência de calor ( $w/^\circ C$ ) .....	75
Tabela 25 - Indicadores de Aquecimento I1 V1 de solução Thermobuild® .....	76
Tabela 26 - Indicadores de Arrefecimento I1 V1 de solução Thermobuild® .....	77
Tabela 27 - Indicadores de desempenho I1 V1 de solução Thermobuild® .....	78
Tabela 28 - Indicadores energéticos da solução Thermobuild® .....	80
Tabela 29 - Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado .....	82
Tabela 30 - Coeficientes do vão envidraçado com dispositivo de proteção .....	83
Tabela 31 - Indicadores de desempenho da solução de vãos envidraçados .....	83
Tabela 32 - Indicadores energéticos da solução de vãos envidraçados .....	84
Tabela 33 - Indicadores de desempenho da solução de AVAC .....	85
Tabela 34 - Indicadores energéticos da solução de AVAC .....	86
Tabela 35 - Indicadores de desempenho da solução de AQS .....	87
Tabela 36 - Indicadores energéticos da solução de AQS .....	88
Tabela 37 - Indicadores de desempenho da solução de Energias Renováveis .....	90
Tabela 38 - Indicadores energéticos da solução de Energias Renováveis .....	91
Tabela 39 - Indicadores de aquecimento da solução conjunta .....	92
Tabela 40 - Indicadores de arrefecimento da solução conjunta .....	93
Tabela 41 - Indicadores de desempenho da solução conjunta .....	94
Tabela 42 - Indicadores energéticos da solução conjunta .....	95

## Índice de Gráficos

Gráfico 6-1 - Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (esquerda) e comparação das necessidades globais anuais primárias (direita) .....	68
Gráfico 6-2 - Comparação da percentagem de energia primária de uso com sem fontes de energia renovável (I1 V1 de estudo à esquerda e de referência à direita) .....	70
Gráfico 6-3 - Comparação da percentagem de energia primária de uso com sem fontes de energia renovável (I1 V1 à esquerda e I1 V1 com Thermobuild à direita).....	79



## **Siglas e Acrónimos**

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça

AQS – Águas Quentes Sanitárias

COP – Coefficient of Performance

EER – Energy Efficiency Ratio

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

EPBD – Energy Performance Building Directive

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

EUROSTAT – Gabinete de Estatísticas da União Europeia

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

NZEB – Net Zero Emission Building

nZEB – Nearly Zero Emission Building

PEAC – Programa Europeu para as Alterações Climáticas

PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PPEC – Plano de Promoção da Eficiência Energética

RCCTE – Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RQSECE – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

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

SGPU – Sistema integrado de Gestão de Pneus Usados

UE – União Europeia

## Nomenclaturas

$\theta_{ext,v}$  – temperatura exterior média exterior

°C – Grau Celcius

$A_{env}$  – Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem um compartimento

$A_p$  – Área útil de pavimento

$A_{pav}$  – Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s)

$E$  – Espessura

$E_{ren}$  – Energia produzida a partir de fontes renováveis

$F_g$  – Fração envidraçada

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado

$F_f$  – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado

$g_d$  – Fator solar do dispositivo de sombreamento

$g_T$  – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar

$g_{T,max}$  – Fator solar máximo regulamentar

$H_{ve}$  – Coeficiente de transferência de calor por ventilação

kW – Quilowatt

$M_{tep}$  – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

$N_i$  – Necessidades anuais de energia útil para aquecimento

$N_{ic}$  – Necessidades nominais de aquecimento

$N_t$  – Necessidades anuais globais máximas

$N_{tc}$  – Necessidades anuais globais de energia primária

$N_v$  – Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento

$N_{vc}$  – Necessidades nominais de arrefecimento

$Q_a$  – Energia útil para preparação de água quente sanitária

Qtr – Perdas de energia por transmissão de calor pela envolvente

Qve – Perdas de energia por renovação do ar

Qg.i – Ganhos energéticos brutos na estação de aquecimento

Qg.v – Ganhos energéticos brutos na estação de arrefecimento

U – Coeficiente de transmissão térmica

R – Classe energética

Rph – Taxa de renovação de ar por hora

W – Watt

Wvw – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Num período caracterizado pelo rápido desenvolvimento tecnológico e cultural da nossa sociedade, com a conseqüente exigência de maior conforto térmico, é crescente a dependência em torno do consumo energético. Como tal, o conceito de eficiência energética tornou-se um marco estratégico para a sustentabilidade económica, social e ambiental.

Associado a uma aceleração do aquecimento global, resultante da excessiva utilização de combustíveis fósseis, torna-se cada vez mais imprescindível realizar uma forte aposta em novos métodos de obtenção e de conservação de energia elétrica e térmica.

Na União Europeia, devido a uma “taxa de importação energética superior a 50% das necessidades” (European Union, 2016), aos mercados energéticos internos fragmentados e a gastos com a energia superiores aos registados nos mercados externos, surgem também preocupações de diversas índoles, referentes à segurança do abastecimento de energia e a competitividade em diversos setores. A estas condicionantes potenciadoras de insegurança energética, associa-se, um desperdício energético elevado e a diminuição de empenho na busca pelo desenvolvimento tecnológico nas áreas afetas às energias renováveis.

Consciente do paradigma, e com o intuito de proporcionar um futuro mais sustentável e económico, a União Europeia, através do desenvolvimento de novas estratégias políticas, têm procurado diminuir o consumo interno de energia e fomentar a implementação de novas soluções energéticas. Em parte, as grandes frentes estratégicas passam pela melhoria do desempenho energético dos edifícios e do setor dos transportes.

Como é possível verificar na Figura 1-1, os edifícios de habitação e serviços representavam em 2018, cerca de 39% dos consumos energéticos, o que indica que ainda existe uma enorme margem de melhoria. No entanto, os indicadores estatísticos, disponibilizados pelo *Eurostat's*, transmitem-nos que o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento continua a progredir para valores superiores (Figura 1-2).

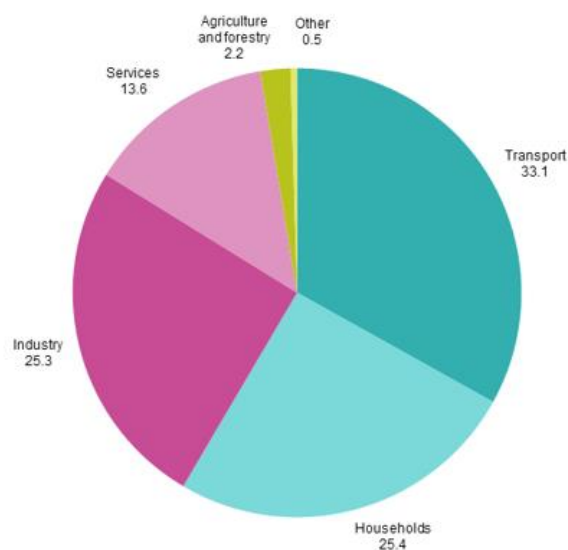


Figura 1-1 – Principais consumos Europeus de energia 2018 (fonte "Eurostat – Statistic Explained" 2018)

Euro Area (19 countries)	ktoe								
	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Final energy consumption</b>	<b>797 571</b>	<b>777 089</b>	<b>738 385</b>	<b>738 026</b>	<b>740 829</b>	<b>706 532</b>	<b>721 928</b>	<b>733 787</b>	<b>741 690</b>
Industry	219 641	195 085	193 088	189 100	186 918	184 610	183 862	186 482	187 950
Transport	238 862	230 995	228 923	220 426	218 984	221 360	223 169	226 543	228 204
Other sectors	339 068	351 010	316 375	328 500	334 927	300 562	314 897	320 763	325 535
Services	104 445	115 253	105 992	109 439	111 087	103 642	109 312	109 850	113 618
Households	208 021	214 185	190 006	198 839	203 296	176 971	186 024	191 999	193 043

Figura 1-2 – Balanço energético do sector habitacional (fonte "Eurostat - Statistic Explained" 2018)

Em Portugal, “a análise do balanço energético nacional continua a evidenciar o peso das importações de energia (27,71 Mtep), exibindo um aumento de 8,1% face a 2016. Por outro lado, a produção doméstica apresentou uma diminuição de 12,7 Mtep face ao ano anterior, situando-se em 5,19 Mtep.” (Fernandes, Ana Cristina; Guerra, Miguel Déjan; Ribeiro, Rita; Rodrigues, 2016) (Figura 1-3).

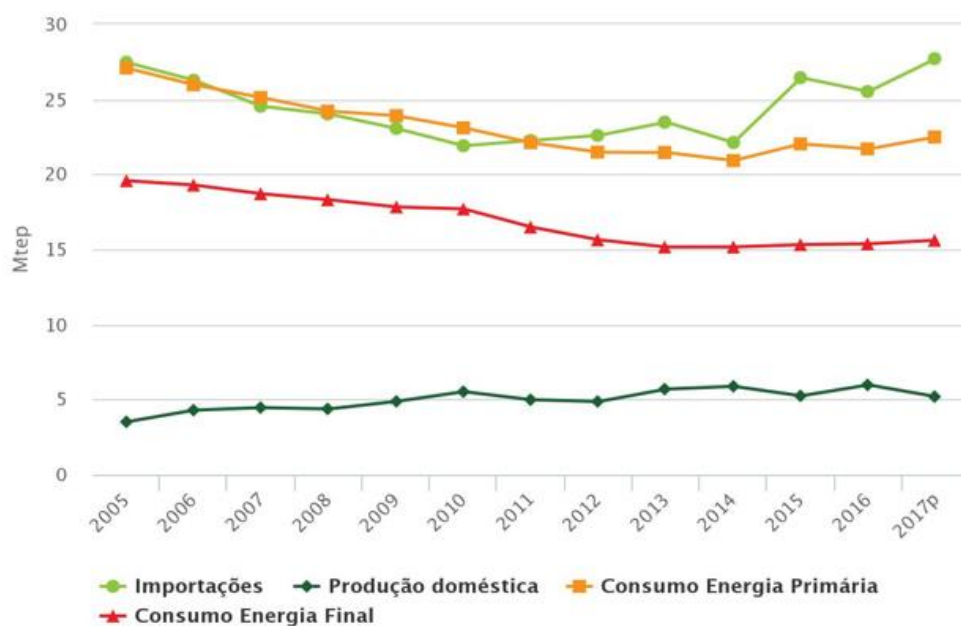


Figura 1-3 – Evolução do balanço energético em Portugal (fonte DGEG 2019)

Embora se registasse uma diminuição no consumo de petróleo e derivados, para 40,2% (REA 2018), como principal fonte de consumo de energia primária, verifica-se um ligeiro aumento no consumo de gás natural e carvão, o que contribui para um aumento do consumo de energia primária de 3,7% face a 2016.

Com esta subida, e apesar do incremento na produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis, registou-se em 2017 uma forte subida, para 79,7% (REA 2018), da dependência energética em comparação ao ano transato (Figura 1-4).

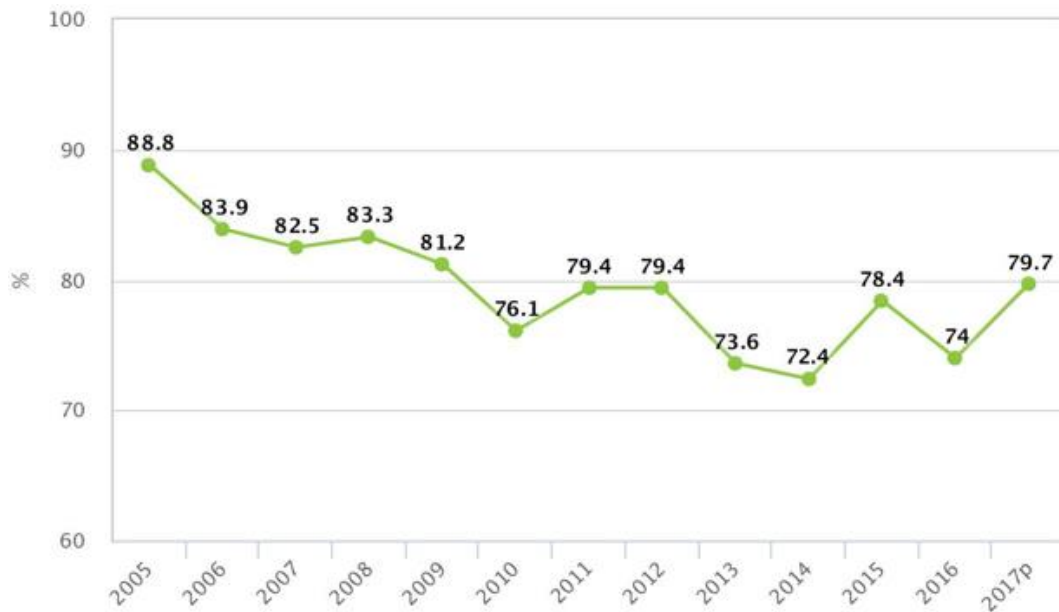


Figura 1-4 – Evolução da dependência energética de Portugal (fonte DGEG 2019)

Apesar da subida do consumo de energia primária, no ano de 2016, Portugal foi o terceiro país da EU-28 com melhor desempenho na incorporação de energias renováveis no setor da eletricidade.

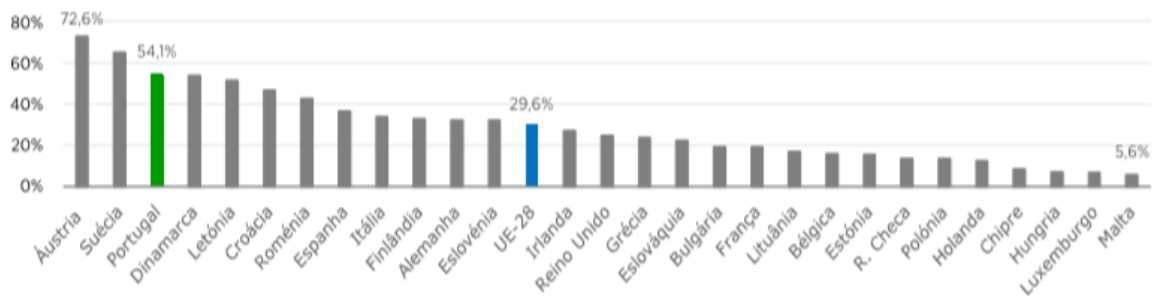


Figura 1-5 – Percentagem de incorporação de renováveis no setor da eletricidade, 2016 (fonte DGEG, 2018)

## 1.2. Objetivos

Este trabalho de projeto foi proposto para dar continuidade ao estudo desenvolvido no Laboratório de Materiais e Construção do ISEL com o desenvolvimento do produto “Thermobuild®”, estudo iniciado com o desenvolvimento do trabalho de mestrado “Solução de Isolamento Térmico com base em cortiça e borracha para edificações novas e existentes” (M. Gonçalves, 2018). Assim, com o presente trabalho de projeto, pretende-se verificar a viabilidade técnica de soluções construtivas com menores coeficientes de condutibilidade térmica que levem à redução de consumos energéticos e a avaliar o potencial de contribuição do produto na redução dos consumos energéticos das frações destinadas a habitação.

Assim pretende-se, primeiramente, a realização de modelo de calculo de forma a analisar a aplicação do produto e as soluções adotadas pelas especialidades de arquitetura e térmica, caracterizando o seu impacto individual no desempenho energético do imóvel de estudo.

Posteriormente, pretende-se dotar o modelo de todas as soluções, emparelhadas para obter o maior incremento de desempenho energético. Identificar as principais condicionantes ao exercício de converter o edifício para edifício NZEB. Apesar dos valores impostos pela EU para a região oceânica, em que Portugal se insere, um dos objetivos deste trabalho é alcançar o valor de  $R=N_{tc}/N_t$  igual ou inferior a 0,05.

### 1.3. Estrutura do documento

O presente documento encontra-se dividido em duas partes distintas. Na primeira parte, faz-se o enquadramento teórico e conceptual, referindo-se alguns conceitos e legislação afetos à temática abordada. Na segunda parte, apresenta-se o desenvolvimento dos diferentes casos de estudo e apresentam-se os resultados obtidos nos diferentes estudos realizados. O documento ficou, assim, com a seguinte organização:

#### Primeira Parte – Enquadramento teórico e conceptual

Capítulo 1 – No primeiro capítulo, é apresentada uma breve introdução do conceito de eficiência energética e do seu enquadramento europeu;

Capítulo 2 – No segundo capítulo, é desenvolvido o conceito de edifício NZEB, analisada a legislação e o panorama normativo em vigor;

Capítulo 3 – No terceiro capítulo, são abordadas algumas estratégias passivas que podem ser adotadas para cumprimento da regulamentação em vigor;

Capítulo 4 – No último capítulo da primeira parte, são referidos alguns sistemas de energia renovável.

#### Segunda Parte – Desenvolvimento dos casos de estudo

Capítulo 5 – No início da segunda parte, é feita uma explicação técnica do produto “Thermobuild®”, da sua constituição e da tecnologia de aplicação.

Capítulo 6 – No capítulo 6, descreve-se o edifício que serviu de base para o desenvolvimento de todos os casos estudados. São também explicadas as melhorias introduzidas em cada novo caso estudado e são analisados os resultados das diferentes simulações estudadas.

Capítulo 7 – No último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas da realização deste trabalho e apresentam-se propostas para futuros desenvolvimentos do tema.

## 2. Conceitos e Estratégias

### 2.1. Generalidades

Neste capítulo pretende-se fazer-se uma introdução ao conceito de “edifício NZEB”, resumir a evolução legislativa das políticas energéticas no âmbito europeu e no âmbito nacional. Faz-se também, uma análise á evolução dos requisitos regulamentares exigíveis. Resumem-se, pela sua importância, as possíveis estratégias do foro técnico, com base no estudo das *passive house*.

### 2.2. Definição e conceitos NZEB

O acrónimo nZEB significa “*Nearly Zero Energy Building*”, e foi introduzido em 2010 através da Diretiva Europeia 2010/31/EU de 19 de maio, que reviu a EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*. O documento define um edifício NZEB, como “um edificio cujo balanço energético é quase nulo, ou seja, é um edifício com um elevado desempenho energético, que recorre à contribuição de fontes de energia renovável para fazer face ao consumo energético” (União Europeia, 2010). A energia renovável deve ser produzida no local ou nas proximidades dos edifícios, faltando caracterizar, neste contexto, o que se entende por proximidade. Não podendo ser muito redutor no que diz respeito à sua localização, pois em cidades de grande dimensão, não se torna possível a sua implementação ao nível local do próprio edifício ou até de um bairro ou de um quarteirão (Skills, 2018).

Embora a Diretiva apresente uma definição geral do edifício NZEB, deixou a cada Estado Membro da UE, a definição dos critérios e a metodologia de aplicação da definição. O documento propõe, também, que a partir de 31 de dezembro de 2020 todos os edifícios novos sejam construídos como edifícios com necessidade energéticas quase nulas, e que o mesmo conceito seja aplicado a partir de 31 de dezembro de 2018 para todos os edifícios novos de propriedade ou ocupados por instituições de índole pública. Estas

propostas já foram transpostas para a legislação nacional pela Portaria n.º 42/2019 de 30 de janeiro (República Portuguesa, 2019).

No entanto, é de ressaltar que se encontram fora do campo de ação da Diretiva, os edifícios de alto consumo energético, como os “*Data Center*”, ainda que equipados com soluções em torno das energias renováveis.

Focado em três princípios base, o conceito NZEB pretende, promover a eficiência energética dos edifícios, a redução do consumo energético dos equipamentos (sistemas de arrefecimento, aquecimento, ventilação, iluminação, de entre outros), ampliar a quota de energia renovável com a instalação de sistemas locais, colmatando o balanço térmico e elétrico, assim como, o controlo e redução da energia requerida para a utilização dos edifícios e a quantidade de emissões de dióxido de carbono para a atmosfera.

As principais vantagens, da aplicação deste conceito, apontam para uma diminuição do consumo de energia necessária para garantir o normal funcionamento de um edifício de índole habitacional, comercial ou com outro tipo de utilização. E também para a garantia do conforto e da qualidade habitacional, minimizando as necessidades energéticas com recurso a sistemas de produção de energia renovável.

Em 29 de julho de 2016, a Comissão Europeia publicou o “additional guidance on the NZEB standart”, e com base numa projeção de preços e de tecnologias para 2020, foram estabelecidos padrões de referência para cada zona climática da comunidade europeia.

Para a zona oceânica, em que Portugal se encontra inserido, foi proposto que os novos edifícios de habitação unifamiliar deveriam consumir entre 15 a 30 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) de energia primária líquida – Energia Primária Total menos a Energia proveniente de fontes renováveis – com uma utilização de energia primária compreendida entre 50 e 65 kWh/(m<sup>2</sup>.ano), e uma utilização de energias renováveis produzidas localmente da ordem de 35 kWh/(m<sup>2</sup>.ano). (European Union, 2016)

### 2.3. Estratégia Legal

Com o incremento da preocupação sobre a qualidade de vida no parque habitacional e empresarial, surgiu a necessidade de desenvolver legislação e regulamentação onde fossem estipulados valores padrão a respeitar na realização de novos e futuros projetos. Este documento irá focar-se apenas, e com especial cuidado, nos elementos que interagem de forma direta e indireta na eficiência energética. De modo sequencial, na

Figura 2-1 estão dispostas cronologicamente, as iniciativas legislativas de maior relevância implementadas no nosso País.

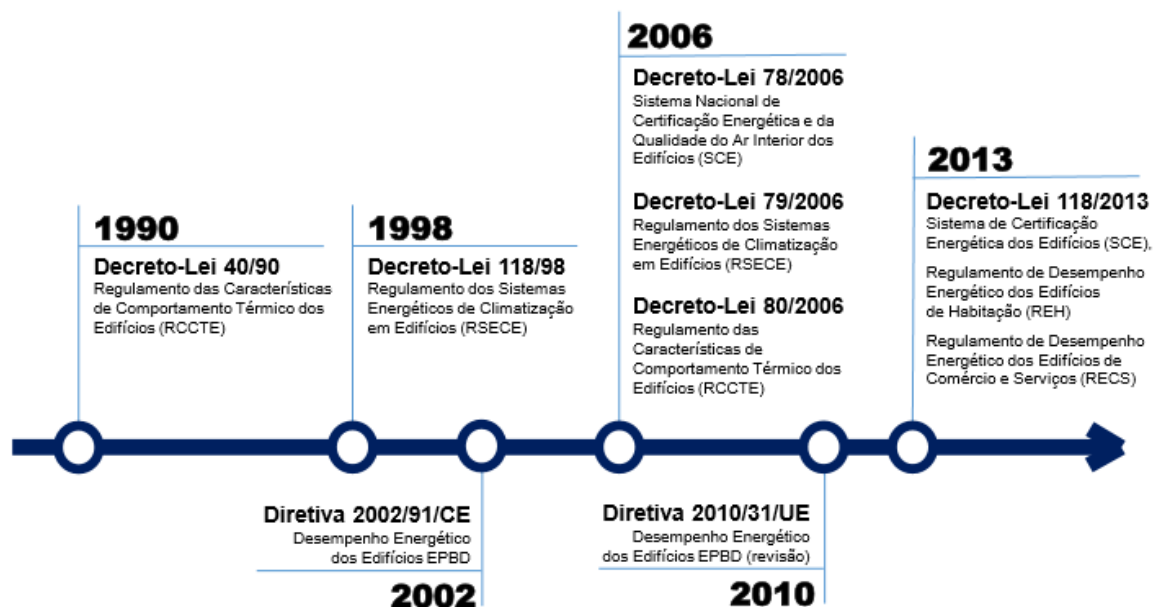


Figura 2-1 – Cronologia da Legislação Portuguesa (fonte: "Encontro 2013" - ADENE)

Como se pode verificar, no ano de 1990 foram tomadas as primeiras medidas, com a introdução da primeira base regulamentar, numa tentativa de aproximação às políticas energéticas presentes à data na UE. Através da publicação do Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro, foi aprovado o Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). O documento em causa, surge com o principal intuito de ser “um instrumento de conservação de energia nos edifícios através da promoção generalizada da melhoria das condições de conforto sem acréscimo do consumo de energia, ou da satisfação rigorosa das condições de conforto” (Ministério da Obras Públicas Transportes e Comunicação, 1990). Introduziu, primeiramente, conceitos como, os requisitos mínimos de qualidade dos elementos construtivos da envolvente dos edifícios, valores de referência para as necessidades de arrefecimento e aquecimento, e definiu as diferentes zonas climáticas para as estações de aquecimento e arrefecimento.

Com a realização daquele documento, desenvolveu-se um pilar muito importante no quadro dos edifícios, através da introdução da prática de aplicação de isolamento térmico e de vidro duplo para alguns cenários, se bem que limitado, visto não existirem referências a pontes térmicas, vãos envidraçados, caixilhos e ao contributo da ventilação, entre outros fatores importantes.

No ano de 1992, através do Decreto-Lei 156/92, de 27 de julho, surgiu a primeira regulamentação com a identificação de requisitos térmicos a introduzir em sistemas energéticos (VAC) para edifícios destinados a comércio e serviços. O Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE), tinha como principal intuito regulamentar as circunstâncias em que ficavam definidas as dimensões e o processo de instalação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado de forma a garantir a sua qualidade e a utilização responsável da energia.

Nunca tendo sido aplicado, o documento acabou por ser revogado pela Comissão Europeia, devido às suas várias deficiências e à falta de notificação por parte da mesma. Assim, deu-se início a um processo de revisão, com o objetivo de serem apresentadas as necessárias correções para garantir a concordância comunitária.

Mais tarde, foi realizada a revisão do RQSECE, através da publicação do Decreto-Lei 118/98, de 7 de maio, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este novo documento surgiu com o objetivo de garantir que o dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos, cumpria as exigências de conforto térmico e qualidade do ambiente em condições de eficiência energética, e garantia a qualidade e segurança das instalações.

Em direção oposta à primeira iniciativa regulamentar, o novo regulamento apresentou alterações com um impacto significativo. Nestas alterações evidenciaram-se as exigências técnicas impostas aos sistemas de climatização, o método de verificação, assim como, em torno do seu licenciamento, responsabilidade e sanções. Todavia, apesar da significativa evolução face ao anterior documento, persistiram lacunas e deficiências, como o estabelecimento de um limite de potência a instalar em vez do balizamento dos consumos através de valores de referência, baixos rendimentos mínimos exigidos para as caldeiras e a omissão do método de cálculo de cargas térmicas.

Perante o novo século e no prosseguimento do Protocolo de Quioto, para respeitar as novas metas delineadas foi necessário alterar a estratégia aplicada até então. Com recurso ao PEAC - Programa Europeu para as Alterações Climáticas (2000), foi concebido o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de julho. Este diploma permitiu concretizar a busca na quantificação do esforço na redução das emissões, procurando identificar responsáveis setoriais e apresentando um grupo de políticas e medidas que permitissem alcançar as metas traçadas. No período de emissão do documento, o setor da construção era o principal responsável pelo crescente aumento das emissões de gases de efeitos de estufa.

Com outro intento, no ano de 2005, surgiu a Estratégia Nacional para a Energia (ENE), aprovada através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de outubro. Este plano, mais vasto nas suas ações, foi realizado com o intuito de reduzir a dependência energética através da variação de recursos primários e da promoção da eficiência energética; minorar o impacto ambiental ao longo dos processos energéticos; despertar e apoiar a concorrência do mercado energético de forma a promover a defesa do consumidor final.

Considerando que, em Portugal, cerca de 60% do consumo energético é efetuado por edifícios, uma das medidas aplicadas implicava a aprovação de legislação sobre eficiência energética em edifícios, respeitando assim a transposição da diretiva europeia.

No ano seguinte, concluiu-se que o proposto no PNAC de 2004 necessitaria de mecanismos que permitissem a concretização dos objetivos traçados, sob pena de implicar um desvio face aos objetivos acordados na assinatura do Protocolo de Quioto. Todo esse processo, gerou a aplicação do novo Programa Nacional para as Alterações Climáticas, aprovado em Conselho de Ministros n.º 104/2006. O novo programa elucidou a necessidade de produzir planos de atuação para cada medida de melhoria da eficiência energética, que detalhassem as ações a implementar e respetiva calendarização; os meios necessários; as consequências esperadas; e a entidade responsável pelo acompanhamento e cumprimento das metas propostas.

No mesmo período, transpondo parcialmente a Diretiva 2002/91/CE ou a *Energy Performance in Buildings Directive* (EPBD), o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril, aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). Com a implementação deste sistema, surgiu a necessidade de efetuar a certificação energética dos imóveis, com o intuito de resumir num documento, o “Certificado Energético”, toda a informação pertinente relativa ao desempenho energético de uma fração autónoma. O certificado energético é obrigatório para os casos de construção nova, venda ou arrendamento de imóveis ou frações existentes, assim como nos anúncios tornados públicos, em particular, pelas agências imobiliárias.

Durante o mesmo processo, surgiu o Decreto-Lei n.º 79/2006, apoiado no RSECE, que alterou a sua denominação para Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios. Com a necessidade de reforçar medidas, procedeu-se a revisão de forma a compatibilizar a legislação com a norma comunitária em vigor.

As alterações ao regulamento, tornaram as fases de projeto, de utilização e manutenção mais rigorosas. Foram também definidos limites ao consumo por tipologia, de sistemas de climatização, entre outros sistemas energéticos dos edifícios.

Para os sistemas de AVAC, a manutenção passou a ser periódica e obrigatória, assim como os mecanismos de auditorias para algumas tipologias de edifícios e sistemas. Foram tornadas vantajosas as soluções do ponto de vista energético mais eficientes, como os sistemas baseados em energias renováveis. Foram impostas delimitações ao aquecimento por efeito de joule (aquecimento por meio de resistência elétrica), instituídos requisitos mínimos de eficiência para bombas de calor e ventiladores, referentes à qualidade do ar interior e ao conforto térmico. Com a necessidade de interligar os requisitos térmicos em projetos novos ou projetos de reabilitação, o documento em causa, encontrava-se relacionado com o RCCTE, pelo Decreto-Lei 80/2006.

O Decreto-Lei 80/2006, reviu o RCCTE de forma a considerar de forma mais realista os consumos de energia devido a uma introdução significativa dos equipamentos de climatização, evoluído na direção de maiores exigências de isolamento térmico dos edifícios. Aplicável em projetos novos e em remodelações, permitia a exclusão da reabilitação de edifícios em zonas históricas e edifícios classificados.

Embora se registre que os valores de referência estipulados para o consumo fossem ambiciosos e de difícil concretização, e a inexistência de valores de referência para sistemas como a iluminação de edifícios, apesar da diminuição do consumo energético, estas alterações revelaram-se importantes pela capacidade de alteração de mentalidades e comportamentos de projetistas, construtores, instaladores e utilizadores dos diversos sistemas.

No ano de 2007, com o objetivo de patrocinar financeiramente as iniciativas e ações que incentivassem à eficiência energética e à redução de consumos de eletricidade, iniciou-se a promoção por parte da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) do Plano de Promoção da Eficiência Energética (PPEC).

Ao longo das edições deste plano, verificou-se uma forte disponibilidade para a adesão aos apoios financeiros, o que levou a serem apenas financiadas as ações com maior impacto de acordo com as normas de apreciação do documento.

As iniciativas e setores com maior destaque no plano foram: “a mudança do tipo de iluminação para soluções mais eficientes como LED, medidas para a correção do fator de potência, instalação de variadores de velocidade para motores, formações, auditorias, etc.” (ERSE, 2017).

Todavia como consequência da implementação da Estratégia Nacional Energética (ENE) e do novo Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) foi concebido o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), tendo como base a

Diretiva Europeia n.º 2006/32/CE. Aprovado em Conselho de Ministro n.º 80/2008, de 20 de maio de 2008, tinha como objetivo a aplicação de medidas de melhoria de eficiência energética, respeitando o estabelecido como norma comunitária.

O Plano insidia maioritariamente sobre quatro setores: os transportes, o residencial e serviços, indústria e edificado do estado. Perante o setor residencial e serviços – o mais interessante para o desenvolvimento do presente trabalho – desenvolveram-se três programas: o Programa Renove Casa, o Programa de Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios e o Programa Renováveis Hora. O primeiro programa, elucidava quanto às medidas relacionadas com a eficiência energética dos sistemas de iluminação, eletrodomésticos e outros equipamentos de consumo relevante. O segundo apresentava ações afetas à área da certificação energética, tais como a seleção de isolamentos, o melhoramento de vãos envidraçados e sistemas energéticos do ponto de vista de equipamento e gestão. Por fim, o Programa Renováveis na Hora, estimulou a instalação de sistemas com recurso a energia renováveis, em especial de sistemas solares térmicos e de sistemas fotovoltaicos, sendo que neste caso era obrigatório instalar, também, um equipamento solar térmico.

Também no decorrer do ano de 2010, foi ajustada e atualizada a estratégia energética europeia para o ano 2020, com a aprovação da Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010.

Com a aplicação destas e outras medidas, segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, foi possível potenciar uma poupança de 1 501 305 tep ou toneladas equivalentes a petróleo. Este valor alcançado corresponde a cerca de 49% do previsto alcançar no ano de 2016. Do qual, 36.62% foram afetos ao plano que acautela sobre o setor residencial e serviços, comprovando a margem existente para a poupança energética em edifícios. (Ministério da Obras Públicas Transportes e Comunicação, 2013)

A nova estratégia energética para 2020 surgiu com os objetivos de reduzir a dependência energética de Portugal; garantir o cumprimento das metas traçadas no Pacote Energia-Clima 20-20-20; colocar o País no comboio da frente tecnológica das energias renováveis, através do aumento de produção e exportação de energia. Para tal a estratégia desenvolveu-se em cinco frentes distintas. Essas frentes assentaram na “competitividade, crescimento e independência energética; aposta nas energias renováveis; promoção da eficiência energética; garantia da segurança de abastecimento; sustentabilidade económica e ambiental” (Conselho de Ministros, 2010). Conjuntamente, através do Decreto-Lei n.º 50/2010, de 20 de maio, foi desenvolvido o Fundo de Eficiência Energética

com o intuito de apoiar os programas do PNAEE, os projetos de eficiência energética e promover alterações de comportamentos no uso dos edifícios.

Ainda no percurso do ano de 2010, evidenciou-se a necessidade de reformular a Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro. Para tal, foi publicada a Diretiva 2010/31/EU, de 19 de maio, com o principal intuito de “simplificar, clarificar e reforçar determinadas disposições, e tem por objetivo o aproveitamento do potencial de redução do custo operacional dos edifícios e o aumento da eficiência energética” (Zabalza Bribian & Aranda Usón, 2011).

A reforma procurou similarmente reduzir as emissões de gases de efeito de estufa em cerca de 20%, face aos valores obtidos na execução da diretiva anterior. Este objetivo surgiu com a intenção de reduzir o consumo de energia dos edifícios, ao aplicar medidas como a:

- Redução da dependência energética do exterior;
- Redução das emissões de gases de efeito de estufa;
- Redução do custo da energia ao consumidor final;
- Incremento da qualidade habitacional dos edifícios;
- Apoio ao progresso sustentável.

As medidas apresentadas na revisão, visaram principalmente o desempenho energético dos edifícios de forma individual. Atendendo às diferentes características climáticas dos países da UE, o Comité Europeu não apresentou medidas globais, imputando aos Estados-Membros a definição da regulamentação mais adequada a cada estado, assim como a respetiva metodologia de cálculo, de forma a garantir a transposição da Diretiva. No âmbito nacional, a transposição da Diretiva concretizou-se com a aprovação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.

Em Portugal, a regulamentação técnica e a legislação em vigor já suportavam muitos dos novos requisitos. No entanto, foram consideradas evoluções, das quais se destaca a introdução e promoção do conceito de NZEB.

Proveniente desse novo conceito, de edifícios com necessidade nula ou quase nula de energia, associa-se o requisito em que todos os novos edifícios públicos a partir do ano de 2019, e todos os restantes a partir de 2021, devem ser edifícios NZEB. Outro requisito

não menos importante, é a elaboração de planos nacionais de ação e incentivo ao incremento de edifícios de índole NZEB, tal como à transformação do parque edificado.

Posteriormente, sob o desígnio do Decreto-Lei 28/2016, de 23 de junho, procedeu-se à 4ª alteração e à republicação do Decreto-Lei 118/2013, de 20 de agosto, onde se procedeu à conclusão da transposição para a legislação nacional da Diretiva Europeia 2010/31/EU, de 19 de maio, após as dúvidas levantadas pela Comissão Europeia após as alterações realizadas durante 2015.

O diploma melhorou a redação que enquadra a definição relativa aos edifícios com as necessidades quase nulas de energia, de forma a tornar explícita a prevalência da prioridade de redução das necessidades de energia dos edifícios sobre o recurso a energia proveniente de fontes renováveis, independente do seu local de produção, destinada a suprir ou atenuar significativamente essas necessidades. (“Desempenho energético dos edifícios (SCE) – Alterado DL 118\_2013 - Apcmc,” n.d.).

Já em 2019, a publicação da Portaria n.º 42/2019, de 30 de janeiro em Diário da República, veio definir os requisitos dos sistemas técnicos dos edifícios sujeitos a intervenção e dos edifícios existentes. No imediato as indicações a seguir aplicam-se aos edifícios de serviços e comerciais.

Este documento altera a Portaria n.º 17-A/2016, recaindo sobre os parâmetros que possibilitam uma aproximação ao desejado com norma europeia, no que se refere aos edifícios NZEB.

Ao dia 2 de abril de 2019, foi publicado no Diário da República, I Série, a Portaria n.º 98/2019, de 2 de abril, que procedeu a nova alteração da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro. Esta alteração procede à definição de edifício NZEB, aplicável no âmbito do ordenamento jurídico nacional, como edifício com necessidades energéticas quase nulas, que apresenta um elevado desempenho energético. Adaptando respetivamente as exigências legais e regulamentares estabelecidas no REH, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.

O novo diploma, através do art.º 16, prevê um conjunto de disposições relativas aos edifícios NZEB, determinando que o parque edificado deve progressivamente ser composto por edifícios NZEB, com vista a implementação e execução de um plano nacional de reabilitação do parque de edifícios existentes, e enquadrando a definição nacional de edifício NZEB (Portaria\_nº98/2019, 2019).

## 2.4. Requisitos para cálculo das necessidades de energia nominal

Os edifícios abrangidos pelo SCE encontram-se sujeitos a requisitos tendo em vista a promoção da melhoria do seu comportamento térmico, a prevenção de patologias, a qualidade do ar interior e conforto ambiente, incidindo para esse intuito nas características da envolvente opaca e envidraçada, assim como os sistemas técnicos, que devem ser avaliados e sujeitos a requisitos, tendo sempre em vista a promoção e a utilização eficiente da energia (Manuel & Fitas, 2014).

Desde modo, constatando o enorme potencial de poupança de energia nos edifícios, são estudadas medidas capazes de melhorar o desempenho energético que tenham não apenas em consideração as condições climáticas locais e do ambiente interior, mas igualmente a promoção do equilíbrio dos sistemas aplicados.

### 2.4.1. Zonamento climático

De modo a definir as exigências de comportamento térmico dos elementos opacos da envolvente dos edifícios e dos vãos envidraçados, com base nas Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, o país foi dividido em zonas climáticas de verão V1, V2 e V3, e zonas climáticas de inverno, I1, I2 e I3. As diferentes zonas térmicas dependem dos valores dos graus dia, GD, para a estação de aquecimento, e dos valores da temperatura exterior média exterior,  $\theta_{ext,v}$ , para a estação de arrefecimento.

### 2.4.2. Requisitos da envolvente

De acordo com o pré-estabelecido no ponto 2 da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, alterada pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, os valores máximos e admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica superficiais de elementos opacos (Tabela 1 e Tabela 2), pontes térmicas planas, como pilares, vigas e caixas de estores, e para o fator solar global dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção 100% ativados ( $g_{Tmáx}$ ) são os indicados na Tabela 3. Os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica superficiais são iguais aos valores máximos.

Tabela 1 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica para Portugal Continental (fonte: Portaria n.º 349-A/2015)

$U_{ref}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 1 de janeiro de 2016		
		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	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,40	0,35	0,30
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}<0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,60	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		

Tabela 2 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica para Regiões Autónomas (fonte: Portaria n.º 349-A/2015)

Zona corrente da envolvente:		Regiões Autónomas					
		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 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	0,70	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 $b_{tr}<0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	0,90	0,80	0,70
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,70	0,70	0,60
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		

Tabela 3 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

$g_{T\text{máx}}$	Zona climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Os vãos envidraçados, cujo somatório de áreas seja superior a 5% da área útil do compartimento que serve e não esteja orientado no quadrante Norte, entre Nordeste e Noroeste, deverão ter um fator solar global do vão envidraçado com dispositivos de proteção 100% ativados ( $g_{T\text{máx}}$ ), cumprindo com as condições expressas nas equações (1) e (2).

1. Soma da área dos vãos envidraçados  $\leq$  15% da área útil:

$$g_{T\text{máx}} \times F_0 \times F_f \leq g_{\text{máx}} \quad (1)$$

2. Soma da área dos vãos envidraçados  $>$  15% da área útil:

$$g_{T\text{máx}} \times F_0 \times F_f \leq g_{\text{máx}} \times \left( \frac{0.15}{\frac{A_{\text{env}}}{A_{\text{eve}}}} \right) \quad (2)$$

#### 2.4.3. Requisitos de renovação de ar

A renovação do ar pode ser feita por ventilação natural, por ventilação mecânica, sendo o valor de Rph o indicado no projeto quando se cumpram os requisitos da norma NP 1037. Nos casos não abrangidos pela NP 1037, em sistemas mecânicos e híbridos, para o cálculo de Rph pode utilizar-se a metodologia da norma EN 15242, ou outra tecnicamente adequada.

#### 2.4.4. Requisitos dos sistemas técnicos

Para realizar a instalação de sistemas técnicos em edifícios de habitação e comércio, deverão ser acatados os seguintes requisitos:

- i. Todas as instalações de climatização com potência térmica nominal global superior a 25 kW devem ser alvo da elaboração de projeto de AVAC, dotado de todos os elementos especiais de execução apresentados na 44.º da Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de julho.
- ii. As redes de transporte e distribuição de fluidos térmicos, assim com os seus sistemas de acumulação, em sistemas de climatização e/ou preparação de Águas Quentes e Sanitárias (AQS), deverão respeitar os requisitos de conceção aplicáveis definidos nas Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 (Manuel & Fitas, 2014);

Tabela 4 - Espessuras mínimas de isolamento de tubagens (mm) (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Diâmetro (mm)	Fluido interior quente				Fluido interior frio			
	Temperatura do fluido (°C)				Temperatura do fluido (°C)			
	40 a 65 (1)	66 a 100	101 a 150	151 a 200	-20 a -10	-9,9 a 0	0,1 a 10	> 10
D ≤ 35	20	20	30	40	40	30	20	20
35 < D ≤ 60	20	30	40	40	50	40	30	20
60 < D ≤ 90	30	30	40	50	50	40	30	30
90 < D ≤ 140	30	40	50	50	60	50	40	30
D > 140	30	40	50	60	60	50	40	30

(1) Para efeitos de isolamento das redes de distribuição de água quente sanitária (redes de sistemas secundários sem recirculação), pode-se considerar um valor não inferior a 10mm.

Tabela 5 - Espessuras mínimas de isolamento para condutas (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

	Condutas e acessórios	
	Ar quente	Ar frio
Espessura (mm)	20	30

Tabela 6 - Espessuras mínimas de isolamento para equipamentos e depósitos (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

	Equipamentos <sup>(1)</sup> e depósitos de acumulação ou de inércia dos sistemas de climatização e AQS	
	Superfície ≤ 2 m <sup>2</sup>	Superfície > 2 m <sup>2</sup>
Espessura (mm)	50	80

(1) Para unidades de tratamento de ar e termoventiladores com baterias de aquecimento/arrefecimento, a espessura mínima de isolamento deve ser de 50mm, podendo ter espessura mínima de isolamento de 25mm para caudais inferiores a 1500 m<sup>3</sup>/h se a sua instalação for em espaço interior coberto e não fortemente ventilado.

- iii. As espessuras de isolamentos apresentadas serão apenas válidas quando se registre no mínimo uma condutibilidade térmica de  $0,04 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  a  $20^\circ\text{C}$ , tendo em consideração que para materiais de condutibilidade térmica díspar, a espessura mínima enquanto requisito deverá ser alvo de correção, com o intuito de assegurar a mesma resistência térmica (Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, 2015).
- iv. Os equipamentos de climatização deverão estar devidamente munidos com mecanismos de controlo e regulação que garantam, no mínimo, o balizamento dos valores máximos e mínimos da temperatura do ar no interior, de acordo com o adequado para qualquer espaço ou conjunto de espaços alvo de climatização (Manuel & Fitas, 2014).
- v. Os mesmos sistemas, com potência térmica nominal igual ou superior a 50 kW, deverão igualmente, possuir sistemas de verificação e regulação que proporcionem as seguintes ações:
  - a) Regulação da potência de aquecimento e de arrefecimento dos equipamentos às necessidades térmicas do edifício ou espaços climatizados;
  - b) Possibilidade de controlo do sistema de climatização por espaço ou grupo de espaços, em período de não ocupação;
  - c) Possibilidade de parametrização de horários de funcionamento.
- vi. Os equipamentos técnicos deverão possuir marcação CE e estar devidamente identificados quanto ao seu desempenho energético ou das características técnicas que possam delinear ou afetar esse desempenho. A caracterização deve ser informada sob forma de uma etiqueta energética, segundo o sistema de etiquetagem em vigor, sob:
  - a) A Diretiva Europeia ou legislação nacional;
  - b) O reconhecimento formal pelo SCE como sistema produzido para o efeito e de acordo com o Despacho do Diretor-geral de Energia e Geologia;

- vii. Para a análise do disposto no ponto i) e em situações cujo aquecimento é garantido por uma caldeira mista, a potência térmica nominal que indica o limite de sujeição ao projeto de AVAC é a potência consagrada ao aquecimento. Este dado pode ser igualmente certificado através das especificações dos equipamentos.

De acordo com o instruído no ponto 4 da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, alterada através da Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, os sistemas técnicos a instalar devem respeitar os seguintes requisitos mínimos de eficiência:

- i. Os sistemas de ar condicionado, bombas de calor com ciclo reversível e *chillers* de arrefecimento, devem ter como classe mínima a classe B, em função da sua caracterização através da certificação *Eurovent*;
- ii. Para os sistemas que não se enquadrem na categoria disputada no ponto anterior, mas que por via do seu desempenho energético tenham sofrido validação sob o mesmo referencial normativo, aplica-se o requisito equipolente, em termos de EER e COP, que traduz o delineado na Tabela 7, tendo como base o menor valor do intervalo previsto na matriz de classificação conforme a Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11;

*Tabela 7 - Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica  
(fonte: Portaria n.º 349-B/2013)*

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Split, multissplit, VRF e compacto	C	B
Unidades do tipo <i>Rooftop</i>		
Unidades do tipo <i>Chiller</i> de compressão (Bomba de calor)		

Tabela 8 - Classificação do desempenho de unidades split, multis-split, VRF e compactas, com permuta ar-ar (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas
A	EER > 3,20	EER > 3,00	COP > 3,60	COP > 3,40
B	3,20 ≥ EER > 3,00	3,00 ≥ EER > 2,80	3,60 ≥ COP > 3,40	3,40 ≥ COP > 3,20
C	3,00 ≥ EER > 2,80	2,80 ≥ EER > 2,60	3,40 ≥ COP > 3,20	3,20 ≥ COP > 3,00
D	2,80 ≥ EER > 2,60	2,60 ≥ EER > 2,40	3,20 ≥ COP > 2,80	3,00 ≥ COP > 2,60
E	2,60 ≥ EER > 2,40	2,40 ≥ EER > 2,20	2,80 ≥ COP > 2,60	2,60 ≥ COP > 2,40
F	2,40 ≥ EER > 2,20	2,20 ≥ EER > 2,00	2,60 ≥ COP > 2,40	2,40 ≥ COP > 2,20
G	EER ≤ 2,20	EER ≤ 2,00	COP ≤ 2,40	COP ≤ 2,20

Tabela 9 - Classificação do desempenho de unidades split, multis-split e compactas, com permuta ar-água (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a água			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split e multissplit	Unidades compactas	Unidades split e multissplit	Unidades compactas
A	EER > 3,60	EER > 4,40	COP > 4,00	COP > 4,70
B	3,60 ≥ EER > 3,30	4,40 ≥ EER > 4,10	4,00 ≥ COP > 3,70	4,70 ≥ COP > 4,40
C	3,30 ≥ EER > 3,10	4,10 ≥ EER > 3,80	3,70 ≥ COP > 3,40	4,40 ≥ COP > 4,10
D	3,10 ≥ EER > 2,80	3,80 ≥ EER > 3,50	3,40 ≥ COP > 3,10	4,10 ≥ COP > 3,80
E	2,80 ≥ EER > 2,50	3,50 ≥ EER > 3,20	3,10 ≥ COP > 2,80	3,80 ≥ COP > 3,50
F	2,50 ≥ EER > 2,20	3,20 ≥ EER > 2,90	2,80 ≥ COP > 2,50	3,50 ≥ COP > 3,20
G	EER ≤ 2,20	EER ≤ 2,90	COP ≤ 2,50	COP ≤ 3,20

Tabela 10 - Classificação do desempenho de unidades do tipo Rooftop (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	EER > 3,00	COP > 3,40	EER > 4,40	COP > 4,70
B	3,00 ≥ EER > 2,80	3,40 ≥ COP > 3,20	4,40 ≥ EER > 4,10	4,70 ≥ COP > 4,40
C	2,80 ≥ EER > 2,60	3,20 ≥ COP > 3,00	4,10 ≥ EER > 3,80	4,40 ≥ COP > 4,10
D	2,60 ≥ EER > 2,40	3,00 ≥ COP > 2,60	3,80 ≥ EER > 3,50	4,10 ≥ COP > 3,80
E	2,40 ≥ EER > 2,20	2,60 ≥ COP > 2,40	3,50 ≥ EER > 3,20	3,80 ≥ COP > 3,50
F	2,20 ≥ EER > 2,00	2,40 ≥ COP > 2,20	3,20 ≥ EER > 2,90	3,50 ≥ COP > 3,20
G	EER ≤ 2,00	COP ≤ 2,20	EER ≤ 2,90	EER ≤ 3,20

Tabela 11 - Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de compressão (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$EER \geq 3,1$	$COP \geq 3,2$	$EER \geq 5,05$	$COP \geq 4,45$
B	$3,1 > EER \geq 2,9$	$3,2 > COP \geq 3,0$	$5,05 > EER \geq 4,65$	$4,45 > COP \geq 4,15$
C	$2,9 > EER \geq 2,7$	$3,0 > COP \geq 2,8$	$4,65 > EER \geq 4,25$	$4,15 > COP \geq 3,85$
D	$2,7 > EER \geq 2,5$	$2,8 > COP \geq 2,6$	$4,25 > EER \geq 3,85$	$3,85 > COP \geq 3,55$
E	$2,5 > EER \geq 2,3$	$2,6 > COP \geq 2,4$	$3,85 > EER \geq 3,45$	$3,55 > COP \geq 3,25$
F	$2,3 > EER \geq 2,1$	$2,4 > COP \geq 2,2$	$3,45 > EER \geq 3,05$	$3,25 > COP \geq 2,95$
G	$EER < 2,1$	$COP < 2,2$	$EER < 3,05$	$COP < 2,95$

- iii. As caldeiras com funcionamento a combustível líquido ou gasoso deverão ser no mínimo de classe energética A. Tal como esquentadores a gás, o seu rendimento encontra-se exposto na Tabela 12;

Tabela 12 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal ( $\eta$ )
	Caldeiras	A++ (1)
A+ (2)		$96\% \geq \eta > 92\%$
A		$92\% \geq \eta > 89\%$
B		$89\% \geq \eta > 86\%$
C		$86\% \geq \eta > 83\%$
D		$83\% \geq \eta > 80\%$
E		$80\% \geq \eta > 77\%$
F		$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82$
	$> 10\text{ kW}$	$\geq 0,84$

- iv. As bombas de calor com função de climatização e águas quentes sanitárias, deverão possuir certificado “*European Quality Label for Heat Pumps*”, ou deter o seu desempenho validado através do mesmo referencial normativo, EN 14511, com um COP mínimo de 2,3;
- v. Para equipamento com função exclusiva de AQS, o seu desempenho deverá ser delineado segundo a EN 16147, sendo igualmente caracterizado por um COP mínimo de 2,3;

- vi. Em equipamentos de AQS que recorram a termoacumuladores elétricos, deverão respeitar os requisitos transcritos na Tabela 13, ou outros previstos em diretivas europeias do segmento. A eficiência dos mesmos deverá ser obtida em função das perdas estáticas do equipamento  $Q_{pr}$ , definida segundo a EN 60739 ou outro documento legislativo ou normativa europeia, determinada de acordo com a Tabela 13:

Tabela 13 - Valores de eficiência de termoacumuladores em função de  $Q_{pr}$  (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Intervalos de $Q_{pr}$ [kWh/24h]	Eficiência
$Q_{pr} < 1$	0,97
$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0,95
$Q_{pr} \geq 1,5$	0,93

- vii. Para os ensaios referentes à avaliação de desempenho pelo referencial normativo aplicável, relativos aos pontos i., ii., v., e vi., deverão ser efetuados por uma entidade acreditada para o efeito e devidamente comprovados em relatório da especialidade.

#### 2.4.5. Requisitos dos sistemas de produção de energia renovável

Os equipamentos e sistemas a aplicar em edifícios de habitação e comércio deverão respeitar os seguintes requisitos de eficiência, qualidade e manutenção:

- i. Os sistemas de coletores solares térmicos deverão proporcionar uma quota de energia renovável igual ou superior à do sistema previsto, fundamentado em coletores solares modelo com as características no ponto 5 da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, posteriormente alterada pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro;
- ii. Caldeiras, salamandras e recuperadores de calor que utilizem biomassa como combustível sólido, deverão respeitar os requisitos mínimos de eficiência presentes na Tabela 14:

Tabela 14 - Eficiência mínima aplicável a caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa  
(fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

Equipamento		Eficiência	Norma/Referência Aplicável
Caldeira a combustível sólido	Lenha	$\geq 0,75$	EN12809
	Granulados	$\geq 0,85$	
Recuperadores de calor e salamandras		$\geq 0,75$	EN13229 EN13240 EN14785

- iii. Todas as instalações devem ser dotadas de sistemas e/ou coletores certificados de acordo com as Normas EN 12976 e EN 12975, respetivamente;
- iv. Nas situações em que as instalações têm uma área de captação superior a 20m<sup>2</sup>, o projeto de execução da especialidade deverá ser realizado sob as especificações da Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de julho;
- v. Em situações, cujo sistema solar se encontre equipado com resistência de apoio elétrico no interior do depósito de armazenamento, o mesmo deverá possuir a instalação de um relógio programável e facilmente acessível, com o intuito da resistência usar durante o dia, a energia recolhida pelo coletor solar.

De forma geral, para todas as tipologias de sistemas e equipamentos, cujo rendimento seja proveniente de energias renováveis, deverão ser respeitados os seguintes pontos:

- I. Honrar os requisitos de projetos e de qualidade dos equipamentos e demais componentes extensíveis à legislação, regulamentação, normativa portuguesa e europeia em vigor (ADENE, 2012);
- II. A instalação deverá ser realizada por um instalador credenciado no campo dos sistemas de classificação ou acreditação, segundo (ADENE, 2012):
  - a) Diretiva Europeia ou Nacional;
  - b) Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

- III. Realizado o registo da instalação e respetiva manutenção numa base de dados gerida pela entidade gestora do SCE, sob condições a extrapolar em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia (ADENE, 2012).

#### 2.4.6. Indicadores de Referência

Segundo o transcrito na Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, os requisitos e valores de referência a considerar na conceção de edifícios de habitação novos e existentes alvo de intervenções profundas à emissão dos pré-certificados e certificados SCE, segundo o previsto pelo artigo 3º do DL n.º 118/2013, de 20 de agosto, posteriormente alterado pelo DL n.º 68-A/2015, de 30 de abril, são evolutivos e a sua aplicação está definida na Tabela 15.

Tabela 15 - Requisitos e valores de referência a considerar em função do contexto do edifício e data do início do processo de licenciamento ou autorização de edificação (fonte: Portaria n.º 379-A/2015)

		Contexto e Requisitos Aplicáveis aos Edifícios						
		Data da aplicação do requisito e/ou referência						
		Edifícios Novos		Edifícios sujeitos a intervenções		Edifícios existentes		
		A partir 1 de dezembro 2013	A partir 31 de dezembro 2015	A partir 1 de dezembro 2013	A partir 31 de dezembro 2015	A partir 1 de dezembro 2013	A partir 31 de dezembro 2015	
Data do início do licenciamento ou autorização de edificação	Anterior a 1 de dezembro de 2013	... e certificados SCE emitidos até 31 de dezembro 2015	NA	NA	NA	NA	✓	NA
		... e certificados SCE emitidos a partir de 31 de dezembro 2015	NA	NA	NA	NA	NA	✓
	Posterior a 1 de dezembro de 2013 e anterior a 31 de dezembro de 2015		✓	NA	✓	NA	✓	NA
	A partir de 31 de dezembro de 2015		NA	✓	NA	✓	NA	✓

NA-Não aplicável

### **3. Estratégias de implementação**

Durante a conceção de um edifício NZEB, a adoção de diferentes estratégias pode influenciar de forma significativa o desempenho do imóvel em termos de conforto térmico no seu interior. Caso o edifício não se encontre corretamente adaptado ao clima, será necessário despende de um maior consumo de energia para obter as condições de conforto térmico, o que pode levar ao incumprimento dos requisitos nominais de energia identificados.

Neste capítulo, de forma resumida, identificam-se e caracterizam-se as tecnologias e soluções construtivas passivas e ativas, mais eficientes, que permitam a diminuição dos consumos energéticos, e o incremento da qualidade térmica e salubridade interior.

Assim, as diferentes estratégias a seguir referidas, podem, ou devem ser aplicadas tendo em atenção as condições climáticas da localidade e a sua interação com o clima, procurando harmonizar o edifício com o clima.

As estratégias utilizadas no desenvolvimento do projeto de edifícios com abordagem baseada nos conceitos da Arquitetura bioclimática são de cumprimento obrigatório e, por isso, se apresentam de forma resumida nos pontos seguintes.

No desenvolvimento do trabalho, em geral, optou-se por soluções e tecnologias da arquitetura bioclimática e, só excepcionalmente, se utilizaram sistemas ativos consumidores de energia primária.

#### **3.1. Arquitetura bioclimática**

A arquitetura bioclimática consiste no desenvolvimento do projeto de edifícios, considerando o clima e a envolvente do local onde o edifício é inserido e preferencialmente, utilizando soluções da arquitetura tradicional, com a eventual incorporação de soluções tecnologicamente mais eficientes em termos energéticos. A arquitetura bioclimática aproveita os recursos naturais disponíveis (luz solar, água, vegetação e vento), com o intuito de reduzir o impacto ambiental negativo associado ao

sector da construção, com o objetivo principal de promover a eficiência energética e o conforto térmico.

O estudo da arquitetura bioclimática visa também promover o desenvolvimento de técnicas e equipamentos necessários à melhoria da eficiência energética nas edificações, mas o fator predominante é o aproveitamento da energia proveniente do sol, seja sob a forma de calor, quando utilizada para aquecimento de água, seja sob a forma de luz, em que pode ser melhor aproveitada com o objetivo de reduzir o uso de iluminação artificial (Faria, 2016).

São quatro os princípios básicos da Arquitetura Bioclimática (Faria, 2016):

- Aproveitamento de Radiação Solar;
- Vantagem de Iluminação natural;
- Benefício de Ventilação;
- Rendimento de Geometria solar.

A estratégia em torno da aplicação de um projeto bioclimático é mais eficaz para edifícios com menor área de envolvente em relação às áreas interiores, uma vez que fornecem uma parte da energia necessária para manter as condições de conforto.

A eficácia desta metodologia é também promovida através da aplicação de conceitos que recaem sobre alguns aspetos do edifício, como (H. Gonçalves & Graça, 2004):

- Localização e orientação;
- Layout interior, distribuição dos espaços;
- Fator de forma;
- Caixilharia e atributos dos envidraçados;
- Proteção solar;
- Inércia térmica dos elementos expostos.

E através da melhoria do desempenho térmico de elementos, sob o fenómeno de radiação, aquecimento e movimentação do ar, denominados por “sistemas passivos” pois não necessitam de fontes de energia não renovável.

Em suma, a arquitetura bioclimática, é um “exercício” onde se procura obter um elevado nível de conforto térmico, considerando as condições climatéricas e ambientais no auxílio ao desenvolvimento do projeto, na definição da sua geometria, na orientação e na adaptação do edifício às condições locais, permitindo, assim, preservar os recursos e maximizar a eficiência energética.

### 3.1.1. Orientação e Layout

Tendo como premissa a principal fonte de aquecimento passivo, a energia calorífica procedente do sol, é desejável que o projeto de arquitetura preveja a implantação do edifício que em termos de orientação, possa beneficiar o mais possível deste recurso natural. Igualmente importante, o vento, é um recurso natural que pode influenciar a escolha da orientação tida para o edifício. A sua velocidade, intensidade e frequência são alguns dos aspetos a considerar na busca da solução mais adequada. Em suma, é dada à otimização dos ganhos solares em épocas frias e à redução do impacto dos raios solares em épocas quentes.

A forma de realizar a interação com os fluxos de ar, qualidade de luz e calor, pode influenciar de forma decisiva o conforto e o desempenho energético do edifício. Com a aplicação dessas otimizações é possível regular as perdas térmicas dos edifícios, reduzindo em concordância, a quantidade de saliências ou reentrâncias no design do edifício.

Em Portugal, a orientação a sul proporciona a otimização dos ganhos solares durante todo o ano. Esta orientação, permite também tirar partido da grande variação dos ângulos de incidência da radiação solar ao longo do ano. Desta forma, durante o verão, por a radiação solar se encontrar numa posição elevada, deve ser impedido o aumento de temperatura, com recurso a um sombreamento cujo desenho não permite a exposição dos vãos. Por outro lado, no inverno, os raios solares ao se apresentarem sob um ângulo inferior, conseguem transpor os vãos envidraçados, colaborando para o aquecimento do edifício.

A correta orientação do *layout* interior do edifício segundo o percurso solar, possibilita a majoração do aproveitamento da energia renovável, e a melhoria do conforto térmico

interior. No entanto, o conforto interior não provém apenas da condição térmica ou luminosa, mas ambas associadas promovem o desenvolvimento dos padrões de conforto psicológico dos utilizadores.

### 3.1.2. Iluminação Natural

A utilização de luz natural em edificações, durante o dia, ao substituir a luz artificial, contribui de forma significativa para a diminuição do consumo de energia elétrica, e melhora o conforto visual dos que utilizam o edifício. A luz natural possui uma variabilidade e um atributo agradáveis que supera o ambiente proporcionado pela iluminação artificial (Hayrton, 2018).

As aberturas, usualmente, possibilitam a interação com o exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual pela variação das distâncias focais. A existência de luz natural pode proporcionar uma sensação de bem-estar e uma maior interação com o ambiente no qual o edifício está inserido (Hayrton, 2018).

Sob a legislação portuguesa os projetistas devem garantir o aproveitamento da luz natural e o uso do potencial energético que a luz natural oferece. Pelo que é difícil compreender a falta de regulamentação da especialidade com a identificação de objetivos e limitação da potência elétrica instalada por unidade de área dos edifícios. Neste contexto, o conforto visual dos utilizadores e a diminuição do consumo energético em iluminação artificial não estão salvaguardados na legislação da construção de edifícios.

A incorporação da iluminação natural com iluminação artificial proporciona uma redução do consumo energético de 30% a 50%, podendo alcançar até 70% (Faria, 2016). Estes dados permitem concluir que a iluminação natural deve ser pensada de forma a optar por uma solução integrada. E sempre que a luz natural seja suficiente para garantir as necessidades, deverá ser desligada a iluminação artificial (Hayrton, 2018).

### 3.1.3. Caixilhos e envidraçados

A opção da caixilharia e da tipologia de vidro, é preponderante para obtenção de um comportamento térmico saudável. Os caixilhos embora possuam como função física, o suporte de vãos envidraçados, assim como resistir às solicitações mecânicas provenientes da sua utilização e da pressão imposta pelo vento, devem oferecer

estanquicidade e a possibilidade de renovação do ar interior. Desta feita, é importante conseguir um bom isolamento térmico e acústico por parte do envidraçado, elemento de maior área de superfície. A integração de grelhas de ventilação autorreguláveis deve ser ponderada.

Na atualidade os caixilhos com maior aplicabilidade são os caixilhos de alumínio com corte térmico, de madeira e de PVC. Estas soluções, permitem uma melhoria substancial do comportamento térmico face ao caixilho de alumínio convencional.

Por sua vez, o vidro com maior ênfase no parque edificado é o vidro simples, embora coexista com uma grande percentagem com a solução de janela dupla (Saint-Gobain Vidros, 2013).

Como solução para melhoria do conforto térmico, o vidro de baixo valor emissivo (*Low-e*) ou vidro com isolamento térmico reforçado, é um tipo de vidro que permite a redução de perdas de calor, e consegue garantir um elevado isolamento térmico.

Também a seleção do fator solar apropriado à solução deve ser alvo de cuidados. Os vidros que possuam um fator solar baixo para além do isolamento térmico no inverno proporcionam uma boa proteção contra o calor, sendo adequados para aplicação em vãos envidraçados com direta exposição solar e sem qualquer tipo de sombreamento. Por outro lado, os vidros cujo fator solar é mais elevado possibilitam a entrada de energia sob a forma de calor, mas também de luz natural, funcionando com um bom isolante térmico, maximizando as trocas solares e luminosas.

Por sua vez o vidro duplo, com a aplicação de uma lâmina de ar seco ou de um gás raro como elemento de isolamento, proporciona um incremento do desempenho térmico e luminoso, sendo, no entanto, uma solução mais onerosa.

Ou seja, será por fim, para obter um dispositivo, vão envidraçado, com bom desempenho energético, é necessário relacionar uma boa solução de vidro, um caixilho de qualidade e um dispositivo de sombreamento apropriado ao local, de modo obter um sistema por si equilibrado.

#### 3.1.4. Sistemas de aquecimento passivo

Os principais sistemas para a integração do conceito de arquitetura bioclimática, por vezes recorrem a elementos que formam parte integrante do edifício, e têm como o principal objetivo melhorar o comportamento térmico. Atuando de forma natural sob os

fenómenos de radiação, aquecimento e movimentação do ar, estes sistemas passivos, por não recorrerem a qualquer fonte de energia não renovável, estão divididos em três categorias:

- a) Sistemas de captação;
- b) Sistemas de inércia;
- c) Sistema de ventilação e tratamento de ar.

Os primeiros representam elementos ou um grupo de elementos de um edifício, que têm como principal função a captação de energia da radiação solar e o seu aproveitamento sob a forma de calor (H. Gonçalves & Graça, 2004). O seu funcionamento pode ocorrer nas seguintes formas:

a) Sistemas diretos:

Nestes sistemas os ganhos energéticos registam-se de forma direta através de superfícies envidraçadas, como janelas e claraboias, bem orientadas de forma a promover a captação de energia térmica pelas superfícies interiores (pavimentos e paredes) e assim o aquecimento do espaço interior. É de salientar que a construção contemporânea em Portugal tem na sua generalidade massa suficiente, sendo que uma boa orientação dos vãos conduz à utilização adequada deste tipo de sistemas sem qualquer complexidade suplementar (Figura 2.2).

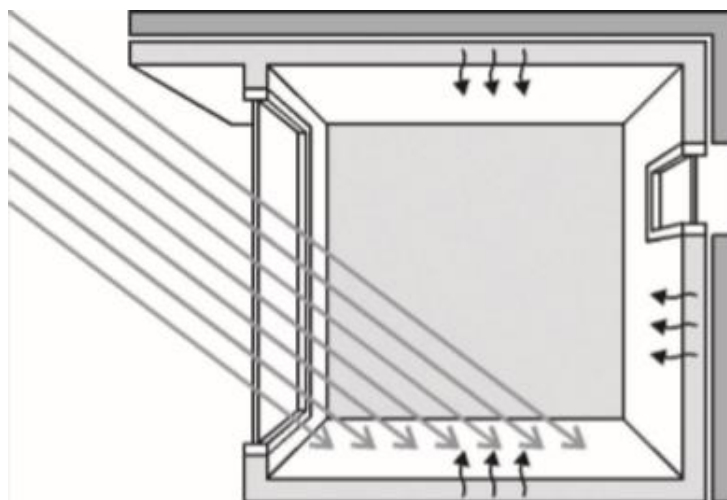


Figura 3-1 – Sistema Direto (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal)

b) Sistemas indiretos:

Esta tipologia de sistema (Figura 2.3) capta a energia absorvida pelo vão envidraçado dotado no seu interior de um elemento com elevada capacidade térmica. A partir deste elemento, o calor é transferido para o interior como uma grande onda de condução e convecção, com um atraso e uma redução de temperatura. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação do ar adotada (H. Gonçalves & Graça, 2004).

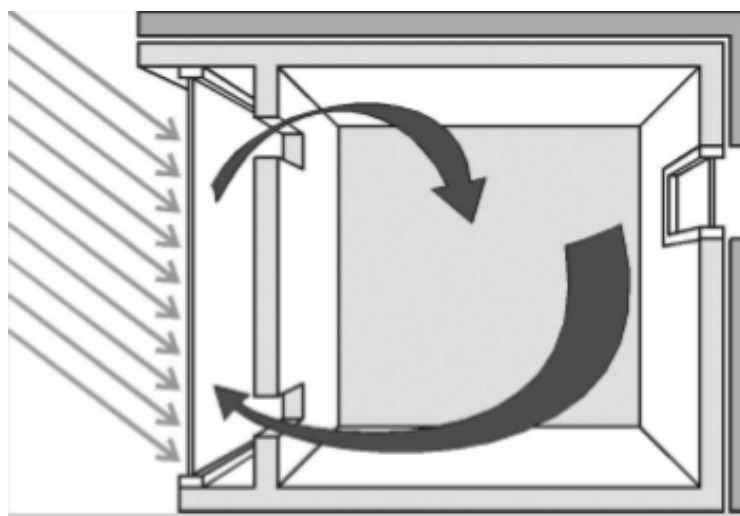


Figura 3-2 – Sistema Indireto (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal)

c) Sistemas Independentes:

Neste sistema o elemento de captação e de acumulação são independentes entre si e do espaço a aquecer. A transferência da energia de calor entre elementos é realizada através de um fluxo de ar (ou de água), por convecção, através de condutas, onde os equipamentos de regulação e controlo estão inseridos. O espaço tipo estufa é exemplo deste sistema e utiliza a combinação dos efeitos de ganho direto e indireto. A energia solar é transmitida ao espaço adjacente à estufa, por condução, através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitam a circulação de ar (H. Gonçalves & Graça, 2004).

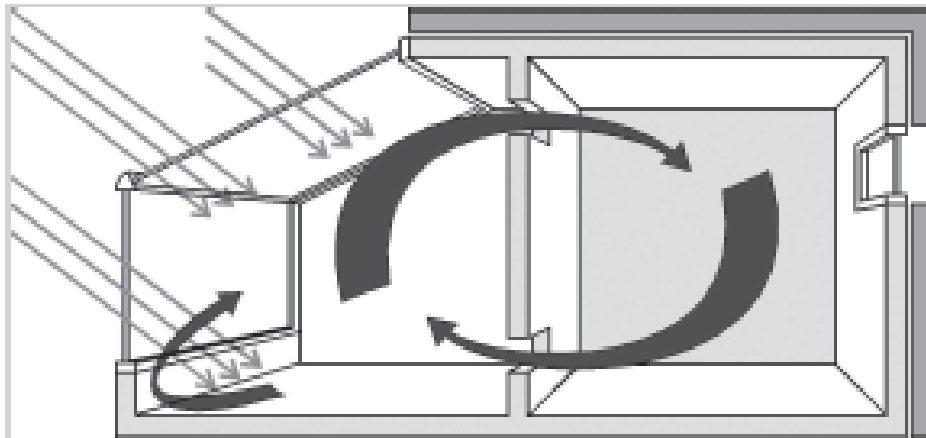


Figura 3-3 – Sistema Independente (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal)

O sistema de coletor a ar, constituído por uma superfície de vidro e uma outra superfície absorvedora sem a capacidade de armazenamento térmico, funciona em termosifão e permite ventilar espaços interiores confinantes ao longo de todo o ano (H. Gonçalves & Graça, 2004).

Este sistema, para o período de inverno, permite aquecer o ar exterior a insuflar para o interior do edifício numa situação de inverno, recorrendo para tal a um dispositivo de captação solar. Durante o verão, o sistema tem a capacidade de extrair o ar interior, através da extração do ar quente no interior do compartimento para o exterior.

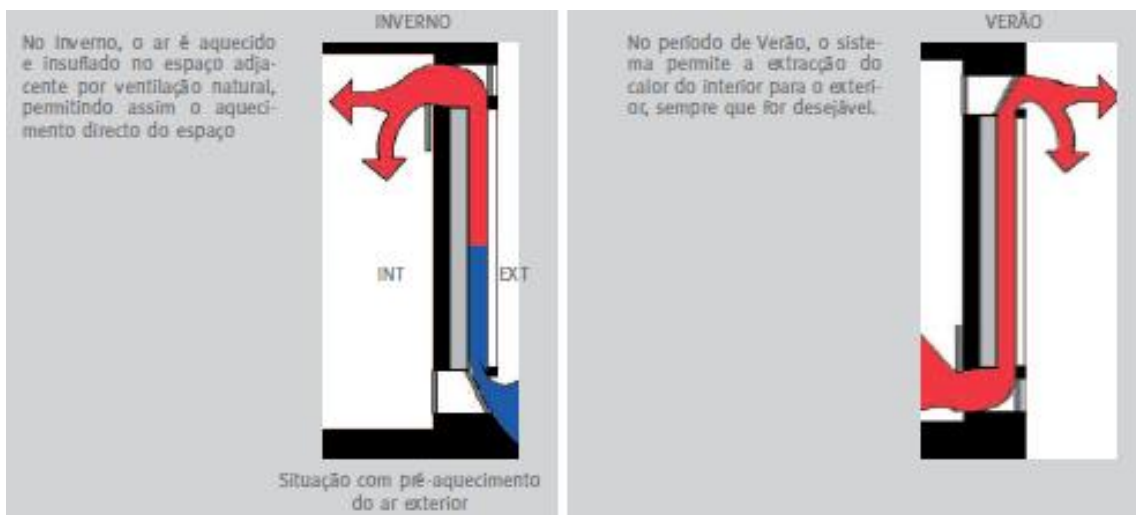


Figura 3-4 – Coletor de ar numa parede exterior (adaptado do Manual: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal)

De forma a evitar momentos de sobreaquecimento são instalados sistemas de controlo de entrada e saída de ar no interior dos edifícios.

### 3.1.5. Sistema de arrefecimento passivo

Os sistemas de arrefecimento passivo fundamentam-se em estratégias que propiciam a utilização de fontes frias existentes, de forma a diminuir a temperatura no interior dos edifícios. Estes sistemas de arrefecimento passivo podem suprimir ou diminuir de forma considerável a carência tida por um sistema de climatização convencional. A adoção de soluções que levem à prevenção e redução dos ganhos de energia sob a forma de calor, e de estratégias que favoreçam a origem de processos de dissipação de calor, culminará numa diminuição das necessidades de arrefecimento e na melhoria das condições de conforto térmico (H. Gonçalves & Graça, 2004).

A prevenção ou proteção de ganhos solares poderá ser considerada em todos os géneros de edifícios através de opções arquitetónicas. Primeiramente, há que considerar o tipo de vidros utilizados e o respetivo controlo solar. A melhor solução é seguramente a utilização de sombreamento exterior, por impedir a entrada de radiação solar para o interior do edifício. Se por questões arquitetónicas ou outras, não for possível, é de considerar o recurso a vãos envidraçados refletores associados a dispositivos de sombreamento interiores (H. Gonçalves & Graça, 2004).

A aplicação de isolamento na envolvente dos edifícios, e em especial quando colocado no exterior da envolvente, conduz a situações que diminuem as solicitações térmicas através da envolvente opaca, diminuindo a carga térmica de arrefecimento do interior do edifício. Deve ser dada uma especial atenção às coberturas, por serem as superfícies de maior exposição e captação de radiação solar durante o verão. Outra característica a considerar é a cor do edifício, dado que as cores claras permitem absorver menores valores da radiação solar, que beneficiam naturalmente o desempenho térmico do edifício durante o verão (H. Gonçalves & Graça, 2004).

A mitigação dos ganhos de calor através da envolvente do edifício está igualmente dependente da massa térmica do edifício, ou seja, da capacidade que um edifício tem de armazenar calor na sua estrutura, e dá origem a uma redução dos valores de pico das cargas de arrefecimento e a um desfasamento no tempo, entre as temperaturas interiores e exteriores (H. Gonçalves & Graça, 2004).

O recurso a estratégias que promovam a dissipação de calor, a que se atribui usualmente a designação de arrefecimento passivo, depende da presença de ambientes propícios que atuem como fontes frias e de diferentes temperaturas que possibilitem dar início a processos de transferência significativos (H. Gonçalves & Graça, 2004).

### 3.1.6. Ventilação Natural

A ventilação natural, enquanto processo permite arrefecer o edifício tirando partido da variação existente entre as temperaturas interior e exterior em determinados períodos. Em Portugal, as amplitudes térmicas diárias no período de Verão, podem atingir cerca de 20°C. Com essa informação é aconselhável a implementação de ventilação noturna como exemplo de estratégia de evacuação dos ganhos térmicos no interior dos edifícios. O mesmo sistema opera durante o dia, quando a temperatura exterior é inferior à temperatura no interior do edifício.

A ventilação natural é um processo promovido pelas diferenças de pressão de um lado e outro das janelas, portas, chaminés e frinchas, por origem na diferença de temperaturas entre o interior e o exterior, ou por ação direta sobre as edificações (Aproape & Cu, 2013).

A principal função dos edifícios é proporcionar abrigo através de condições favoráveis de permanência e desenvolvimento das atividades cotidianas do ser humano (atividade laboral, lazer e repouso). O projeto deve estar adaptado ao meio ambiente em que se encontra inserido, à sua utilização e aos seus utilizadores, proporcionando um ambiente confortável, seguro e salubre (Aproape & Cu, 2013).

A ventilação natural de um edifício deve possibilitar a renovação do ar interior, removendo os poluentes e garantir a qualidade do ar interior. Apenas com recurso à utilização das leis da física, a ventilação natural é tida como uma técnica de gestão importante porque os custos de manutenção dos sistemas mecânicos são eliminados. As características da cobertura, os vãos envidraçados e outras aberturas para a ventilação, a orientação, os ocupantes do edifício, e, finalmente a humidade exterior são todos fatores que influenciam os resultados do processo de ventilação.

Torna-se assim, muito importante projetar um edifício devidamente ventilado, pois pode residir nesta solução a redução dos consumos energéticos, através de um simples controlo de temperatura e humidade. Considerando que a ventilação natural pode ser aplicada com o intuito de realizar um controlo térmico, dispensando o recurso a aparelhos de elevado consumo energético, como os aparelhos de ar condicionado.

Para a obtenção de uma ventilação natural apropriada, é necessário dotar o edifício de aberturas ao nível inferior e superior, nas paredes e cobertura respetivamente, de forma a que contribuam em conjunto para fornecer e distribuir ar novo por todo o imóvel. De forma a evitar retenções no fluxo de ar interior, é favorável a existência de aberturas em lados opostos.

Embora em edifícios antigos esta estratégia seja facilitada pela presença de aberturas em diversos elementos construtivos, como chaminés, portas ou caixilhos, a perda de energia térmica torna-se considerável.

No entanto, em edificações contemporâneas, os projetos apresentam soluções que vão ao encontro do equilíbrio energético e que promovem o princípio base de um baixo consumo de energia e as trocas de ar limitadas. Estes projetos por vezes são dotados de uma ventilação mecânica controlada, com recurso à ventilação com recuperação de calor.

### 3.1.7. Sistema de sombreamento

A aplicação de sistemas de sombreamento, enquanto estratégia da arquitetura bioclimática, promove a melhoria da qualidade construtiva ao nível da eficiência energética e conforto, retirando maiores valias das condições climáticas locais, de forma passiva, pela interação do edifício com a envolvente e de forma ativa e pela integração de equipamentos que potenciam essa interação.

Como estratégia passiva da Arquitetura Bioclimática, os sistemas de sombreamento são utilizados como proteção solar, trabalhando como um dispositivo de arrefecimento. Dependendo da tipologia do dispositivo pode inclusive evitar a saída de ar quente e com isso contribuir para uma estratégia passiva de aquecimento, ou mesmo auxiliar na melhoria de condições de luz natural. Consequentemente podem interagir como uma estratégia passiva de iluminação natural.

O sistema de sombreamento enquanto estratégia ativa da Arquitetura Bioclimática está relacionado com a aplicação de dispositivos elétricos ou mecânicos, que incorporados corretamente no sistema de sombreamento, permitem a captação, armazenamento da energia solar e fornecimento de energia térmica e elétrica ao edifício. Os painéis solares e as células fotovoltaicas são apenas alguns exemplos de dispositivos de sombreamento que operam como estratégia passiva, mas também como estratégia ativa.

O sombreamento pode ser realizado também de forma natural, com recurso a vegetação de folha caduca, de forma a proteger dos raios solares do verão, e, no entanto, permitir a sua penetração no período de inverno. A disposição de elementos construtivos e a relação entre a fachada e outros fatores de obstrução, como a orientação das aberturas e a geometria do edifício devem ser tomados em consideração.

As proteções fixas usufruem do benefício de requererem uma reduzida manutenção, todavia, são os dispositivos móveis que oferecem maiores vantagens, ao proporcionarem uma melhor interceção da radiação solar sob qualquer orientação, ajustando a sua posição a cada momento solar. Apesar do seu funcionamento mecânico, os mesmos podem ser concebidos com recurso a materiais e dispositivos com baixo impacto ambiental, conseguindo-se de forma bastante rápida suprimir a energia consumida no seu processo de fabricação através da energia economizada durante a sua utilização. Vantajosas no inverno e no verão, no primeiro caso permitem ganhos térmicos solares, por radiação, e no segundo evitam a penetração solar com maior eficácia, devido à sua regulação em função do movimento do sol.

### 3.1.8. Sistema de isolamento

O material selecionado para a realização da fachada de um edifício influencia de forma significativa as condições de habitabilidade no interior do edifício. As características principais a considerar para análise dos ganhos e perdas de energia, são a inércia térmica do material e a sua capacidade de isolamento térmico.

A inércia térmica é uma característica dos materiais pesados e densos, como a pedra ou o tijolo maciço. Também as paredes com uma estrutura espessa, possuem uma elevada capacidade térmica, funcionando como armazenadores de energia e amortecedores térmicos, ou seja, moderam e contrariam os picos climáticos exteriores, ação que uma estrutura simples e mais leve não consegue realizar. Durante o período de inverno é possível arejar o interior do edifício, isto porque após o fechamento dos elementos (janelas, portas ou outros) a temperatura interna é rapidamente restabelecida. No período de verão, a mesma capacidade de absorção, permite manter um ambiente fresco no interior, como se pode verificar ao entrar num edifício antigo com paredes espessas de pedra, que apesar da sua diminuta capacidade de isolamento térmico, permite a obtenção de ambiente fresco.

A quantidade de calor necessária para manter uma habitação à temperatura de conforto, depende fortemente do isolamento térmico aplicado que previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior do edifício. O edifício que esteja debilitado sob este ponto de vista, necessitará de um maior consumo de energia durante o período de inverno, para o aquecimento, o que acarreta custos acrescidos com o aquecimento. No período de verão, o mesmo espaço atinge temperaturas mais elevadas e num espaço de tempo mais curto (Lopres, 2010). Seguindo o raciocínio anteriormente exposto, é fulcral diminuir as perdas e os ganhos térmicos através de metodologias de isolamento adequadas a cada edifício. Usualmente, as realizações de pequenas intervenções de melhoria no isolamento do edifício proporcionam economias energéticas consideráveis, reduzindo os custos com aquecimento e arrefecimento do edifício. É de salientar que para obter uma redução real da energia consumida, os sistemas de aquecimento e arrefecimento devem ser compatibilizados com as características do isolamento aplicado. Descurada a compatibilização da intervenção, existe a forte possibilidade de sobreaquecimento do edifício, desaproveitando os ganhos obtidos através da intervenção.



*Figura 3-5 – Aplicação de Isolamento térmico (fonte: Polirigido 2018)*

Atualmente existem no mercado inúmeras soluções de isolamento. A escolha da melhor solução depende apenas do grau de isolamento pretendido e de eventuais restrições arquitetónicas do edifício. Usualmente são aplicados materiais porosos de baixa densidade como o XPS (Poliestireno Extrudido), o EPS (Poliestireno Expandido), a PUR (Espuma de Poliuretano), a MW (lã mineral), o ICB (Aglomerado de Cortiça), entre outros. Adaptado a cada necessidade, são utilizados materiais soltos, tapetes, placas compactas,

placas de feltro ou espumas. Como o ICB, existem outros materiais isolantes de origem natural como a perlite, a vermiculite e a fibra de coco.

Embora aplicado pelo exterior, e mecanicamente menos resistente contra impactos, o sistema mais eficaz consiste na aplicação de placas de material isolante ou na aplicação ininterrupta de uma espuma de características isoladoras nas paredes exteriores e em cobrir esses materiais com um revestimento adequado. Podendo ser este pintado ou revestido por outros materiais, proporcionando um acabamento mais tradicional. Esta metodologia de isolamento das paredes exteriores proporciona vantagens significativas em termos de capacidade de aquecimento do edifício. Dado que o isolamento externo é contínuo as pontes térmicas são quase na sua totalidade minimizadas. Por consequência, com o incremento da espessura do material isolante, é possível obter níveis de transmissão de calor mais baixos. De outra forma, é quase impossível conseguir a mesma restrição pela aplicação de isolamento pelo interior ou através do preenchimento das caixas-de-ar.

Também com a eliminação das pontes térmicas, consegue-se obter um ambiente mais confortável e uma menor necessidade de trabalhos de conservação e manutenção do edifício. Quando eliminadas as áreas frias das superfícies internas, localizadas nas proximidades das pontes térmicas, a temperatura das paredes interiores aumenta, proporcionando um maior conforto. Impedindo também a formação de zona de condensação, humidade e bolor sob os paramentos interiores. Proporcionando uma habitação com um ambiente mais saudável e uma redução na degradação física das superfícies (Lopres, 2010).

O isolamento pode revestir panos de alvenaria, gesso cartonado ou outro tipo de material, sobre o qual é aplicado o acabamento pretendido da parede.

Em paredes simples, esta tipologia de isolamento é capaz de prevenir as pontes térmicas em pilares, mas não em vigas e lajes. Como principal inconveniente surge o desaproveitamento a inércia térmica dos paramentos do edifício.

Em paredes duplas, com a presença de uma caixa-de-ar, esta poderá ser preenchida pelo isolamento térmico através de uma perfuração realizada na parede e injetando posteriormente o produto no interior. Esta intervenção possui custos acessíveis e permite obter um isolamento eficiente. Nesta solução deve ser adotado um material isolante com um longo período de vida útil, intumescente e livre de cheiros ou resíduos tóxicos.

## 3.2. Sistemas Ativos

Depois da breve exposição dos pontos fundamentais da arquitetura bioclimática, é importante referir que nem sempre o mais pormenorizado e cuidado dos projetos é capaz de garantir as condições de conforto térmico.

O isolamento por si só, não aquece ou arrefece. É preciso ter uma fonte de calor ou frio. A técnica solar passiva não funciona se o dia estiver nublado. Pelo que se torna necessário, a aplicação de sistemas ativos que possibilitam uma integração mais flexível, permitam assim projetos associados por exemplo com a reabilitação de edifícios onde a solução passiva não seria economicamente viável.

No capítulo seguinte são apresentados os sistemas de aquecimento e arrefecimento mais utilizados em edifícios destinados a habitação (ADENE, 2016).

### 3.2.1. Sistemas de aquecimento ativos

Os sistemas de aquecimento ativos utilizam energia elétrica para aquecer o ambiente. Alguns exemplos de sistemas de aquecimento ativo incluem queimadores de madeira, aquecedores a gás, aquecedores elétricos, radiadores e equipamentos de ar condicionado. Os equipamentos de ar condicionado gastam, em geral, cerca de quatro vezes menos energia que os outros sistemas de aquecimento (Zabalza Bribian & Aranda Usón, 2011).

Os sistemas de aquecimento ativos podem consumir grandes quantidades de energia, contribuindo para a subida da fatura energética e económica. Os equipamentos mais usuais de aquecimento ativo, podem inclusive consumir mais de 100 kW de energia por dia para aquecer uma fração habitacional. Aquecedores de madeira podem consumir até 28 kg de madeira por dia. Uma habitação bem projetada, irá reduzir a necessidade de utilização de equipamentos de aquecimento ativos e um sistema eficiente também poderá proporcionar uma redução dos custos de funcionamento.

Para conservar a energia de aquecimento, as habitações devem ser bem isoladas por forma a serem evitadas perdas térmicas para o exterior. Os aquecedores a gás sem acessórios adequados, podem levar à acumulação de gases prejudiciais no interior da fração habitacional. Em alguns países, os regulamentos impedem a utilização de aquecedores a gás no interior de quartos.

Do ponto de vista técnico, a eficiência destes sistemas é demonstrada pela sigla COP (coeficiente de desempenho), usualmente utilizada como um índice de eficiência de aquecimento de equipamentos de ar condicionado. Tal indica o rácio de aquecimento fornecido por uma unidade relativamente à quantidade de eletricidade fornecida para o gerar. Assim, se um sistema de ar condicionado gerar 5 kW de calor com 1 kW de eletricidade fornecida, o seu COP é de 5.0. Quanto mais elevado o COP, maior a eficiência energética que possui o equipamento (Zabalza Bribian & Aranda Usón, 2011).

### 3.2.2. Sistemas de arrefecimento ativos

Os sistemas de arrefecimento ativos, utilizam energia elétrica para arrefecer o ambiente. Nestes sistemas estão afetos equipamento como chillers e bombas de calor do tipo split ou multi-split, mais conhecidos como ar-condicionado. Ventiladores, confundidos como aparelhos de arrefecimento, não arrefecem o ambiente interior, apenas permitem melhorar a sensação de conforto na estação de arrefecimento, por aumentarem a transferência de calor por convecção.

Os chillers são, essencialmente, arrefecedores de água. A água fria gerada pelos chillers é utilizada com o intuito de arrefecer o ar ou equipamentos de acordo com a necessidade. Estes equipamentos, são bastante flexíveis quanto a instalação e tem como medida de potência, toneladas de refrigeração. Instalados em conjunto com sistemas de ar-condicionado, o chiller permite a climatização de ambientes, através do controlo da humidade relativa, temperatura, movimentação e renovação de ar.

Os equipamentos de ar-condicionado têm como objetivo climatizar um espaço, podendo acumular as funções de aquecimento, arrefecimento, desumidificação, renovação, filtragem de ar e ventilação. Este equipamento visa combater o excesso de calor no verão e colmatar as necessidades de aquecimento no inverno. O princípio de funcionamento baseia-se no ciclo frigorífico, promovendo a troca de calor entre o ambiente exterior e interior (ADENE, 2012).

O arrefecimento de um imóvel deve ser tido em conta durante a realização do seu projeto, de forma a assegurar a instalação do sistema mais eficaz e eficiente. Tal permite evitar a aquisição de equipamentos baratos, de má qualidade, que exigem uma instalação após a construção e têm custo de utilização e manutenção elevados.

Para verificar a eficiência energética dos sistemas de arrefecimento, é utilizado o índice EER (relação de eficiência energética) que quantifica a eficiência energética do

equipamento de ar condicionado, quando este está a operar no regime de arrefecimento. Este índice quantifica a relação entre a energia térmica gerada e a quantidade de energia consumida para a produzir. Da mesma forma que o índice COP, se um equipamento de ar condicionado, disponibilizar uma potência térmica em arrefecimento de 5 kW, tendo por base um consumo de energia elétrica de 1 kW, então o seu EER é de 5,0. Pelo que quanto maior for o valor de EER, mais eficiente do ponto de vista energético é o equipamento (Zabalza Bribian & Aranda Usón, 2011).



## 4. Sistemas de energia renovável

A integração de sistemas de energia renovável em edifícios constitui um desafio para o qual o principal objetivo é a conceção de edifícios, e cidades, eficientes que possibilitem a aplicação de um ou mais sistemas de captação e transformação de energia numa fonte de energia limpa e útil. No entanto, somente a aplicação destes sistemas pode ser insuficiente, pelo que, é importante integrar estes sistemas em edifícios eficientemente energéticos que esgotaram todas as estratégias exequíveis do design passivo na sua conceção ou durante a sua reabilitação energética.

Desta forma, no presente capítulo pretende-se pormenorizar as exigências para um edifício NZEB e caracterizar possíveis sistemas de captação de energia renovável.

### 4.1. Exigências NZEB

Conforme o exposto anteriormente, a Diretiva Europeia n.º 2010/31/EU, impõe que os edifícios NZEB, caracterizados pelo elevado desempenho energético, e com necessidades energéticas quase nulas, sejam estas suprimidas na sua grande maioria por energia produzida por fontes de energia renovável instaladas no local ou nas proximidades.

Em Portugal, segundo a legislação em vigor, os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suprimir pelo menos 50% das necessidades anuais de energia primária (Portaria\_nº98/2019, 2019).

### 4.2. Energia hídrica

A energia hídrica é uma energia renovável, de utilização mais primitiva em azenhas, sobretudo para possibilitar a moagem de cereais. No entanto, a partir do século XIX,

surgiram mais desenvolvimentos, tornando-se desde então uma fonte de energia com mais aplicações e mais eficiente.

Atualmente, a energia hídrica tem a sua maior produção de energia elétrica através das denominadas centrais hidroelétricas. A uma escala inferior, local ou mesmo habitacional, existem as mini-hídricas. A produção de energia destes sistemas advém do caudal e do desnível numa determinada secção pluvial. O potencial produtivo de energia está assim associado com a orografia do território, que proporciona as quedas, e com os recursos hídricos superficiais disponíveis, que por sua vez delineiam os volumes turbináveis.

Como consequência de uma maior variação geográfica para o potencial de produção, os pequenos sistemas de aproveitamento hídrico estão maioritariamente alocados no norte do país. É também na zona norte do país que se verifica o maior potencial de construção de novos sistemas de produção de energia hidroelétrica (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017).

Por sua vez estes sistemas podem apresentar diversas configurações, procurando maximizar a potência disponibilizada pelo caudal.

### 4.3. Energia eólica

A energia do vento, aproveitada desde as civilizações ancestrais através de moinhos de vento utilizados na moagem de cereais. O procedimento para obter essa energia evoluiu bastante desde então, passando por moinhos mais complexos das eras industriais, até as turbinas eólicas da atualidade.

As zonas de forte potencial para a produção de energia eólica estão espalhadas por todo mundo. As mais favoráveis, localizadas no centro e norte da Europa, mais concretamente nas zonas costeiras, o litoral e a zona centro da América da Norte, a zona sul da América do Sul. Existe também um grande recurso eólico nos mares ao longo da costa, sendo que as velocidades do vento medidas no mar, a 80 m de altura, são em média 90% superiores aos valores médios registados em terra (Archer & Jacobson, 2005).

Obtida como resultado do aproveitamento da energia cinética do vento que é convertida através de uma turbina em energia elétrica. O funcionamento deste sistema baseia-se na incidência do vento sobre as pás da turbina incitando o movimento e consequentemente a rotação de um eixo mecânico, gerando desta forma energia mecânica. O movimento de

rotação do eixo coloca em movimento o gerador que converte a energia mecânica em energia elétrica.

Na maioria das situações, a escolha da energia eólica é a que apresenta melhores garantias de sucesso, uma melhor relação custo/benefício e um período de recuperação do investimento mais curto. Desde que existam condições climáticas e físicas adequadas, as turbinas eólicas permitem gerar energia dia e noite durante 365 dias por ano. O desenvolvimento de sistemas híbridos com sistemas solares, baterias e outros equipamentos, permite alcançar total ou quase total autonomia energética a imóveis da rede elétrica nacional (Archer & Jacobson, 2005).

#### 4.4. Energia solar

A maior fonte de energia disponível na Terra provem do sol. A energia solar é indispensável para a existência de vida na Terra, sendo o ponto de partida para a realização de processos químicos e biológicos. Por outro lado, a energia proveniente do Sol é a mais “amiga do ambiente”, podendo ser utilizada de diversas maneiras (“In Reply: BEHAVIOUR THERAPY,” 1966).

Por este motivo, as tecnologias para aproveitamento de energia do Sol apresentam grande potencial pelo facto de este constituir a maior fonte de energia no nosso planeta e com menor pegada ecológica (Santos, 2017).

##### 4.4.1. Energia solar fotovoltaico

De entre as energias renováveis para produção de eletricidade, a solar fotovoltaica é a que tem maior potencial de longo termo e alguns peritos preveem que num futuro a médio e longo prazo esta será a opção mais barata para a geração de eletricidade, precisamente devido à redução dos custos de produção. Refere-se ainda o facto de esta tecnologia não comportar partes móveis (com exceção dos sistemas com seguidores) o que a torna silenciosa (Maria, Nunes, & Esteves, 2015).

A energia solar fotovoltaica é também a que tem verificado maior número de aplicações como solução para a produção de eletricidade em zonas urbanas. As coberturas ou fachadas oferecem uma enorme área de superfície inexplorada que pode ser ocupada

com estes sistemas. A tecnologia fotovoltaica pode igualmente ser aproveitada como solução estética e funcional noutra tipo de aplicações como por exemplo sistemas de sombreamento ou como elemento visível de um conjunto de edifícios (Maria et al., 2015).

A solução é composta por painéis solares, estruturas de suporte e cabos. Os painéis solares são responsáveis pela transformação da energia solar em energia elétrica, funcionando em um conjunto de células fotovoltaicas que possuem elétrons, que ao serem atingidos pela radiação solar, movimentam-se, gerando uma corrente de eletricidade (Doutora & Varandas, 2018).

O número e a dimensão dos painéis fotovoltaicos variam em função das demandas de cada unidade consumidora e da área total disponível para a implantação desses sistemas, como requisito técnico, é necessário que as áreas disponíveis para a instalação de painéis solares sejam áreas que possuam maior incidência solar, com ausência de sombras interferentes. Os painéis podem ser de três modelos distintos; monocristalinos, policristalinos, e de filme fino, onde os mesmos possuem uma vida útil média de 25 anos (Doutora & Varandas, 2018).

#### 4.4.2. Energia solar térmica

O sistema solar térmico converte a energia do Sol em calor útil, através do coletor solar térmico colocado no exterior do edifício, geralmente na cobertura, onde circula um fluido de transferência térmica. Uma rede de tubagem permite o escoamento deste fluido entre o coletor, onde é aquecido, e o depósito de acumulação onde é armazenada a energia térmica. O armazenamento no depósito permite a utilização de água quente nos períodos em que as necessidades não coincidem com a disponibilidade do recurso, por exemplo, à noite (ADENE, 2016b).

No centro de cada coletor está o absorvedor, que converte a radiação solar em calor, transferindo-o, do modo mais eficiente possível, para um fluido circulante, tentando minimizar as perdas de energia. Nos absorvedores utilizam-se normalmente superfícies seletivas. As suas propriedades caracterizam-se por uma absorção muito alta, nos comprimentos de onda da radiação solar, tal como uma tinta preta não seletiva. As perdas térmicas por radiação são drasticamente reduzidas pelo emprego de superfícies de baixa emissividade no intervalo dos infravermelhos obtendo-se coeficientes de perdas globais à volta de  $4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . Uma tinta preta não seletiva tem valores de emissividade de 0,9, o que resulta num coeficiente de perdas 6 a  $8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . Os coletores com superfícies

absorsora não seletivas podem ser aceitáveis para o aquecimento de águas quentes sanitárias em sistemas de termossifão em climas quentes (Vaz & Osório, 2011).



## 5. Produto “Thermobuild®”

### 5.1. Generalidades

Este trabalho de projeto foi proposto para dar continuidade ao estudo desenvolvido pelo Eng.º Carlos Miguel Gonçalves, no Laboratório de Materiais e Construção do ISEL com o desenvolvimento do produto “Thermobuild®”.

Como se referiu anteriormente, com o trabalho de projeto desenvolvido pretendeu-se contribuir para a verificação da viabilidade da aplicação de soluções construtivas em que possam ser utilizadas soluções construtivas de reforço térmico utilizando o produto “Thermobuild®” (M. Gonçalves, 2018).

Assim, neste capítulo, faz-se uma descrição geral do produto, dos seus componentes, do processo de fabrico e das propriedades relevantes.

“Thermobuild®”, é a denominação comercial de um produto isolante térmico e acústico composto por uma mistura seca de granulados provenientes da reciclagem de desperdícios da indústria corticeira e borracha, o que abona a favor da sustentabilidade ambiental e da redução da pegada ecológica, e o posiciona como produto inovador, em especial na reabilitação urbana atualmente em foco no mercado da construção (M. Gonçalves, 2018).

Aplicado com uma granulometria de reduzidas dimensões, e com uma metodologia patenteada que recorre a pequenos aparelhos de ar comprimido, o produto permite a aplicação em edifícios alvo de reabilitação e requalificação, sem que seja necessário recorrer a demolições de tetos, paredes ou pavimentos de forma a corrigir termicamente os espaços. Este método de aplicação, não destrutivo e não evasivo, assegura a rapidez e limpeza de todo o processo de instalação do produto.

Com a possibilidade de ajustar a granulometria segundo a especificidade de cada trabalho, o “Thermobuild®” permite também uma maior abrangência de aplicações e desenvolvimento de novas soluções técnicas, como a realização de placas, através do recurso a aglutinantes naturais e não ignífugos, as quais se encontram, ainda, em desenvolvimento tecnológico.

O produto é indicado para o incremento do conforto térmico de edifícios que, pela sua importância arquitetónica e histórica, possuem limitações ao nível da intervenção e que não poderiam ser alvo da aplicação de isolamento pelas metodologias e produtos convencionais, por permitir a melhoria do isolamento térmico dos elementos construtivos da envolvente das frações autónomas dos edifícios.

Com aplicação nas áreas da térmica e acústica, o Thermobuild® é preferencialmente aplicado nas paredes duplas com caixa-de-ar não preenchida, entre os tarolos das lajes tradicionais de madeira, assoalhadas na face superior e estucadas sobre tabique na face inferior, ou com revestimentos em gesso cartonado, espaços constituídos por qualquer tipo de elemento construtivo onde se pretenda melhorar termicamente e acusticamente os elementos existentes, seja qual for a espessura evidenciada.

Com um coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.06 W/(m.^{\circ}C)$ , a sua introdução no mercado, surge com o intuito de melhorar as características térmicas de edifícios de habitação, serviços e similares, melhorando o desempenho energético dos espaços munidos em cerca de 15 a 30%, de acordo com a exposição do elemento alvo de intervenção.

Como foi possível de leitura e análise nos capítulos anteriores, a entrada em vigor da nova legislação portuguesa torna este produto um material com elevado interesse para o setor da construção e outras especialidades, como a eficiência energética, eliminação e reaproveitamento de resíduos.

Apenas como nota, com cortiça e borracha na sua composição, dois materiais com elevada capacidade absorvedora do ponto de vista acústico, o “Thermobuild®” revela-se também como uma solução de melhoria da qualidade acústica dos compartimentos cuja envolvente seja alvo de reabilitação.

Do ponto de vista da resistência ao fogo, o produto encontra-se sob desenvolvimento e análise através de diversos ensaios da especialidade no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.



Figura 5-1 – Thermobuild®

## 5.2. A Cortiça

Obtida através da extração de uma espécie de árvore de denominação científica, *Quercus Suber L.*, e usualmente intitulada por sobreiro, a cortiça constitui o revestimento exterior do tronco e ramos. Com a possibilidade de remoção a cada 9 anos, sob a forma de pranchas, a cortiça é um produto 100% natural, renovável, reciclável e biodegradável, com características únicas e muito vantajosas, como:

- Leveza;
- Flexibilidade/Compressibilidade;
- Impermeabilidade;
- Isolamento Térmico e Acústico;
- Combustão Lenta;
- Hipoalergénica;
- Suave ao Toque.

Com cerca de 50% da produção mundial, em Portugal, “onde o sobreiro é a Árvore Nacional e ocupa 23% da área florestal do país, tem-se vindo a desenvolver importantes reflorestações a um ritmo de dez mil hectares por ano, ou seja, um crescimento na ordem dos 4%” (APCOR, 2017).

É importante salientar que no nosso país, a extração da cortiça encontra-se ao abrigo da legislação através do Decreto-Lei n.º 11/97, de 14 de janeiro.

No sector da construção civil, a cortiça apresenta-se como um material que potencia a eficiência energética, bem como a diminuição da pegada de carbono associada. Com grande utilização em revestimentos e pavimentos de edifícios, é possível também empregar as suas características em juntas de dilatação, no preenchimento de caixas de ar, como revestimento de condutas e máquinas para absorção de vibrações e ruídos, entre muitas outras aplicações.

Para a produção do produto “Thermobuild®”, é possível reciclar toda uma variedade de cortiça, não aproveitada pela indústria corticeira, desde os resíduos (Aparas) até cortiça de menor qualidade (Refugo).

### 5.3. A borracha de pneus reciclados

Quanto à borracha reciclada empregue, são utilizados os pneus, um recurso imensamente disponível na conjuntura atual. Com uma constituição maioritariamente com base em borracha, cerca de 47%, e negro de fumo com cerca de 22%, também reaproveitado na obtenção do produto, o supérfluo pneu pós-desgaste é um uma fonte sustentável de material.

Ao abrigo da Diretiva 1999/31/EC, que transposta para a legislação portuguesa sob o Decreto-Lei n.º111/2001, de 6 de abril, foram estabelecidos “os princípios e as normas aplicáveis à gestão de pneus e pneus usados, tendo como objetivos a prevenção da produção destes resíduos, a recauchutagem, a reciclagem e outras formas de valorização, de forma a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar, bem como a melhoria do desempenho ambiental de todos os intervenientes durante o ciclo de vida dos pneus”.

## 6. Casos de estudo

No presente capítulo, inicialmente, será feita a apresentação do software de cálculo e análise empregue, o CYPETHERM. Disponibilizado pela TOP, o módulo de verificação do REH do CYPE 2018, foi opção por se tratar de um programa com uma larga utilização no âmbito nacional, na elaboração de Projetos de Comportamento Térmico e na avaliação do desempenho energético de edifícios de habitação, segundo o Regulamento de Edifícios de Habitação.

Na segunda parte, são apresentadas todas as soluções estudadas. Deste modo, será analisado o desempenho energético do edifício estudado, designado de “Simulação A” e das restantes simulações, de B a G. Para as novas simulações estudadas foram-se introduzindo melhorias de modo a melhorar o desempenho energético, como a melhoria do isolamento térmico dos elementos da envolvente exterior e da envolvente interior, dos envidraçados, dos sistemas de climatização dos espaços interiores, de sistemas de produção de AQS e de sistemas de produção de energia renovável.

O edifício de referência, solução A, foi estudado nas zonas climáticas I1 V1, I3 V1, I1 V3 e I3 V3, com o intuito de permitir uma análise mais abrangente e a indicação de estratégias para obtenção de edifícios NZEB.

### 6.1. CYPETHERM REH

A análise do desempenho energético do edifício e das soluções alvo de estudo foi realizada com recurso à utilização de um programa informático, o CYPETHERM REH, da CYPE. Este programa consiste numa ferramenta de suporte informático que alia as geometrias de modelação da construção, a uma relativa facilidade de verificação do desempenho energético, do consumo de dióxido de carbono e do conforto do edifício, de acordo com o regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH).

Por se tratar de um programa muito completo, relativamente complexo e que visa a maior aproximação possível do edifício real a analisar, obriga a que se definam um conjunto de

parâmetros dos materiais empregues, do tipo de construção, dos equipamentos aplicados, da envolvente, entre outros.

O software deteta as arestas a partir do modelo, inserido via IFC Builder, e gera de forma automática as pontes térmicas lineares correspondentes, em função das soluções construtivas introduzidas e da caracterização do edifício do ponto de vista da análise térmica. Os coeficientes de transmissão das pontes térmicas lineares podem ser calculados a partir da norma ISO 14683, do Despacho n.º 15793-K/2016 do REH e através de uma análise por elementos finitos de acordo com a norma EN ISO 10211.

O programa distribuído pela TOP informática, realiza o cálculo da transmissão térmica dos elementos construtivos, segundo a ISO 6946 e ISO 1077-1. Realiza também o cálculo do coeficiente de transferência de calor em elementos em contato com o solo, segundo a norma EN ISO 13370, e calcula o fator b. segundo a norma ISO 13789.

Em termos de peças escritas, permite a geração de fichas de cálculo, de informação sobre o desempenho energético, relatório de peritagem para efeitos da certificação energética de outras funcionalidades.

O software de cálculo, permite também gerar peças desenhadas com identificação das envolventes e das pontes térmicas lineares.

Por fim, o programa permite a exportação dos dados para ficheiro em formato XML, para posterior importação no portal da ADENE, para emissão de pré-certificados energéticos (PCE) ou de certificados energéticos (CE), simplificando, assim, o processo de emissão de pré-certificados e certificados energéticos de frações autónomas de edifícios de habitação.

## 6.2. O Edifício

Contemplando a primeira parte do documento, este ponto apresenta as zonas climáticas, o edifício em estudo e o respetivo processo construtivo. Para obter uma análise mais representativa das diferentes localizações no território nacional, o edifício é igualmente estudado segundo os dados climáticos definidos no Despacho nº 15793-F/2013.

São também definidos os elementos construtivos da envolvente, juntamente com os respetivos coeficientes de condutibilidade térmica, e ainda identificadas as características dos equipamentos instalados à data de construção do edifício.

### 6.2.1. Localização

As zonas climáticas, segundo o Decreto-Lei 118/2003 de 20 de agosto, consideradas para estudo encontram-se apresentadas na Tabela 16.

*Tabela 16 - Localizações em estudo*

<b>Zona Climática</b>	<b>Concelho</b>	<b>Altura ref. (m)</b>	<b>Região</b>	<b>Rugosidade</b>
<b>I1 V1</b>	Santana	575	B	2
<b>I1 V3</b>	Castelo de Paiva	110	A	2
<b>I3 V1</b>	Terras de Bouro	481	A	2
<b>I3 V3</b>	Alfandega da Fé	530	A	2

A primeira solução de estudo (Solução A) situa-se no concelho de Santana, mas decidiu-se, para uma apreciação mais ampla, considerar as localizações de Castelo de Paiva, Terras de Bouro e Alfandega da Fé. Com o intuito de avaliar o cumprimento dos diferentes requisitos de qualidade térmica do edifício – definidos na Portaria nº 349-B/2013 – em zonas distintas.

### 6.2.2. Descrição do edifício

O edifício utilizado como base de estudo, foi construído durante a década de 1960, e trata-se de um imóvel com uma fração destinada unicamente à habitação. Com uma tipologia de habitação T3, um pé-direito de 2.46 m e uma área útil aproximada de 150 m<sup>2</sup>, distribuída por 2 pisos acima do solo pelos seguintes espaços:

Tabela 17 – Caracterização dos espaços em análise

Espaço	Piso	Área (m <sup>2</sup> )	Pé-direito
Sala	0	61,50	2,46
Cozinha	0	13,70	2,46
I.S. 01	0	2,10	2,46
Arrumo 01	0	0,40	2,46
Quarto 01	1	13,20	2,46
Quarto 02	1	17,50	2,46
Quarto 03	1	22,10	2,46
I.S. 02	1	7,50	2,46
I.S. 06	1	6,30	2,46
Arrumo 02	1	2,00	2,46

O imóvel em análise faz parte de um conjunto de duas moradias geminadas, com o estudo a incidir sobre a do lado direito, ou seja, com fronteira para com outro edifício sob o alçado poente. As restantes fachadas estão orientadas segundo os remanescentes pontos cardeais, sendo as fachadas principais do edifício orientadas a sul e nascente, como se pode visualizar na Figura 6-1.

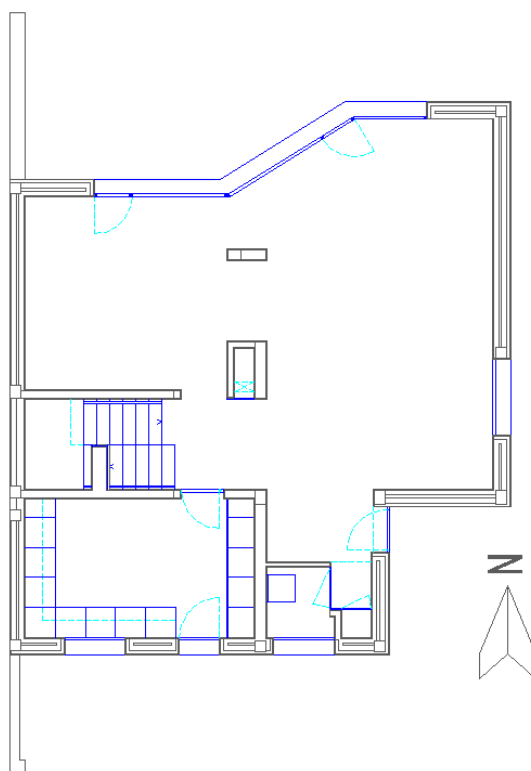


Figura 6-1 – Orientação geográfica do edifício (Planta do Piso 0)

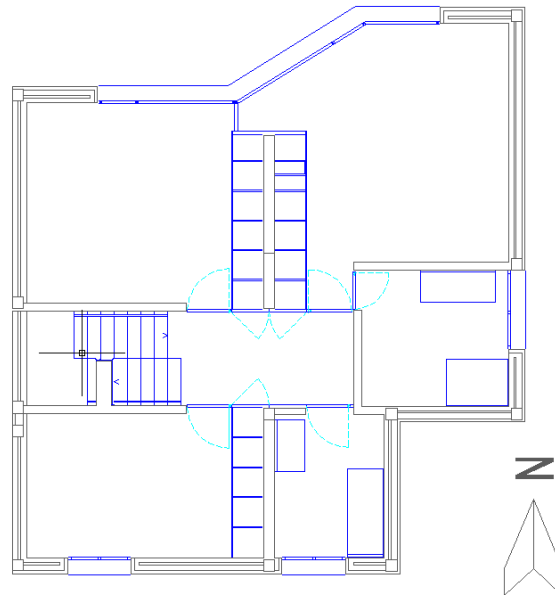


Figura 6-2 – Planta do piso +1

Os espaços não úteis considerados são apenas o sótão. Estes espaços são caracterizados pela determinação do coeficiente de redução de perdas, determinado com recurso a EN ISO 13789.

Os elementos que separam a fração em estudo da fração adjacente, são elementos tidos da envolvente interior, em concreto a parede meeira. A envolvente exterior é composta pelos vãos envidraçados, paramentos verticais, cobertura inclinada com 3 águas e o pavimento do Piso 0 que está em contacto com o solo.

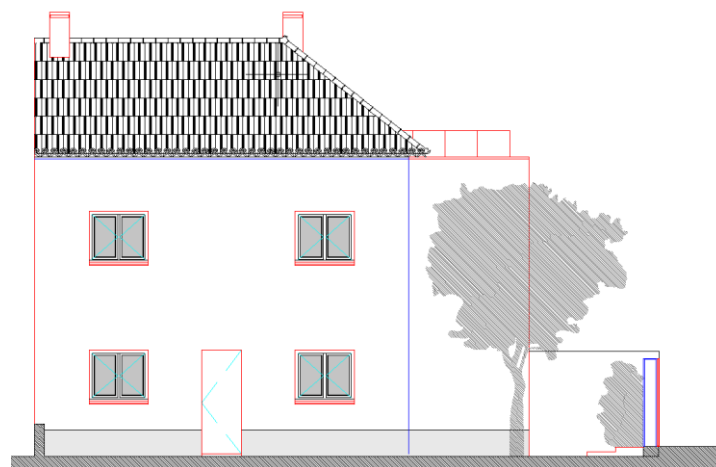


Figura 6-3 - Alçado Sul

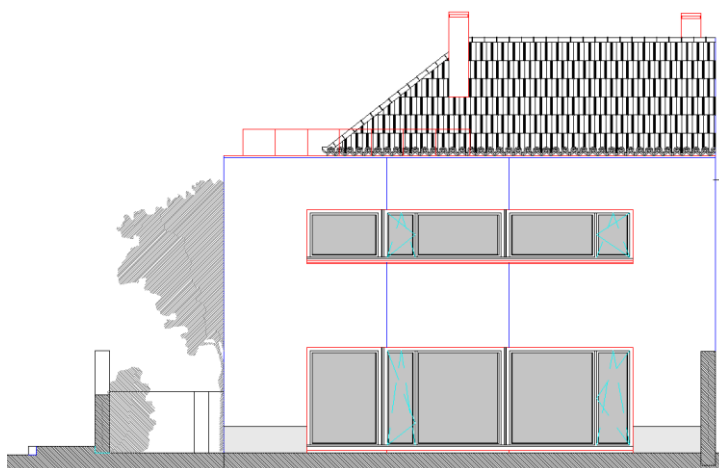


Figura 6-4 - Alçado Norte

Do ponto de vista construtivo, trata-se de uma construção com estrutura resistente construída em betão armado, com lajes aligeiradas de vigotas pré-fabricadas e blocos de betão. As paredes exteriores, assim como da alguma compartimentação interior é realizada por panos duplos, ou simples, de alvenaria em tijolo cerâmico furado.

### 6.2.3. Caracterização dos elementos construtivos

Tendo em consideração o período de edificação, considerou-se que o edifício detém sistemas construtivos tradicionais e não possui isolamento térmico.

Ininterruptamente descrevem-se, segundo o exposto no ponto 2.4.2 deste documento, as características construtivas do edifício na sua situação atual. Far-se-á a caracterização detalhada de cada elemento construtivo, particularmente paredes exteriores, pavimento térreo, laje de esteira, cobertura plana, pontes térmicas e vãos envidraçados, identificando os materiais constituintes e as propriedades que afetam o desempenho térmico (espessura, condutibilidade e resistência térmica). Os valores de condutibilidade térmica dos diferentes materiais e das resistências térmicas das soluções construtivas forma obtidas dos ITE50 e do ITE54.

#### a) Parede de envolvente exterior

As paredes exteriores, são paredes duplas de 0.30 m, de cor clara, compostas por: um revestimento exterior em argamassa de reboco tradicional com a espessura de 0.015 m, e condutibilidade térmica de 1.30 W/(m.°C); alvenaria de tijolo cerâmico de 11 de resistência térmica de 0.27 (m<sup>2</sup>°C)/W; caixa de ar com 0.05 m de espessura, e resistência térmica de 0.180 (m<sup>2</sup>.°C)/W; estuque tradicional com 0.015 m de espessura, e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.40 W/(m.°C).

A parede de envolvente exterior apresenta um coeficiente  $U=1.06$  W/(m<sup>2</sup>.°C).

#### b) Paredes de envolvente interior (com o edifício anexo)

As paredes da envolvente interior do edifício ou paredes meeira, são paredes duplas com a espessura de 0.22 m, de cor clara, na zona de contacto com o edifício anexo sob alçado poente, composta por: revestimento exterior em argamassa e reboco tradicional com 0.015 m de espessura, e condutibilidade de 1.30 W/(m.°C); pano de alvenaria de tijolo de 9 e resistência térmica de 0.230 (m<sup>2</sup>°C)/W; caixa de ar com 0.03 m de espessura, resistência térmica de 0.180 (m<sup>2</sup>.°C)/W; tijolo cerâmico de 7 e resistência térmica de 0.190 (m<sup>2</sup>°C)/W; estuque tradicional com 0.015 m de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.40 W/(m.°C).

A parede de envolvente interior apresenta um coeficiente  $U=1.10$  W/(m<sup>2</sup>.°C).

#### c) Pavimento térreo

O pavimento térreo do edifício não detém isolamento térmico, e é constituído por revestimento de piso, cerâmica vidrada, com 0.02 m de espessura, e condutibilidade de 1.30 W/(m<sup>2</sup>°C); betonilha de regularização com 0.05 m de espessura, e condutibilidade de 0.80 W/ (m.°C); laje em betão armado de 0.20 m de espessura e com uma condutibilidade térmica de 2.0 W/ (m.°C).

O pavimento térreo apresenta um coeficiente  $U= 1.35$  W/(m<sup>2</sup>.°C).

#### d) Laje de esteira

A laje de esteira do imóvel, com 0.21 m de espessura, é composta: revestimento de madeira semi-densa com 0.02 m espessura, e condutibilidade térmica de 0.180 W/(m.°C); espuma de polietileno com 0.01 m de espessura, e condutibilidade térmica de 0.50 W/(m.°C); painel de OSB com 0.02 m de espessura, e condutibilidade térmica de 0.130 W/(m.°C); caixa de ar com 0.14 m de espessura, resistência térmica 0.180 (m<sup>2</sup>°C)/W, onde coexistem os barrotes de suporte do pavimento; placas de gesso cartonado com 0.02 m de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m.°C).

A laje de esteira apresenta um coeficiente  $U=1.06$  “/(m<sup>2</sup>.°C).

#### e) Cobertura inclinada

Quanto à cobertura do edifício, com um espessura de 0.31 m, é composta por: telhas cerâmicas com 0.03 m de espessura, e condutibilidade térmica de 0.6 W/m.°C; argamassa para fixação com 0.03 m de espessura, e condutibilidade térmica de 0.80 W/(m.°C); laje aligeirada com 0.25 m de espessura, com base em vigotas pré-fabricadas e blocos de betão perfurados, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.0875 W/(m.°C).

A cobertura inclinada apresenta um coeficiente  $U=2.19$  “/(m<sup>2</sup>.°C).

#### f) Cobertura plana

A cobertura do edifício plana, com um espessura de 0.35 m, é composta por: telhas cerâmicas com 0.014 m de espessura, e condutibilidade térmica de 0.6 W/(m.°C); argamassa de regularização com 0.05 m de espessura, e condutibilidade térmica de 0.80 W/(m.°C); laje aligeirada com 0.25 m de espessura, com base em vigotas pré-fabricadas e blocos de betão perfurados, e condutibilidade térmica de 1.0875 W/(m.°C); estuque tradicional com 0.02 m de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.430 W/(m.°C).

A cobertura plana apresenta um coeficiente  $U=1.89$  “/(m<sup>2</sup>.°C).

### g) Pontes térmicas

Quanto as pontes térmicas, nesta tipologia construtiva não possuem qualquer tipo de tratamento especial. Solução que promove um elevado coeficiente de transmissão linear e como consequência grandes perdas térmicas.

O estudo destes elementos construtivos foi baseado na norma europeia ISO 10211, tendo sido realizada uma análise das através do cálculo numérico por elementos finitos bidimensionais.

#### 6.2.4. Caracterização da envolvente opaca

Como se pode constatar pelos dados apresentados da Tabela 18, os coeficientes de transferência de calor para as soluções previstas em projeto e apresentadas anteriormente, não se adequam aos valores de referência em vigor para a zona climática I1 V1.

Por se tratar da zona climática de menor exigência em análise, é possível concluir que os coeficientes de transferência obtidos dos elementos opacos, não se adequam as restantes zonas climáticas, todavia mais exigentes.

Tabela 18 - Resumo dos coeficientes de transferência de calor ( $W/^\circ C$ )

Coeficientes de transferência de calor da solução de projeto				
Elemento	Tipo de solução	Solução A ( $W/^\circ C$ )	I1 V1 ref.	dif. (%)
Paredes Exteriores	Parede dupla de alvenaria	126,83	84,33	-50%
Parede Meeira	Parede dupla de alvenaria	30,53	24,98	-22%
Pavimento Térreo	Laje de betão	63,45	39,18	-62%
Laje de esteira	Estrutura e revestimento de madeira	53,49	27,73	-93%
Cobertura plana	Laje aligeirada e telhas cerâmicas	30,26	7,21	-320%
Vãos opacos exteriores	Portas de madeira	10,47	9,77	-7%
Pontes térmicas lineares	sem tratamento	115,01	96,41	-19%

### 6.2.5. Caracterização da envolvente envidraçada

Prosseguindo com a análise dos elementos que compõem a envolvente do edifício, surge a envolvente envidraçada. A arquitetura do edifício aplica enquanto envolvente não opaca, vãos envidraçados simples sobre 3 dos alçados (alçado sul, nascente e norte), apostando, no entanto com destaque para o alçado sul e alçado norte onde se desenvolve a maior área de superfície envidraçada.

Com um fator solar global do envidraçado de 0.50 e um coeficiente de transmissão de 5.10 W/(m<sup>2</sup>.°C), o sistema de vidros (vidro simples incolor de 4 mm) recai sobre uma solução, cujo fator solar é de 0.77, sem qualquer tipologia de tratamento e uma caixilharia de madeira ou classificação de permeabilidade do ar.

Nesta primeira análise, não existem quaisquer equipamentos de sombreamento no projeto em estudo.

Tabela 19 - Caracterização dos vãos envidraçados

Vão envidraçado	Orientação	U.A (W/°C)	Fator Solar
Caixilho 1	S	26,92	0,77
Caixilho 2	E	22,85	0,77
Caixilho 3	N	26,27	0,77
Caixilho 4	NW	29,99	0,77
Caixilho 5	N	16,42	0,77
Caixilho 6	NW	15,71	0,77
Caixilho 7	N	8,62	0,77
Caixilho 8	N	13,77	0,77

Pelo exposto na Portaria n.º 349-B/2013 e na Tabela 3, o fator solar dos vãos envidraçados sem proteção solar considerados em projeto, não cumpre com o estabelecido enquanto valores máximos para estes elementos nas diferentes zonas climáticas.

### 6.2.6. Descrição dos sistemas

Também os sistemas de equipamentos de ventilação, climatização, entre outros detêm um forte impacto no desempenho energético do edifício. Nesse contexto, são analisados de seguida os sistemas de projeto de maior relevância.

#### a) Sistema de renovação de ar

No que diz respeito à renovação de ar, esta processa-se de forma natural, pelas aberturas na envolvente, através dos vãos envidraçados, condutas de extração existentes na cozinha, sem qualquer recurso a dispositivos de admissão ou extração de ar na fachada do edifício. O imóvel encontra-se a uma distância inferior a 5 km da costa e num meio urbano.

A caixilharia de madeira com elevada permeabilidade ao ar, sem caixas de estore ou elementos de sombreamento, e a área envidraçada inferior a 15% da área de pavimento, existindo um exaustor na cozinha e instalações sanitárias com funcionamento pontual, não cumpre com a norma NP 1037-1.

Por simplificação do cálculo, na determinação do balanço energético do edifício em estudo considerou-se o Rph igual a 0.6. Este valor foi considerado de forma a permitir respeitar todos os requisitos dos métodos de previsão estabelecidos no REH.

#### b) Sistema de climatização

No edifício tido como caso de estudo, o sistema equipado para as necessidades de aquecimento, é do tipo radiadores, cuja fonte de energia é a eletricidade e para uma potência total de 8.0 kW. Com uma taxa de eficiência idêntica à taxa de referência este sistema responde à totalidade da parcela útil de aquecimento.

Por sua vez, para a realização do arrefecimento foi considerado o equipamento de tipologia split, também com a eletricidade como fonte de energia e potência de 8.0 kW. A eficiência do sistema aplicado é de 3.0, tal como o COP/dia considerado e respetiva resistência.

### c) Sistema de produção AQS

Aquando do cálculo das necessidades de águas quentes sanitárias, este consiste num consumo de 4 habitantes, ou seja,  $T_{n+1}$ ).

Assim para a produção das AQS, foi considerado como sistema instalado o sistema de referência, um esquentador a gás butano com uma potência de 19 kW e com uma taxa de eficiência de 0.84.

### d) Outros equipamentos

São desconhecidos os equipamentos considerados em projeto para a iluminação e de constituição da lavandaria e cozinha.

## 6.3. Simulação energética do edifício no estado atual

### 6.3.1. Principais indicadores energéticos

De forma a verificar os indicadores energéticos do caso de estudo, foram realizadas simulações nas quatro zonas climáticas, obtendo-se um conjunto de dados representativos das necessidades anuais de energia útil para o aquecimento durante o período de inverno, arrefecimento na estação de verão, produção de água quente sanitária e energia primária durante todo o ano, que sintetizados dão origem a Tabela 20.

Tabela 20 - Valores nominais da solução base

INDICADORES DE ENERGÉTICOS					
	unid.	Simulação I3 V3	Simulação I3 V1	Simulação I1 V3	Simulação I1 V1
<b>Nic</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	164,23	173,02	94,56	106,72
<b>Ni</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	82,91	88,85	59,65	68,52
<b>Nvc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	18,31	<u>3,57</u>	13,83	<u>1,23</u>
<b>Nv</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	14,84	6,41	12,92	3,57
<b>Qa/Ap</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	15,54	15,54	15,54
<b>Www</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Eren</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ntc</b>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano	446,37	453,08	268,46	287,35
<b>Nt</b>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano	238,13	245,95	178,37	192,76
<b>R</b>		<b>1,87</b>	<b>1,84</b>	<b>1,51</b>	<b>1,49</b>

Analisando os resultados apresentados na tabela anterior verifica-se que, para as soluções construtivas a apresentadas anteriormente, independente da zona climática os indicadores de aquecimento são superiores aos requisitos mínimos exigidos para o edifício em análise. Desta forma, não verificando o estabelecido no REH ( $Nic < Ni$ ), ou seja, o edifício não verifica o cumprimento das necessidades de aquecimento.

Quanto as necessidades de energia útil para arrefecimento, constata-se que nas zonas climáticas de menores ganhos térmicos (I3 V1 e I1 V1), os indicadores estão abaixo dos requisitos mínimos, correspondendo ao estabelecidos no REH ( $Nvc < Nv$ ). Nas restantes zonas climáticas, mais exigentes no período de verão, os valores de Nvc são superiores aos valores de Nv, não verificando as necessidades de arrefecimento do imóvel.

Relativamente as necessidades nominais de energia primária identifica-se valores acima do mínimo requerido para as diferentes zonas climática. Pelo que se conclui que o edifício não vislumbra o cumprimento das necessidades de energia primária estabelecidas no REH, ou seja,  $Ntc < Nt$ .

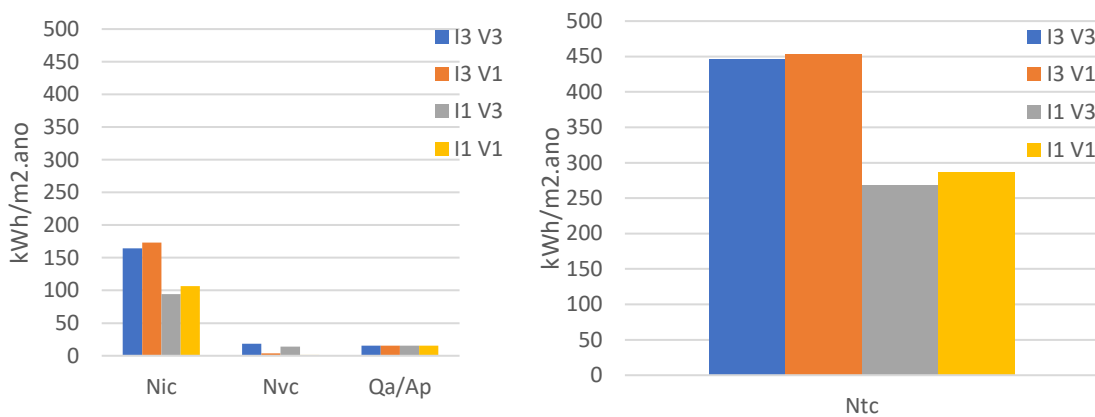
Nas necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias (Qa/Ap), é considerado o sistema de referência para todas as simulações realizadas, pelo que não se verificam diferenças com a alteração da zona climática.

Dada a ausência de um sistema de ventilação e de um sistema de energia renovável, verificam-se valores nulos para os indicadores Www e de Eren.

Segundo o exposto nos capítulos anteriores, os resultados obtidos não garantem as exigências atuais de projeto, podendo afirmar-se que o edifício em estudo não é, nem está próximo de se tornar um edifício de designação NZEB.

O Gráfico 6-1 apresenta a comparação dos principais indicadores de energia.

Necessidades nominais anuais de energia útil e necessidades nominais globais de energia primária



*Gráfico 6-1 - Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (esquerda) e comparação das necessidades globais anuais primárias (direita)*

Analisando os resultados do gráfico anterior conclui-se que a zona climática I1 V1 é a menos exigente em termos globais, por este motivo será tida como referência na continuação do estudo energético do edifício, sob a denominação Simulação A.

Na Tabela 21, é apresentada a comparação entre os indicadores de desempenho tidos pelo edifício em análise e os valores de referência para a zona climática.

Sem qualquer percentagem de energia renovável utilizada. Ou seja, sem cumprir os requisitos de aplicação de energia renováveis estabelecido para um edifício NZEB.

Tabela 21 - Indicadores de desempenho

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Ref.	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	171,29	-56%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	2,98	100%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	18,49	-11%
Emissões CO <sub>2</sub>	Toneladas/ano	6.42	0.75	-856%

A comparação entre as diferentes situações dos valores apresentados na tabela anterior, surge com o intuito de identificar o impacto dos requisitos da qualidade térmica da envolvente.

Examinando os valores obtidos constata-se que a maior percentagem de perdas térmicas se regista durante o período de inverno, onde o sistema de aquecimento necessita de cerca de 56%, seguida pelo sistema de águas quentes sanitárias cujo equipamento requer mais 11% de energia para garantir a qualidade térmica interior mínima.

Esta desigualdade deve-se maioritariamente aos valores dos coeficientes de transmissão térmica, pois no edifício em análise são mais elevados que os valores de referência, o que promove o desempenho energético de aquecimento desfavorável.

Quanto ao sistema de produção de AQS, contempla-se a necessidade de atualização do equipamento por outro de maior capacidade e eficiência.

As emissões de gases de efeito de estufa, estimadas são de 6.42 toneladas por ano, valor oito vezes e meia superior ao valor definido como limite máximo de emissões de CO<sub>2</sub>.

A seguir, o Gráfico 6-2 apresenta a comparação dos principais indicadores de energia.

Gráficos referentes às necessidades nominais globais de energia útil em percentagem

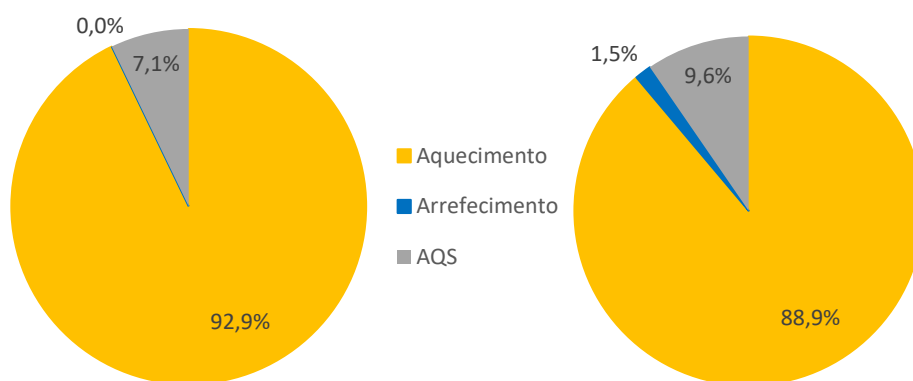


Gráfico 6-2 - Comparação da percentagem de energia primária de uso com sem fontes de energia renovável (Simulação A à esquerda e de referência à direita)

De forma mais pormenorizada, a Tabela 22 apresenta os principais indicadores tidos para o período de aquecimento.

Tabela 22 - Indicadores de Aquecimento da solução base

INDICADORES DE AQUECIMENTO			
Perdas térmicas	unid.	Simulação A	(%)
Cobertura	W/°C	30,26	5%
Paredes Exteriores	W/°C	210,85	34%
Portas	W/°C	10,47	
Pavimentos	W/°C	63,45	10%
Vãos Envidraçados	W/°C	160,55	25%
Renovação de ar	W/°C	176,06	27%
<b>TOTAL</b>	W/°C	651,64	100%
<b>Total de referência</b>	W/°C	551,39	-15%

Analisando os resultados da tabela anterior conclui-se que a maior percentagem de perdas térmicas ocorre pelas paredes e portas exteriores, cerca de 34%, seguida pela renovação de ar e vãos envidraçados cujas perdas térmicas são de 27% e 25% respetivamente. Da envolvente exterior e interior, os elementos opacos são os que detêm maior área, e como tal é possível verificar a debilidade destes elementos, dado que, a

percentagem conjunta corresponde a cerca de 49% (paredes e portas – 34%; cobertura – 5%; pavimento – 10%).

Ainda que as perdas afetas à ventilação sejam elevadas, quase um terço do valor global, esta possui um papel importante na prevenção do sobreaquecimento do imóvel durante o período de arrefecimento.

A Figura 6-5 apresenta as percentagens das perdas térmicas no período de inverno.

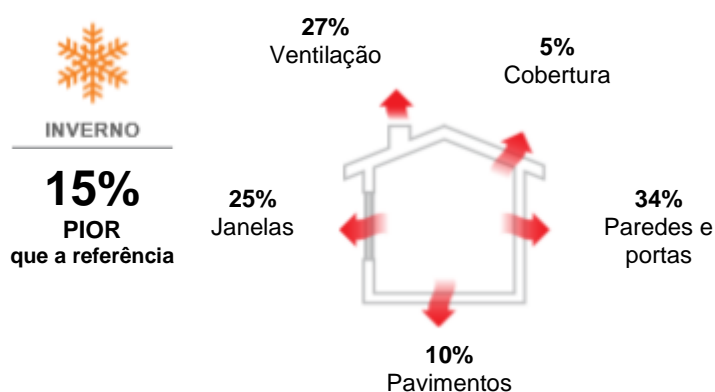


Figura 6-5 - Perdas de calor no período de Inverno

Referente aos indicadores obtidos para a análise da estação de arrefecimento, estes são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Indicadores de Arrefecimento da solução base

INDICADORES DE ARREFECIMENTO			
Ganhos térmicos	unid.	Simulação A	(%)
Cobertura	kWh/ano	377,00	6%
Paredes Exteriores	kWh/ano	796,70	14%
Portas	kWh/ano	58,91	
Pavimentos	kWh/ano	0,00	0%
Vãos Envidraçados	kWh/ano	3244,69	52%
Ganhos internos	kWh/ano	1792,95	29%
<b>TOTAL</b>	kWh/ano	6270,25	100%
<b>Total de referência</b>	kWh/ano	6071,72	-3%

Como expectável, a maior percentagem de ganhos térmicos regista-se pela radiação incidente nos vãos envidraçados, com mais de metade da totalidade dos ganhos térmicos. De seguida, a percentagem de ganhos internos promovida por fontes internas de calor, (equipamentos, iluminação, pessoas) correspondendo a 29% da totalidade dos ganhos térmicos.

A Figura 6-6 apresenta as percentagens dos ganhos térmicos no período de verão.

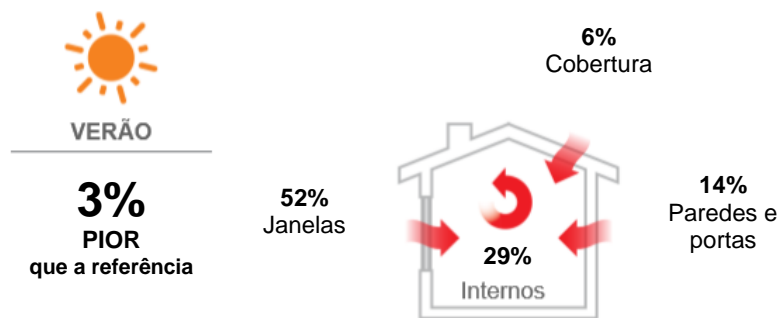


Figura 6-6 - Ganhos térmicos no período de Verão

#### 6.4. Simulação energética com Thermobuild®

Neste ponto, como objetivo dissertação é apresentado o estudo de aplicação do produto “Thermobuild®” para aproximação ao desempenho NZEB. Este estudo consiste numa análise térmica e energética das soluções construtivas passíveis de intervenção, para otimização da eficiência energética do edifício.

Para proceder a esta análise, foram contemplados requisitos mais exigentes no se refere à qualidade térmica da envolvente, necessidades energéticas e a utilização de energia oriunda de fontes de energia renovável, em cerca de 50% mais eficientes face aos apresentados na legislação em vigor.

#### 6.4.1. Caracterização dos elementos construtivos

A definição dos elementos construtivos em análise foi efetuada tendo como base o exposto no ponto 6.2.3 do presente documento, agora com o incremento do produto “Thermobuild®” na sua constituição.

Para desencadear a análise global do edifício, foi necessário proceder a alteração do modelo de cálculo desenvolvido anteriormente. Recorrendo ao menu de descrição dos elementos construtivos, perante a identificação das diferentes camadas, foi possível gerar uma nova referência e realizar a introdução das suas características técnicas.

Com a introdução dos respetivos dados, o programa permitiu a verificação das características térmicas do novo elemento construtivo, nomeadamente:

- Coeficiente de transmissão térmica ( $W/m \cdot ^\circ C$ );
- Capacidade térmica ( $J/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

##### a) Paredes da envolvente exterior

As paredes exteriores, são paredes duplas de 0.30 m, de cor clara, composta por: um revestimento argamassa e reboco tradicional com a espessura de 0.015 m, e condutibilidade de  $1.3 W/(m \cdot ^\circ C)$ ; isolamento térmico em Thermobuild® com 5 cm de espessura, de condutibilidade térmica  $0.059 W/(m \cdot ^\circ C)$ ; alvenaria de tijolo cerâmico de 11 e resistência térmica de  $0.407 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ; estuque tradicional com 0.015 m de espessura, e condutibilidade térmica de  $0.40 W/(m \cdot ^\circ C)$ .

As paredes apresentam um coeficiente de transmissão térmica de  $0.62 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

##### b) Paredes da envolvente do edifício anexo

As paredes meias, são paredes duplas com a espessura de 0.22 m, de cor clara, na zona de contacto com o edifício anexo sob alçado poente, composta por: revestimento exterior em argamassa e reboco tradicional com 0.015 m de espessura, condutibilidade de  $1.3 W/(m \cdot ^\circ C)$ ; pano de alvenaria de tijolo cerâmico de 9 e resistência térmica de  $0.230 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ; isolamento térmico em Thermobuild® com 3 cm de espessura, de

condutibilidade térmica é de  $0.059 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; tijolo cerâmico de 7 e resistência térmica de  $0.190 \text{ (m}^2\text{C)}/\text{W}$ ; estuque tradicional com  $0.015 \text{ m}$  de espessura, e condutibilidade térmica de  $0.40 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

As paredes apresentam um coeficiente de transmissão térmica de  $0.81 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ .

### c) Laje de esteira

A laje de esteira do edifício, em contacto com o espaço não útil e com uma espessura total de  $0.21 \text{ m}$ , é composta por: um pavimento de madeira semi-densa com  $0.02 \text{ m}$  de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.180 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; espuma de polietileno com  $0.01 \text{ m}$  de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.50 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; painel de OSB com  $0.02 \text{ m}$  de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.130 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; caixa de ar com  $0.14 \text{ m}$  de espessura onde preside o isolamento térmico em Thermobuild® com  $0.10 \text{ m}$  de espessura, cujo coeficiente de condutibilidade térmica é de  $0.059 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; placas de gesso cartonado com  $0.02 \text{ m}$  de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.250 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

A laje de esteira apresenta o coeficiente de transmissão térmica de  $2.03 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ .

## 6.4.2. Caracterização térmica da envolvente opaca

A aplicação do isolamento térmico com base em resíduos de cortiça e pneumático constitui a principal medida deste estudo, que entra na verificação do balanço e eficiência energética do edifício. Este isolamento, é apenas aplicado nas caixas de ar das paredes duplas exteriores, paredes meias e laje de esteira. Para o primeiro estudo, na zona climática I1 V1 – concelho de Santana (Madeira), é preenchida a totalidade das caixas de ar dos elementos verticais.

Na Tabela 24 é apresentada a comparação entre os coeficientes de transferência de calor obtidos com a introdução de “Thermobuild®” e os valores de referência para os elementos construtivos em análise.

Tabela 24 – Comparação dos coeficientes de transferência de calor ( $w/°C$ )

Coeficientes de transferência de calor da solução Thermobuild				
Elemento	Tipo de solução	Simulação B ( $W/°C$ )	I1 V1 ref.	dif. (%)
Paredes Exteriores	Parede dupla de alvenaria	74,18	84,33	12%
Parede Meeira	Parede dupla de alvenaria	22,48	24,98	10%
Pavimento Térreo	Laje de betão	61,10	39,18	-56%
Laje de esteira	Estrutura e revestimento de madeira	20,68	27,73	25%
Cobertura plana	Laje aligeirada e telhas cerâmicas	30,26	7,21	-320%
Vãos opacos exteriores	Portas de madeira	10,47	9,77	-7%
Pontes térmicas lineares	sem tratamento	115,01	96,41	-19%

Como seria conjecturável, somente os elementos construtivos intervencionados (paredes exteriores, parede meeira e laje de esteira) verificam uma diminuição do coeficiente de transferência de calor. Com maior incidência sobre as paredes exteriores e laje de esteira.

Por se tratar da zona climática I1 V1, a menos desfavorável, é possível concluir que no cálculo das restantes zonas climáticas não será possível otimizar os coeficientes de transferência de calor das paredes exteriores e parede meeira de forma relevante, ficando aquém dos valores de referência.

Constata-se também, que do ponto de vista do isolamento da envolvente, persistem debilidades significativas de índole térmica em alguns elementos, como a cobertura plana, o pavimento térreo e as pontes térmicas lineares. Situação que resulta da tipologia construtiva do edifício, impossibilitando o incremento da espessura do isolamento no interior dos elementos.

## 6.5. Análise do desempenho energético com Thermobuild®

### 6.5.1. Principais indicadores energéticos

Foi considerado benéfico equiparar os resultados conseguidos no edifício afeto a Simulação A, possibilitando a verificação das diferenças entre o edifício submetido à intervenção e o edifício de tido como base de estudo.

De acordo com o evidenciado nos pontos anteriores, os resultados obtidos não satisfazem os requisitos necessários, podendo constatar-se que o edifício em análise ainda está muito longe de atingir a designação de edifício NZEB.

Na Tabela 25 são apresentados os indicadores alcançados para a estação de aquecimento.

Tabela 25 - Indicadores de Aquecimento I1 V1 de solução Thermobuild®

INDICADORES DE AQUECIMENTO				
Perdas térmicas	unid.	Simulação A	Simulação B	dif.(%)
Cobertura	W/°C	30,26	32,50	-7%
Paredes Exteriores	W/°C	210,85	117,34	44%
Portas	W/°C	10,47	10,47	0%
Pavimentos	W/°C	63,45	61,10	4%
Vãos Envidraçados	W/°C	160,55	160,55	0%
Renovação de ar	W/°C	176,06	176,06	0%
<b>TOTAL</b>	W/°C	651,64	558,02	14%
<b>Total de referência</b>	W/°C	551,39		-1%

Analisando os resultados da tabela anterior verifica-se uma diminuição acentuada das perdas térmicas para o exterior das paredes exteriores, cerca de 44%, acompanhada somente pelos pavimentos, com cerca de 4%.

À semelhança da análise anterior, as maiores percentagens de perdas térmicas acontecem associadas a renovação de ar e os vãos envidraçados, com 31% e 29% respetivamente.

Globalmente, a melhoria, é traduzida numa redução de cerca de 14% das perdas térmicas totais, o que se põe o valor próximo do valor de referência, no entanto longe do valor para alcançar o requisito mínimo.

A Figura 6-7 apresenta as percentagens das perdas térmicas no período de inverno.

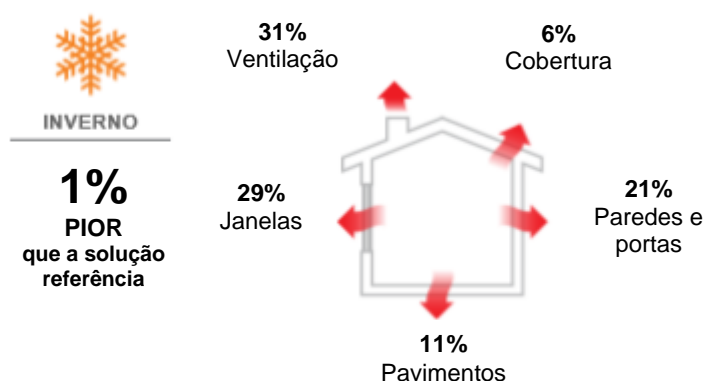


Figura 6-7 – Perdas térmicas no período de Inverno

Relativamente aos principais indicadores obtidos para a estação de arrefecimento, este são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Indicadores de Arrefecimento I1 V1 de solução Thermobuild®

INDICADORES DE ARREFECIMENTO				
Ganhos térmicos	unid.	Simulação A	Simulação B	dif.(%)
Cobertura	kWh/ano	377,00	394,40	-5%
Paredes Exteriores	kWh/ano	796,70	459,14	42%
Portas	kWh/ano	58,91	58,91	0%
Pavimentos	kWh/ano	0,00	0,00	0%
Vãos Envidraçados	kWh/ano	3244,69	3291,33	-1%
Ganhos internos	kWh/ano	1792,95	1792,95	0%
<b>TOTAL</b>	kWh/ano	6270,25	5996,73	4%
<b>Total de referência</b>	kWh/ano	6071,72		1%

Como expectável, a maior melhoria alcançada traduz-se nas paredes exteriores (42%). Esta situação deve-se a igualdade dos valores dos valores de coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo em ambas as estações.

O valor total dos ganhos térmicos é ligeiramente menor face ao valor de referência, garantido o cumprimento d valor limite de referência, mas longe do objetivo deste trabalho.

A Figura 6-8 apresenta as percentagens dos ganhos térmicos no período de verão.

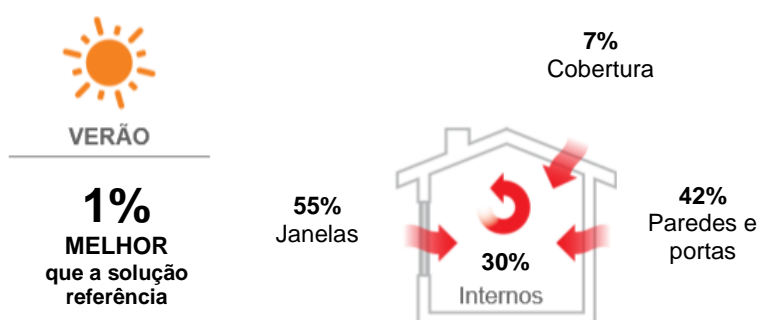


Figura 6-8 - Ganhos térmicos no período de Verão

À semelhança da análise anterior, as maiores percentagens de perdas térmicas acontecem associadas a renovação de ar e os vãos envidraçados, com 31% e 29% respetivamente.

Por sua vez, os indicadores de desempenho são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Indicadores de desempenho I1 V1 de solução Thermobuild®

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Simulação B	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	226,06	15%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	0,00	0%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	20,54	0%
Emissões CO <sub>2</sub>	Toneladas/ano	6,42	5,52	14%

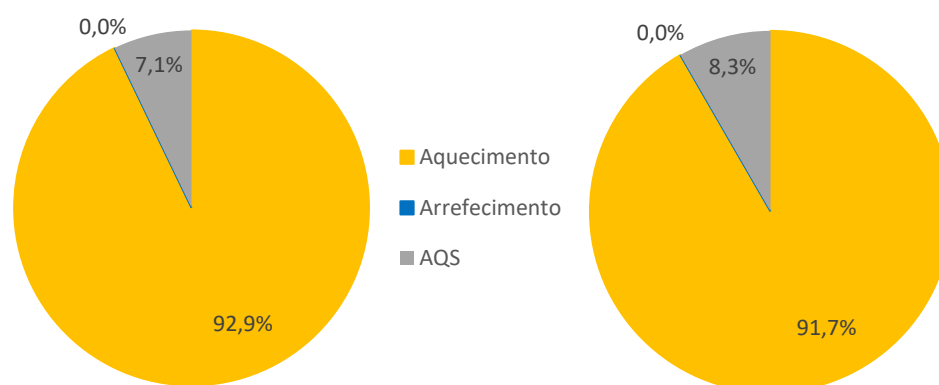
Averiguando os valores tidos na tabela anterior constata-se que a maior melhoria alcançada, pela aplicação do “Thermobuild®” nos elementos construtivos do edifício, ocorre no sistema de aquecimento, com uma diminuição de cerca de 15% das necessidades energéticas.

As emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência têm uma melhoria equivalente, de cerca de 14%, para 5.25 toneladas por ano.

No entanto, estes valores continuam a ser insuficiente para cumprir com os requisitos mínimos para a zona climática em estudo, ficando longe dos requisitos NZEB.

De seguida, o Gráfico 6-3 apresenta a comparação dos principais indicadores de desempenho.

Gráficos referentes às necessidades nominais globais de energia útil em percentagem



*Gráfico 6-3 - Comparação da percentagem de energia primária de uso com sem fontes de energia renovável (Simulação A à esquerda e Simulação B à direita)*

Finalmente, os indicadores energéticos alcançados para o edifício em análise são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Indicadores energéticos da solução Thermobuild®

INDICADORES DE ENERGÉTICOS				
	unid.	Simulação A	Simulação B	dif.(%)
<b>Nic</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	106,72	90,42	<b>15%</b>
<b>Nic/Ni</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1.56	1.32	
<b>Nvc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,23	1,18	<b>4%</b>
<b>Nvc/Nv</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0.35	0.33	
<b>Qa/Ap</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	15,54	0%
<b>Wvw</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Eren</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Ntc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	287,35	246,60	<b>14%</b>
<b>Nt</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	192,76	192.76	
<b>R</b>		<b>1,49</b>	<b>1,28</b>	<b>14%</b>

Ao analisar os resultados apresentados na tabela anterior, verifica-se uma melhoria das necessidades de energia útil para a estação de aquecimento e arrefecimento, no entanto acima dos requisitos mínimos exigidos para o edifício em análise, o valor de Nic (90.42 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é superior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano e o valor de Nvc (1.18 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Relativamente as necessidades de energia primária obteve-se um valor de Ntc de 246.60 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é superior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano.

## 6.6. Simulações de aproximação a NZEB

De acordo com o apresentado nos dois pontos anteriores, os resultados obtidos permitem confirmar que o “Thermobuild®” não satisfaz os requisitos de projeto, podendo afirmar-se que o edifício em análise está longe da designação de edifício NZEB.

Com o intuito de obter a maior eficiência energética possível foi promovido o estudo de várias simulações. Simulações focadas em diferentes especialidades, como os vãos envidraçados, o sistema de ventilação, aquecimento e arrefecimento e produção de águas quentes. Mas também a instalação de sistemas de energia renováveis solar e fotovoltaico.

Inicialmente com uma abordagem individual e posteriormente uma abordagem coletiva. Sempre com o propósito de minimizar as necessidades energéticas e promover a utilização de fontes de energia renováveis para colmatar as baixas necessidades energéticas. De modo a obter o nível de desempenho NZEB estabelecido neste documento, ou seja,  $R=Ntc/Nt$  menor ou igual a 0,05.

### 6.6.1. Caixilharia e vidros

Uma intervenção no âmbito da térmica dos vãos envidraçados possibilita a melhoria não só do seu desenvolvimento energético, como também diminui as infiltrações de ar e promove a ventilação natural do edifício. Esta intervenção, têm também como objetivo maximizar o aproveitamento dos ganhos solares, pelo reforço da proteção à radiação solar no período de verão e aproveitamento durante o período de inverno.

Considerando os vãos envidraçados da solução de projeto sem dispositivos de proteção solar/oclusão noturna de qualquer tipologia, é necessário proceder á sua substituição por uma outra que corrobore com as exigências designadas. Ou seja, 0,5 dos valores de referência.

Para determinar o valor de coeficiente de transmissão térmica da janela tida como solução, recorreu-se ao método de cálculo preconizado na norma ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_f U_f + A_g U_g + l_g \psi_g}{A_f + A_g} \quad (W/(m^2 \cdot ^\circ C)) \quad (2)$$

É então considerada uma solução de janela de PVC com vidro duplo de baixa emissividade, composta por folhas oscilo-batentes. O vidro duplo é constituído por uma lamina exterior de 6 mm com película + câmara de ar de 16 mm + lâmina de 4 mm com coeficiente de transmissão térmica de 1,3 W/(m<sup>2</sup>.°C). A caixilharia, é constituída por perfil com altura de 100 mm e coeficiente de transmissão térmica de 1,2 W/(m<sup>2</sup>.°C).

Na Tabela 29 são apresentados os coeficientes de transmissão térmica dos vão envidraçados.

Tabela 29 - Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado

Caixilho	Af	Uf	Ag	Ug	Lg	$\Psi_g$	Uw
	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> .°C)	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> .°C)	m	W/(m.°C)	W/(m <sup>2</sup> .°C)
<b>1</b>	1,84	1,20	3,44	1,30	19,28	0,08	<b>1,56</b>
<b>2</b>	1,20	1,20	3,28	1,30	16,72	0,08	<b>1,57</b>
<b>3</b>	0,91	1,20	4,24	1,30	19,69	0,08	<b>1,59</b>
<b>4</b>	0,99	1,20	4,89	1,30	22,53	0,08	<b>1,59</b>
<b>5</b>	0,74	1,20	2,48	1,30	12,14	0,08	<b>1,58</b>
<b>6</b>	0,80	1,20	2,28	1,30	11,52	0,08	<b>1,57</b>
<b>7</b>	0,53	1,20	1,16	1,30	6,23	0,08	<b>1,56</b>
<b>8</b>	0,71	1,20	1,99	1,30	10,09	0,08	<b>1,57</b>

Tal como se previa, os valores apresentados da tabela anterior, podemos verificar que a solução aplicada, embora aproxime o coeficiente de transmissão térmico ao valor pretendido de 0,5 do valor de referência, não é suficiente.

Embora a arquitetura não considere dispositivos de proteção solar, tornou-se necessário a colocação dos mesmos, de forma a evitar fenómenos de sobreaquecimento dos espaços. Foi considerada a instalação de um dispositivo de proteção solar/oclusão noturna do tipo persiana de régua de plástico preenchidas com espuma, de resistência térmica de 0,19 (m<sup>2</sup>.°C)/W.

A seguir, na Tabela 30 são apresentados os coeficientes transmissão de calor do vidro com a aplicação do dispositivo de proteção solar.

Tabela 30 - Coeficientes do vão envidraçado com dispositivo de proteção

Caixilho	Uws	Uwdn
	W/(m <sup>2</sup> .°C)	W/(m <sup>2</sup> .°C)
1	1,20	1,38
2	1,21	1,39
3	1,22	1,40
4	1,22	1,41
5	1,21	1,40
6	1,21	1,39
7	1,21	1,38
8	1,21	1,39

Perante a aquisição dos novos coeficientes, foi realizada nova simulação da qual resultam os indicadores de desempenho, apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Indicadores de desempenho da solução de vãos envidraçados

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Simulação B	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	217,29	23%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	0,00	0%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	20,54	0%
Emissões de CO <sub>2</sub>	Toneladas/ano	6,42	5,32	20%

Analisando os valores tidos na tabela anterior constata-se que a maior melhoria alcançada, pela aplicação do novo conjunto de vão envidraçados e elementos de sombreamento, ocorre no sistema de aquecimento, com uma diminuição de cerca de 23% das necessidades energéticas.

As emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência têm uma melhoria equivalente, de cerca de 20%, para 5.32 toneladas por ano.

Na Tabela 32 são apresentados os indicadores energéticos alcançados para o edifício com a intervenção em análise.

Tabela 32 - Indicadores energéticos da solução de vãos envidraçados

INDICADORES DE ENERGÉTICOS				
	unid.	Simulação A	Simulação C	dif.(%)
<b>Nic</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	106,72	86,91	23%
<b>Nvc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,23	2,08	-41%
<b>Qa/Ap</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	15,54	0%
<b>Wvw</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Eren</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Ntc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	287,35	237,83	21%
<b>R</b>		1,49	1,24	20%

Ao examinar os resultados apresentados na tabela anterior, verifica-se uma melhoria das necessidades de energia útil para a estação de aquecimento, no entanto acima dos requisitos mínimos exigidos para o edifício em análise, o valor de Nic (86.91 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é superior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

No sentido oposto regista-se um agravamento das necessidades de energia útil para a estação de arrefecimento, mas com o valor de Nvc (2.08 kWh/m<sup>2</sup>.ano) inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Relativamente as necessidades de energia primária obteve-se um valor de Ntc de 237.83 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é superior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano.

### 6.6.2. AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Para assegurar a boa qualidade do ar interior e diminuir a ocorrência de patologias nos diferentes elementos construtivos (condensações), o edifício em análise necessita da instalação de sistema AVAC eficiente.

O sistema de climatização e ventilação proposto é constituído por um sistema Multi-split de expansão direta com recuperação. As unidades exteriores instaladas numa zona exterior, ao nível do piso 0, e as unidades interiores são do tipo conduta, instaladas em vários espaços a climatizar no interior do teto falso e interligadas a condutas para a

distribuição do ar através de difusores lineares. Foi tida também em conta a instalação de grelhas autorreguláveis nos vãos envidraçados.

Sistema, reversível através de uma bomba de calor, é composto por 4 unidades interiores, tipo mural, instaladas nas divisões principais do imóvel (sala e quartos) e 1 unidade exterior com potencia térmica de arrefecimento de 18kW e para aquecimento 18kW, com eficiência em modo de arrefecimento (EER) 3,2 e aquecimento (COP) de 3,6. Cumprindo com os requisitos expressos anteriormente na Tabela 7 e na Tabela 8..

Os sistemas de ventilação mecânica, de exaustão, são compostos por ventiladores in-line de funcionamento silencioso com relógios programáveis no quadro elétrico e encravamento com as unidades interiores de climatização.

O comando do sistema é realizado de forma local através de termostatos por cada zona e um termostato central programável que permite controlar todo o sistema. O sistema de climatização (Multi-split) está interligado a um sistema de domótica.

Nestas condições, conforme o exposto no ponto 2.4.3, a taxa de renovação de ar interior durante as estações de verão e inverno é de 0,60 h<sup>-1</sup>, obtida através da aplicação LNEC para a ventilação no âmbito do RECS e REH.

A Tabela 33, apresenta os principais indicadores de desempenho tidos para a alteração em análise.

Tabela 33 - Indicadores de desempenho da solução de AVAC

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Simulação D	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	47,25	82%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	0,00	0%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	18,49	10%
Ventilação mecânica	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	5,73	-100%
Emissões de CO <sub>2</sub>	Toneladas/ano	6.42	1.74	73%

Na sequência da análise aos valores apresentados na tabela anterior, verifica-se que a aplicação desta solução proporciona uma melhoria considerável dos consumos energéticos requeridos pelo sistema de aquecimento, com uma diminuição de

aproximadamente 82%. É também alcançada uma redução do consumo de energia tido pelo sistema de produção de AQS.

No entanto, a aplicação do sistema mecânico implica um dispêndio energético até agora não considerado, de 5,73 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

As emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência têm uma melhoria equivalente, de cerca de 73%, para 1.74 toneladas por ano.

Na Tabela 34 são apresentados os indicadores energéticos alcançados para o edifício com a intervenção em análise.

Tabela 34 - Indicadores energéticos da solução de AVAC

INDICADORES DE ENERGÉTICOS				
	unid.	Simulação A	Simulação D	dif.(%)
<b>Nic</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	106,72	75,60	29%
<b>Nvc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,23	2,61	-112%
<b>Qa/Ap</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	15,54	0%
<b>Wvw</b>	kWh/ano	0,00	350,00	-100%
<b>Eren</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Ntc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	287,35	71,47	75%
<b>R</b>		1,49	1,02	32%

Analisando os resultados apresentados na tabela anterior, verifica-se uma melhoria das necessidades de energia útil para a estação de aquecimento, no entanto acima dos requisitos mínimos exigidos para o edifício em análise, o valor de Nic (75.60 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é superior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

No sentido oposto regista-se um agravamento das necessidades de energia útil para a estação de arrefecimento, mas com o valor de Nvc (2.61 kWh/m<sup>2</sup>.ano) inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Relativamente as necessidades de energia primária obteve-se um valor de Ntc de 71.47 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é inferior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano.

Como expectável, em consequência da aplicação de um sistema de ventilação e renovação de ar, contempla-se a necessidade aplicação de energia elétrica para o funcionamento destes sistemas. Obteve-se o valor de 350 kWh/ano.

### 6.6.3. AQS - Águas quentes e sanitárias

Para a produção das águas quentes sanitárias, foi aplicado um sistema do tipo Termoacumulador, com 19 kW de potência e de eficiência 0.95%, dando cumprimento ao estabelecido na Portaria n.º 349-B/2013 (Tabela 12). Com um COP de 2.5, respeita também o delineado na EN 16147.

Com uma capacidade de 300 litros e isolamento em espuma de poliuretano de alta densidade com 100 mm de espessura. O controlo de temperatura é efetuado através de uma sonda e dispõe de indicador de temperatura. As redes de tubagem de distribuição do sistema possuem um isolamento que garante uma resistência térmica de pelo menos 0.25 (m<sup>2</sup>.°C) /W. Com as seguintes especificações:

- Número anual de dias de consumo de AQS – 365;
- Consumo de água quente sanitária – 160 l/dia a 50 °C;
- Instalação do depósito de acumulação – interior.

Na Tabela 35 são apresentados os principais indicadores de desempenho para a solução em análise.

Tabela 35 - Indicadores de desempenho da solução de AQS

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Simulação E	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	264,30	1%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	0,00	0%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	40,87	-99%
Emissões de CO2	Toneladas/ano	6.42	6.72	-5%

Na sequência da análise aos valores apresentados na tabela anterior, verifica-se que a aplicação desta solução prejudica de forma pontual os consumos energéticos tidos pelo sistema de produção de águas quentes sanitárias, com um incremento de quase 100%, para os 40,87 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

As emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência têm um agravamento, de cerca de 5%, para 6.72 toneladas por ano.

Na Tabela 36 são apresentados os indicadores energéticos alcançados para o edifício com a intervenção em análise.

Tabela 36 - Indicadores energéticos da solução de AQS

INDICADORES DE ENERGÉTICOS				
	unid.	Simulação A	Simulação E	dif.(%)
<b>Nic</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	106,72	105,72	1%
<b>Nvc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,23	1,30	-6%
<b>Qa/Ap</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	13,99	10%
<b>Wvw</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Eren</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Ntc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	287,35	305,17	-6%
<b>R</b>		<b>1,49</b>	<b>1,39</b>	<b>7%</b>

Examinando os resultados apresentados na tabela anterior, verifica-se uma melhoria das necessidades de energia útil para a estação de aquecimento, no entanto acima dos requisitos mínimos exigidos para o edifício em análise, o valor de Nic (105.72 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é superior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

No sentido oposto regista-se um agravamento das necessidades de energia útil para a estação de arrefecimento, mas com o valor de Nvc (1.30 kWh/m<sup>2</sup>.ano) inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Relativamente as necessidades de energia primária obteve-se um valor de Ntc de 305.17 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é inferior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano.

Previsivelmente, a aplicação de um sistema mais eficiente promove uma diminuição do consumo energético das necessidades para produção de AQS, de cerca 10%, para 13.99 kWh/ m<sup>2</sup>.ano.

#### 6.6.4. Energias Renováveis

Segundo o Decreto-Lei n.º 39/2013, para o ano de 2020, a meta de utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final de energia é fixada em 31%.

Para alcançar essa meta são propostos dois sistemas técnicos distintos para o edifício em análise. Um sistema solar térmico, dedicado ao sistema de produção de AQS e um sistema solar fotovoltaico, dedicado à produção de energia elétrica para o funcionamento dos sistemas de aquecimento e arrefecimento. Os pontos seguintes apresentam a descrição dos sistemas propostos.

##### 6.6.4.1. Descrição do sistema solar térmico

O sistema solar térmico considerado é composto por dois coletores solares planos, perfazendo uma área total de 2.60 m<sup>2</sup>. Instalados sobre a cobertura plana, de maior cota altimétrica do edifício, sobre uma estrutura em perfis de alumínio com ligações roscadas, com porcas, parafusos e anilhas em aço inoxidável, garantindo resistência à ação dos ventos. Sob a orientação do Azimute Sul, com uma inclinação de 35° e sem o registo de algum tipo de obstrução significativa do horizonte.

Apoiados a um termoacumulador de 300 litros de capacidade com permutador de calor em camisa, com uma eficácia de 95%, localizado no interior da fração, na posição vertical, construído em aço vitrificado e possuindo isolamento térmico em poliuretano com 100 mm de espessura. As perdas estáticas não devem ultrapassar o valor de 3.83 kWh/dia. De forma a minorar as perdas térmicas, a rede de distribuição de água deverá ser composta pelo sistema de multicamada, com a rede de distribuição de água quente dotada de um isolamento térmico com espessura superior a 10 mm e as torneiras de rotulo energético A ou superior.

O contributo energético do sistema é de 2132,54 kWh/ano, obtido através da folha de cálculo SCE.ER da DGEG.

#### 6.6.4.2. Descrição do sistema solar fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico de autoconsumo, previsto para o edifício em análise é composto por 16 módulos fotovoltaicos, organizados em 1 *string* de potência nominal de 2.6 kW, perfazendo uma área total de 16 m<sup>2</sup>. Instalado sobre a cobertura inclinada sob o alçado sul, sobre uma estrutura em perfis de alumínio com ligações roscadas, com porcas, parafusos e anilhas em aço inoxidável, garantindo resistência à ação dos ventos. Sob a orientação do Azimute Sul, com uma inclinação de 35° e com bloco inversor com eficiência de 95%. A produção energética do sistema é estimada em 6172 kWh/ano, sendo que a parcela para autoconsumo corresponde apenas a 65% e o restante submetido à rede.

São instalados os acessórios necessários para o correto funcionamento da instalação, nomeadamente, vaso de expansão, purgadores, válvulas de corte, entre outros.

Adotou-se, para efeito de cálculo do balanço energético que 65% é utilizado para colmatar as necessidades de energia para funcionamento dos sistemas de aquecimento e arrefecimento.

O contributo energético do sistema é de 4040.04 kWh/ano (Eren), obtido através da folha de cálculo SCE.ER da DGEG.

Na Tabela 37 são apresentados os principais indicadores de desempenho para a solução em análise.

Tabela 37 - Indicadores de desempenho da solução de Energias Renováveis

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Simulação F	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	75.11	72%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	0,00	0%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	13.98	32%
Energia renovável	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	40,32	100%
Emissões de CO2	Toneladas/ano	6,42	1,08	83%

Analisando os valores apresentados na tabela anterior, verifica-se que as aplicações dos sistemas técnicos proporcionam uma redução considerável dos consumos energéticos. Com o sistema de aquecimento a diminuir cerca de 72% e o sistema de produção de AQS, cerca de 32%. Assim como aplicação energia na rede de cerca 40,32 kWh/m<sup>2</sup>.ano. As emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência têm uma melhoria equivalente, de cerca de 83%, para 1.08 toneladas por ano.

Na Tabela 38 são apresentados os indicadores energéticos alcançados para o edifício com a intervenção em análise.

*Tabela 38 - Indicadores energéticos da solução de Energias Renováveis*

INDICADORES DE ENERGÉTICOS				
	unid.	Simulação A	Simulação F	dif.(%)
<b>Nic</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	106,72	84,87	20%
<b>Nvc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,23	2,18	-77%
<b>Qa/Ap</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	15,54	0%
<b>Wvw</b>	kWh/ano	0,00	0,00	0%
<b>Eren</b>	kWh/ano	0,00	6172,00	100%
<b>Ntc</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	287,35	48,77	83%
<b>R</b>		1,49	0,66	56%

Ao analisar os resultados apresentados na tabela anterior, verifica-se uma melhoria das necessidades de energia útil para a estação de aquecimento, no entanto acima dos requisitos mínimos exigidos para o edifício em análise, o valor de Nic (84,87 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é superior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

No sentido oposto regista-se um agravamento das necessidades de energia útil para a estação de arrefecimento, mas com o valor de Nvc (2.18 kWh/m<sup>2</sup>.ano) inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Relativamente as necessidades de energia primária obteve-se um valor de Ntc de 48,77 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é inferior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano. Desta forma dando cumprimento ao requisito estabelecido no REH, ou seja, Ntc < Nt.

Como consequência, da instalação dos sistemas técnicos propostos, a energia proveniente de fontes de energia renovável representa o *input* de cerca 6172 kWh/ano para colmatar algumas das necessidades energéticas do edifício.

## 6.7. Simulação conjunta NZEB

Tal como já se previa, os resultados obtidos permitem concluir que somente a aplicação individual do produto “Thermobuild®” ou de uma das restantes soluções não satisfaz os requisitos mínimos para considerar o edifício em estudo um edifício de classe energética NZEB.

Para alcançar esse objetivo, o projeto que se segue foi elaborado com o intuito de que o edifício seja caracterizado como um edifício NZEB, ou seja, procurando a diminuição das necessidades energéticas e o aproveitamento das fontes de energia renováveis de modo a suprimir as baixas necessidades energéticas obtidas.

A Tabela 39 apresenta os indicadores de aquecimento obtidos do estudo da análise conjunta para a estação de aquecimento.

*Tabela 39 - Indicadores de aquecimento da solução conjunta*

INDICADORES DE AQUECIMENTO				
Perdas térmicas	unid.	Simulação A	Simulação G	dif.(%)
Cobertura	W/°C	32,50	32,50	0%
Paredes Exteriores	W/°C	210,85	96,66	54%
Portas	W/°C	10,47	3,49	67%
Pavimentos	W/°C	63,45	63,45	0%
Vãos Envidraçados	W/°C	160,55	38,10	76%
Renovação de ar	W/°C	176,06	12,60	93%
<b>TOTAL</b>	W/°C	653,88	246,80	62%
<b>Total de referência</b>	W/°C	551,39		55%

Analisando os resultados da tabela anterior conclui-se que a aplicação conjunta das soluções permite uma melhoria do comportamento térmico dos diferentes elementos construtivos e sistema durante a estação de aquecimento.

Verifica-se também, que neste caso a maior percentagem de perdas térmicas, todavia se desenvolve na envolvente opaca, correspondendo a 80% das perdas térmicas totais (paredes e portas – 40%; pavimento – 26%; cobertura – 13%).

A renovação de ar é a que mais beneficia com as soluções adotadas, obtendo uma redução de cerca 93% para os 12.60 W/°C.

A Figura 6-9 - Perdas térmicas no período de Inverno apresenta as percentagens das perdas térmicas no período de inverno.

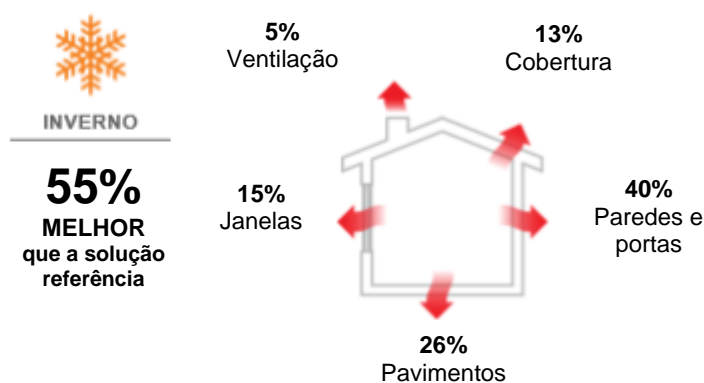


Figura 6-9 - Perdas térmicas no período de Inverno

Relativamente aos indicadores de desempenho para a estação de arrefecimento obtidos, estes são apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 - Indicadores de arrefecimento da solução conjunta

INDICADORES DE ARREFECIMENTO				
Ganhos térmicos	unid.	Simulação A	Simulação G	dif.(%)
Cobertura	kWh/ano	377,00	377,00	0%
Paredes Exteriores	kWh/ano	796,70	459,14	42%
Portas	kWh/ano	58,91	20,50	65%
Pavimentos	kWh/ano	0,00	0,00	0%
Vãos Envidraçados	kWh/ano	3244,69	582,34	82%
Ganhos internos	kWh/ano	1792,95	1792,95	0%
<b>TOTAL</b>	kWh/ano	6270,25	3231,93	48%
<b>Total de referência</b>	kWh/ano	6071,72		47%

Previsivelmente, os ganhos térmicos sofrem igualmente uma redução significativa durante o período de arrefecimento, obtendo-se uma redução de cerca 48% da totalidade dos ganhos térmicos do edifício.

A Figura 6-10 apresenta as percentagens dos ganhos térmicos no período de verão.

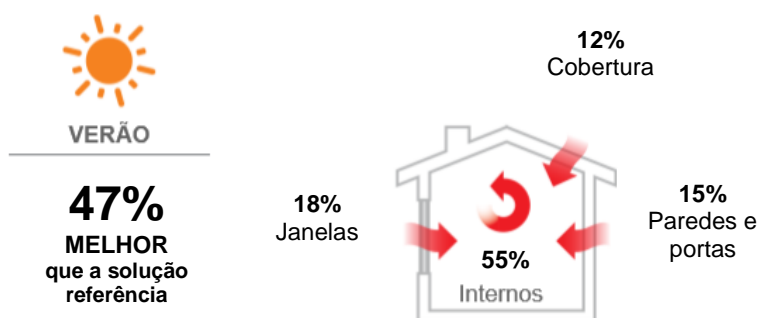


Figura 6-10 - Ganhos térmicos no período de Verão

Os indicadores de desempenho são apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 - Indicadores de desempenho da solução conjunta

INDICADORES DE DESEMPENHO				
Sistema	unid.	Simulação A	Simulação G	dif.(%)
Aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	266,81	42,64	84%
Arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	0,00	0%
AQS	kWh/m <sup>2</sup> .ano	20,54	13,98	32%
Ventilação mecânica	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	5,73	-100%
Energia renovável	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,00	40,32	100%
Emissões de CO2	Toneladas/ano	6,42	0,49	92%

Perante os valores apresentados na tabela anterior, constata-se que o combinar das soluções propostas proporcionam uma redução considerável dos consumos energéticos. Com o sistema de aquecimento a diminuir cerca de 84% e o sistema de produção de AQS, cerca de 32%.

A admissão dos sistemas técnicos de energia renovável permite uma produção de 40,32 kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que corresponde a uma percentagem superior a 62% das necessidades do projeto.

As emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência têm uma melhoria equivalente, de cerca de 92%, para 0.49 toneladas por ano, valor inferior ao requisito máximo de 0.75 toneladas por ano.

Na Tabela 42 são apresentados os indicadores energéticos alcançados para o edifício com a intervenção em análise.

Tabela 42 - Indicadores energéticos da solução conjunta

INDICADORES DE ENERGÉTICOS				
	unid.	Simulação A	Simulação G	dif. (%)
Nic	kWh/m <sup>2</sup> .ano	106,72	52,48	51%
Nvc	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,23	0,64	48%
Qa/Ap	kWh/m <sup>2</sup> .ano	15,54	13,99	10%
Wvw	kWh/ano	0,00	350,00	-100%
Eren	kWh/ano	0,00	6172,00	100%
Ntc	kWh/m <sup>2</sup> .ano	287,35	22,03	92%
<b>R</b>		1,49	0,22	85%

Ao analisar os resultados apresentados na tabela anterior contempla-se que os indicadores de aquecimento e arrefecimento se encontram abaixo dos requisitos mínimos (REH) para o edifício e zona climática em estudo, o valor de Nic (52.48 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é inferior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano e p valor de Nvc (0.64 kWh/m<sup>2</sup>.ano) inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Comparativamente as necessidades de energia primária alcançou-se um valor de Ntc de 22.03 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é inferior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano.



## 7. Conclusões

O sector dos edifícios, embora seja responsável por cerca de 40% dos consumos energéticos na União Europeia, detém latente a capacidade de minorar a dependência energética. Com esse intuito a União Europeia tem vindo a desenvolver ao longo dos anos, diversos documentos para o sector dos edifícios e energias renováveis, que culminaram com a publicação da Diretiva 2010/31/UE. Diretiva que introduziu ao sector, a designação NZEB, ou seja, edifício de energia quase nula. Cujo conceito se baseia em pontos simples, no entanto de alguma dificuldade de aplicação. As principais condicionantes comportam:

- a definição de valores limite para as necessidades energéticas do edifício;
- a definição da percentagem de energia obtida através de fontes de energia renovável para supressão das baixas necessidades energéticas do edifício;
- a definição de distância máxima para considerar a localização das fontes de energia renovável nas proximidades.

No nosso país, a definição de edifício NZEB surge com a introdução do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. Embora a regulamentação técnica e a legislação em vigor já suportassem muitos dos novos requisitos. Documento alvo de última atualização no decorrer deste ano, através da Portaria n.º 98/2019, de 2 de abril no qual define que o parque edificado deve progressivamente ser composto por edifícios NZEB.

Pelo exposto nesses documentos, a conceção/reabilitação de edifícios deverá ser iniciada através da redução das necessidades energéticas na tentativa de obter valores quase nulos, o que promove a primeira questão abordada no primeiro caso de estudo. No que diz respeito à qualidade térmica de um edifício existente, não são satisfeitos os requisitos mínimos em vigor pela legislação portuguesa. Pelo que nestas condições, o edifício alvo de estudo não é um edifício NZEB.

A Simulação B, evidenciado no ponto 6.5.1, mostrou que a aplicação do produto “Thermobuild®”, preenchendo as caixas de ar de paredes duplas, paredes meeira e laje, promove uma melhoria de cerca de 14%. Este valor poderia ser mais elevado, caso o produto suprimisse também as pontes térmicas lineares. Analisando os resultados obtidos da simulação dinâmica conclui-se que o “Thermobuild®” não é o produto mais adequado para este tipo de desafios. Sendo isolante térmico, destina-se a situações

específicas de reabilitação. E que para alcançar a classificação NZEB é necessário conjugar com soluções de diferentes especialidades.

Para alcançar os ambiciosos requisitos energéticos estipulados, foram analisadas soluções construtivas sucessivamente mais eficientes como a aplicação de caixilhos e envidraçados (Simulação C) e o recurso a sistemas técnicos mais eficientes como o sistema de AVAC (Simulação D), a utilização de sistemas de AQS (Simulação E) e de sistemas de produção de energias renováveis (Simulação F). Estes estudos permitiram concluir que para alcançar os níveis de eficiência energética, é fundamental existir uma compatibilização de soluções construtivas e os demais sistemas técnicos, com o aproveitamento das energias renováveis para atingir o nível NZEB.

A última simulação apresentada (Simulação G), focado na integração conjunta e compatibilização das soluções e sistemas técnicos estudados anteriormente, permitiu concluir que os indicadores de aquecimento e arrefecimento se encontram abaixo dos requisitos mínimos (REH) para o edifício e zona climática em estudo, o valor de  $N_{ic}$  (52.48 kWh/m<sup>2</sup>.ano) é inferior ao valor de 68.52 kWh/m<sup>2</sup>.ano e para o de  $N_{vc}$  (0.64 kWh/m<sup>2</sup>.ano) inferior ao valor de 3.57 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Comparativamente às necessidades de energia primária alcançou-se um valor de  $N_{tc}$  de 22.03 kWh/m<sub>ep</sub>.ano que é inferior a 192.76 kWh/m<sub>ep</sub>.ano.

As principais dificuldades de implementação dos requisitos NZEB no edifício caso de estudo, recaem sobre a dificuldade em alcançar os baixos valores das necessidades energéticas tendo em conta as condições climatéricas do nosso país, mas também a correta aplicação e aproveitamento da energia proveniente de fontes de energia renovável.

## 8. Desenvolvimentos futuros

Como sugestão para o futuro da discussão, este tema poderá passar pela análise do ciclo de vida útil dos materiais e equipamentos a instalar, assim como do próprio edifício, dado que essa análise seria decisiva para verificar o nível de rentabilidade económica.

Outra proposta seria a avaliação de desempenho acústico do produto sobre os diferentes elementos construtivos e em diferentes ambientes sonoros.

Seria proveitoso considerar o estudo de um maior número de simulações, de forma a compreender quais as aplicações mais eficientes considerando diferentes tipologias, técnicas construtivas e condicionantes.

Também a utilização conjunta de materiais novos com materiais tradicionais de forma a aperfeiçoar a compatibilidade e a eficiência energética.



## 9. Referências Bibliográfica

- ADENE. (2012). Energy Performance of Buildings Directive e as implicações para Portugal. *Net Zero-Energy Buildings Conference*, 21. Retrieved January 27, 2018, from <http://www.adene.pt/>
- ADENE. (2016). Ar Condicionado Doméstico. 10 Soluções Eficiência Energetica, 22-27. Retrieved March 28, 2018, from <http://www.sce.pt/>
- ADENE. (2016). Sistemas Solares Térmicos. Retrieved April 15, 2018, from <http://www.adene.pt/>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2017). APA - Políticas & Resíduos. Retrieved December 16, 2017, from <http://www.apambiente.pt/>
- APCOR. (2017). APCOR – O que é? Retrieved December 14, 2017, from <http://www.apcor.pt/cortica/o-que-e/>
- Archer, C. L., & Jacobson, M. Z. (2005). Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 110(12), 1–20. Retrieved September 02, 2018, from <https://doi.org/>
- Doutora, P., & Varandas, P. (2018). Hugo Galúcio Pereira Potencial de uso da Energia Solar Fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil : Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro.
- ERSE. (2017). Portal ERSE - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica. Retrieved January 27, 2018, from <http://www.erse.pt/>
- Estado Português. (2010). *Resolução Do Conselho de Ministros No 29/2010. Diário Da República, 1.ª Série, N. 73, 2020* (Ene 2020), 1289–1296.
- Estado Português (2013) Desempenho energético dos edifícios (SCE) – Alterado DL 118\_2013 - Apcmc. (n.d.).
- European Union. (2016). *Energy, transport and environment indicators. Eurostat Pocketbooks on Environment and energy*, 184. Retrieved January 27, 2018, from <https://doi.org>
- Europeia, União. (2010). Directiva 2010/31/UE. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 13–35. Retrieved January 28, 2018, from <https://doi.org>

- Faria, Corline. (2016). Arquitetura Bioclimática - InfoEscola. Retrieved September 27, 2018, from <https://www.infoescola.com/arquitetura/arquitetura-bioclimatica/>
- Fernandes, Ana Cristina; Guerra, Miguel Déjan; Ribeiro, Rita; Rodrigues, S. (2016). *Relatório do Estado do Ambiente 2016*. Retrieved October 15, 2018, from <https://www.apambiente.pt>
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Retrieved August 22, 2018, from <https://doi.org>
- Gonçalves, M. (2018). Solução de Isolamento Térmico com base em cortiça e borracha para edificações novas e existentes.
- Hayrton. (2018). Eficiência Energética, 6. Retrieved September 27, 2018, from <https://qualidadeonline.wordpress.com/category/eficiencia-energetica/page/6/>
- Lopres, R. (2010). Otimização Do Desempenho Energético De Um Edifício Residencial Em Portugal.
- Manuel, V. & Fitas, M. (2014). Avaliação do desempenho energético de uma pequena fracção de serviços existente tendo por base as metodologias regulamentares do RSECE e do RECS Avaliação do desempenho energético de uma pequena fracção de serviços existente tendo por base as metodologias.
- Maria, T., Nunes, V., & Esteves, S. (2015). Identificação do Potencial Renovável para Produção de Electricidade na Perspectiva da Microgeração.
- Ministério da Obras Públicas Transportes e Comunicação. (1990). Decreto N° 40/90, de 6 de Fevereiro - Aprovação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. *Diário Da República*. Retrieved from <http://www.oasrn.org>
- Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia. (2015). Portaria n.º 379-A/2015. *Diário Da República*, (1), 9196.
- Républica Portuguesa (2019) Portaria n° 98/2019. Portaria n.º 349-B/2013 - Portaria n.º 98/2019, 1816–1818.
- Républica Portuguesa. (2019). Portaria n°42/2019. *Diário Da República*, 1.ª Série — N.º 21 — 30 de Janeiro de 2019, 771–772. Retrieved from <https://dre.pt/application>
- Saint-Gobain Vidros, S. L. (2013). Notícias Saint-Gobain Glass Portugal. Retrieved December 26, 2018, from [http://transparencias.info/out2013\\_PT\\_citav.html](http://transparencias.info/out2013_PT_citav.html)
- Santos, P. A. C. dos. (2017). NZEB: Nearly Zero Energy Building : metodologias para

implementação NZEB : aplicação a edifício unifamiliar novo, 228. Retrieved from <https://comum.rcaap.pt/handle>

Skills, E. (2018). Nearly Zero Energy Buildings (Nzeb) Retrieved August 16, 2019

Strodel, Darrel. (2013). Nearly Zero Energy Buildings ( Nzeb ). Retrieved September 12, 2018, from <http://www.big5.ae/>

Vaz, T., & Osório, P. (2011). Colectores Solares Térmicos sob Condições Transientes Caracterização óptica e térmica com base no modelo quasi-dinâmico Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Física Tecnológica Júri.

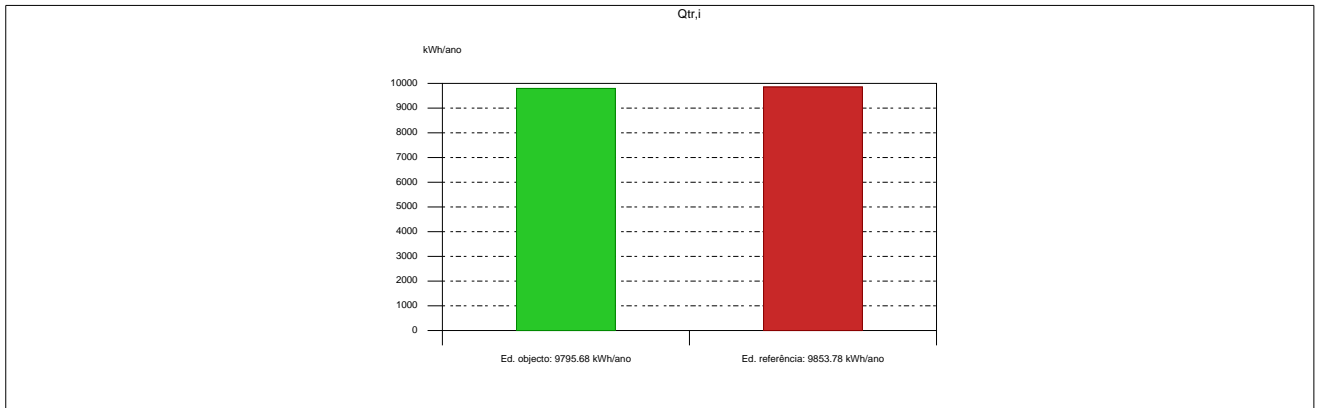
Zabalza Bribian, I., & Aranda Usón, A. (2011). *Ecodiseño en la edificación (Serie Eficiencia Energética)*. (P. de la U. de Zaragoza, Ed.).



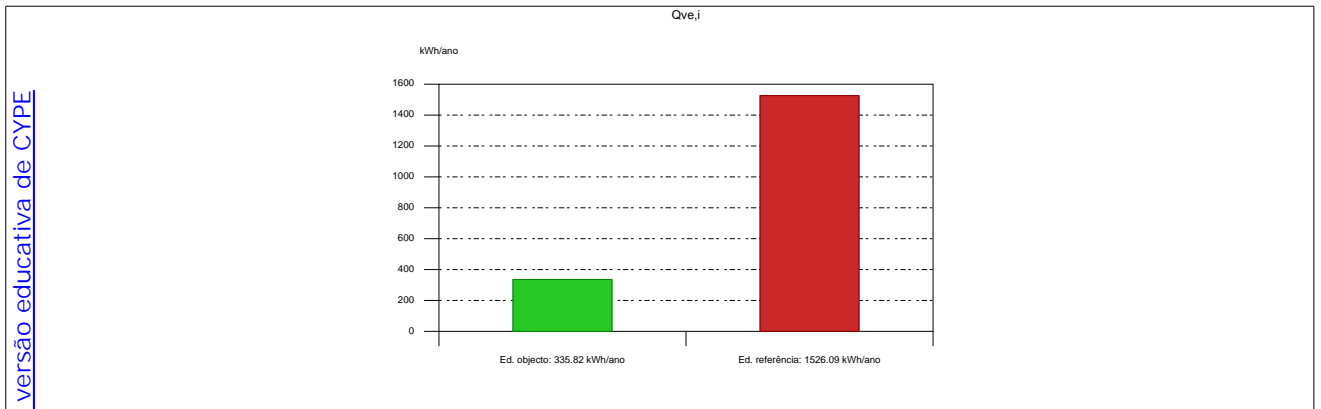
## **10. Anexos**

## Dados da zona

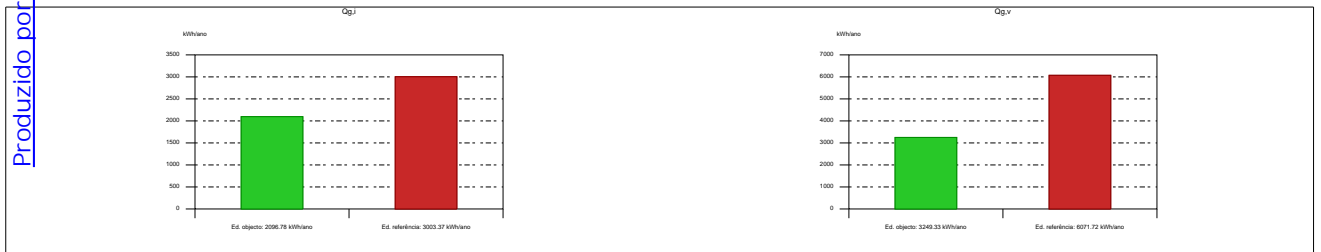
Qtr: Ganho por transmissão (kWh/ano)



Qve: Ganho por ventilação (kWh/ano)



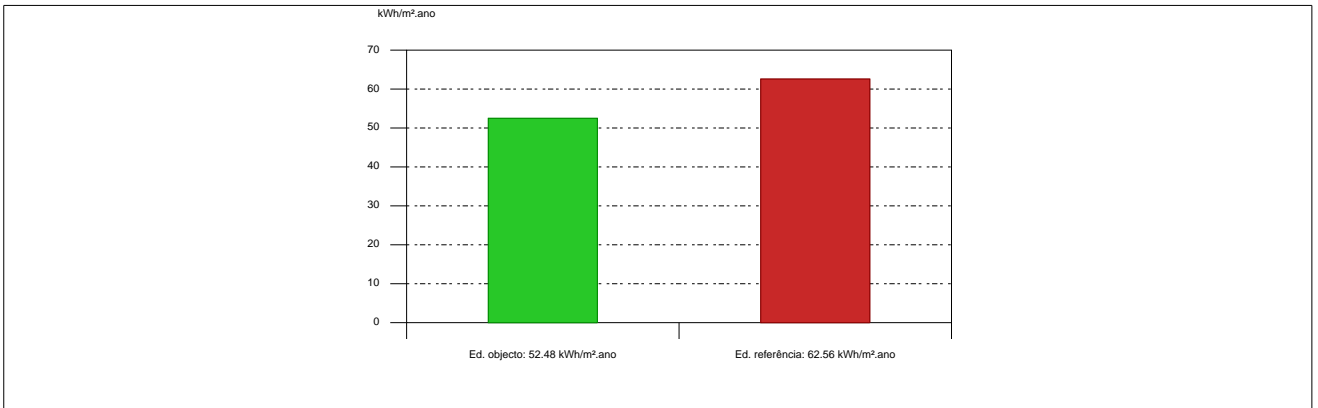
Qg: Ganhos solares (kWh/ano)



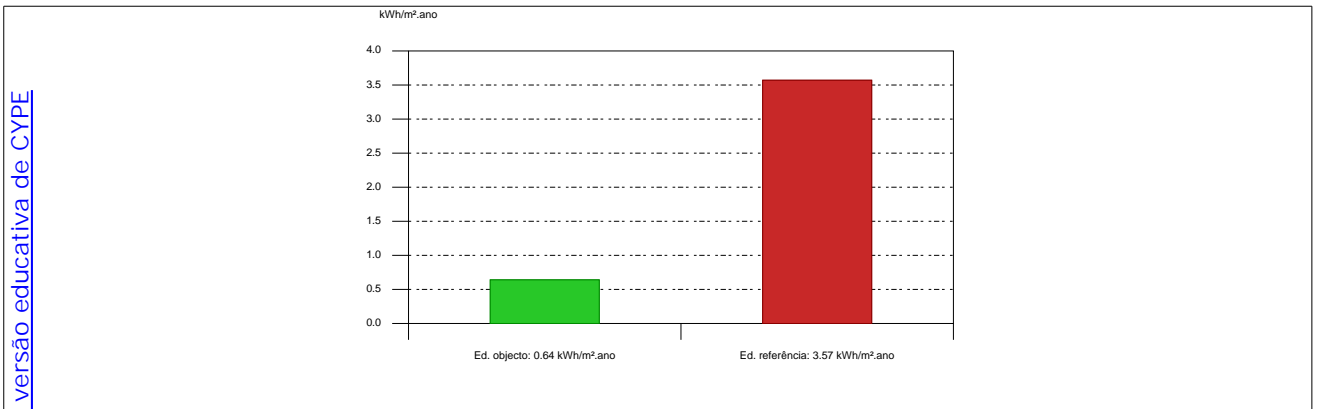
Produzido por [Gama versão educativa de CYPE](#)

## Necessidades de energia útil

### Aquecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

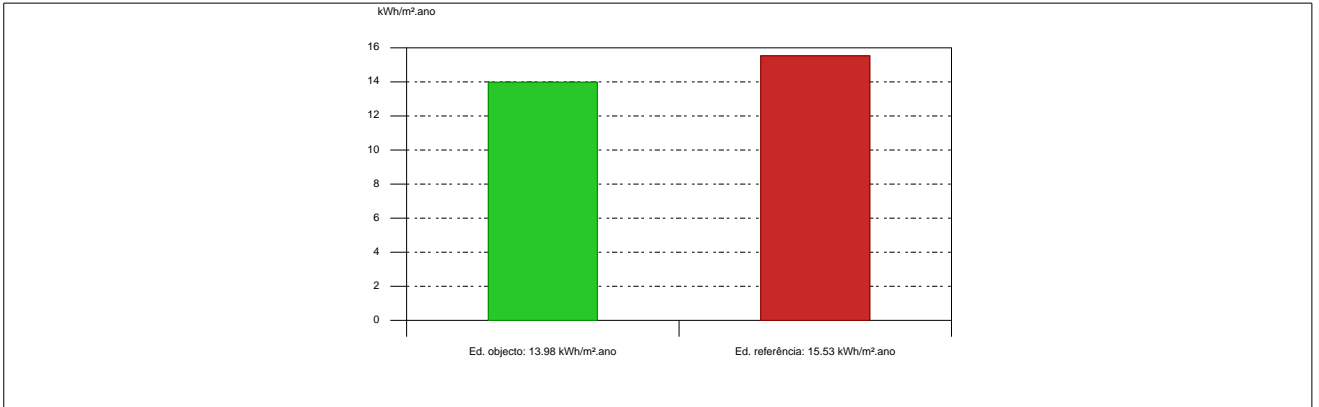


### Arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano)



Produzido por uma versão educativa de CYPE

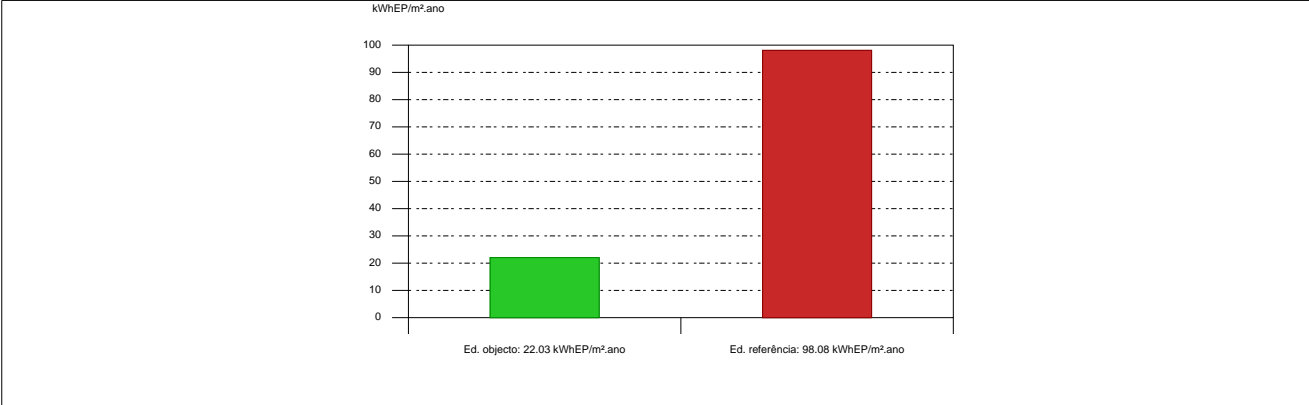
AQS (kWh/m<sup>2</sup>.ano)



[Produzido por uma versão educativa de CYPE](#)

# Necessidades de energia primária

Total



[Produzido por uma versão educativa de CYPE](#)

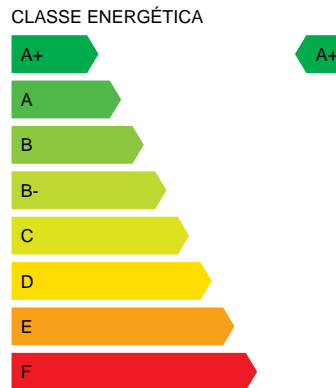
## Resumo de desempenho energético

1.- CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	3
2.- EMISSÃO DE CO2.....	3
3.- REQUISITOS ENERGÉTICOS.....	3
4.- DESCRIÇÃO DE ELEMENTOS.....	3
4.1.- Coeficientes de transmissão térmica.....	3
4.1.1.- Paredes.....	3
4.1.2.- Coberturas.....	4
4.1.3.- Pavimentos.....	4
4.1.4.- Pontes térmicas planas.....	4
4.1.5.- Pontes térmicas lineares.....	4
4.1.6.- Portas.....	5
5.- ENVIDRAÇADOS.....	5
6.- CLIMATIZAÇÃO E AQS.....	6
7.- ENERGIA RENOVÁVEL.....	6
8.- VENTILAÇÃO.....	6

# Desempenho energético

## 1.- CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

R = 0.22



Classe energética	R = Ntc / Nt
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Produção por Unidade Versão educativa de CYPE

## 2.- EMISSÃO DE CO2

As emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes são de 0.4879 toneladas de CO2 equivalentes por ano.

## 3.- REQUISITOS ENERGÉTICOS

Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Valor limite (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Aquecimento	52.48	62.56
Arrefecimento	0.64	3.57
Preparação das águas quentes sanitárias	13.98	15.53
Energia	22.03	98.08

## 4.- DESCRIÇÃO DE ELEMENTOS

### 4.1.- Coeficientes de transmissão térmica

O REH estabelece, para a envolvente interior e exterior, valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica (U). Os valores definidos para o coeficiente U dos elementos da envolvente são:

#### 4.1.1.- Paredes

Referência: Parede Exterior

As paredes exteriores, são paredes duplas de 0.30 m, de cor clara, composta por: um revestimento argamassa e reboco tradicional com a espessura de 0.015 m, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/(m.°C); isolamento térmico em Thermobuild com 5 cm de espessura, cujo coeficiente de condutibilidade térmica é de 0.059 W/(m.°C); alvenaria de tijolo cerâmico com 0.11 m de espessura de resistência térmica de 0.407 (m<sup>2</sup>C)/W; caixa de ar com 0.04 m de espessura; alvenaria de tijolo cerâmico com 0.11 m de espessura de resistência térmica de 0.407 (m<sup>2</sup>C)/W; estuque de elevada dureza com 0.015 m de

# Desempenho energético

espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.40 W/(m.°C).

Coeficiente de transmissão térmica: 0.62 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.70 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 0.70 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Referência: Parede exterior divisória

Coeficiente de transmissão térmica: 0.81 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.90 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 2.00 W/(m<sup>2</sup>.°C)

## 4.1.2.- Coberturas

Referência: Laje de cobertura plana

Coeficiente de transmissão térmica: 2.03 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.45 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 0.45 W/(m<sup>2</sup>.°C)

## 4.1.3.- Pavimentos

Referência: Esteira de madeira

Pavimento em réguas de madeira assentes sobre vigas de 80x160mm, revestidas a estafe na face inferior.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.42 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.45 W/(m<sup>2</sup>.°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 0.45 W/(m<sup>2</sup>.°C)

## 4.1.4.- Pontes térmicas planas

### 4.1.5.- Pontes térmicas lineares

Referência: Fachada com caixilharia

Fachada com caixilharia.

Método: Valores tabelados

Coeficiente de transmissão térmica: 0.25 W/(m.°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.20 W/(m.°C)

Referência: Fachada com pavimentos térreos

Fachada com pavimentos térreos.

Método: Valores tabelados

Coeficiente de transmissão térmica: 0.80 W/(m.°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.50 W/(m.°C)

Referência: Duas paredes verticais em ângulo saliente

Duas paredes verticais em ângulo saliente.

Método: Valores tabelados

# Desempenho energético

Coeficiente de transmissão térmica:  $0.50 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

Coeficiente de transmissão térmica de referência:  $0.40 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

Referência: Fachada com pavimento de nível intermédio

Fachada com pavimento de nível intermédio.

Método: Valores tabelados

Coeficiente de transmissão térmica:  $0.50 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

Coeficiente de transmissão térmica de referência:  $0.50 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

## 4.1.6.- Portas

Referência: Porta comun

Coeficiente de transmissão térmica:  $1.00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Coeficiente de transmissão térmica de referência:  $2.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Referência: Porta exterior

Coeficiente de transmissão térmica:  $1.00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Coeficiente de transmissão térmica de referência:  $2.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Referência: Porta comun

Coeficiente de transmissão térmica:  $1.00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Coeficiente de transmissão térmica de referência:  $2.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

## VI - ENVIDRAÇADOS

Caixilharia 1.10 m (120-125):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.14

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.14

Caixilharia 1.50 (150-155):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.14

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.14

Caixilharia 2.10m (245-250):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.12

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.12

Caixilharia 2.10m (285-290):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.14

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.14

Caixilharia 2.10m (160-165):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.12

# Desempenho energético

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.12

Caxilharia 1.10 m (290-295):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.14

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.14

Caxilharia 1.10 m (155-160):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.13

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.13

Caxilharia 1.10 m (245-250):

Factor solar (gi): 0.14

Factor solar (gv): 0.12

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.12

## 6 - CLIMATIZAÇÃO E AQS

As necessidades anuais de energia útil para aquecimento são de 8034.53 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para arrefecimento são de 97.98 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para AQS são de 2140.15 kWh/ano

## 7 - ENERGIA RENOVÁVEL

A contribuição dos sistemas solares de preparação de AQS é de 6172.00 kWh/ano

A contribuição dos sistemas renováveis é de 0.00 kWh/ano

## 8 - VENTILAÇÃO

Valor de taxa de renovação horária (Rph,i): 0.40

Valor de taxa de renovação horária (Rph,v): 0.60

Produção por uma versão educativa de 101

Ficha nº1

REH - Fichas de cálculo

FICHA n.º 1  
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Câmara Municipal de \_\_\_\_\_

Edifício

Empreendimento: \_\_\_\_\_ Nº de frações: 1

Morada: \_\_\_\_\_

Freguesia: \_\_\_\_\_ Concelho: \_\_\_\_\_

Tipo de intervenção

Edifício novo:

Grande intervenção:

Caracterização

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Zona comum	153.09	2.75	T3

Resumo de cálculo

Fração	Tx. ren. (RPH,i)	Tx. ren. (RPH,v)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	OA (kWh/ano)	OA <sub>REF</sub> (kWh/ano)	Ntc (kWh <sub>tep</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	Nt (kWh <sub>tep</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	Eren.p (*) (kWh/ano)	Eren.ext (***) (kWh/ano)
Zona comum	0.40	0.60	52.48	62.56	0.64	3.57	2140.15	2377.43	22.03	98.08	6172.00	0.00

(\*) Correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(\*\*\*) Correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: \_\_\_\_\_

Inscrito na: Ordem dos Engenheiros Número de inscrição: \_\_\_\_\_

Assinatura

Produzido por uma empresa do ensino superior

REH - Fichas de cálculo  
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Ficha de cálculo A  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Parede Exterior	119.64	0.62	74.18
TOTAL			74.18
Coberturas em contacto com o exterior (Inverno)	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Laje de cobertura plana	16.01	2.03	32.50
TOTAL			32.50
Coberturas em contacto com o exterior (Verão)	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Laje de cobertura plana	16.01	1.78	28.49
TOTAL			28.49
Vãos envidraçados exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Caxilharia 1.10 m (120-125)	5.28	1.20	6.32
Caixilharia 1.50 (150-155)	4.48	1.21	5.42
Caixilharia 2.10m (245-250)	5.15	1.22	6.28
Caixilharia 2.10m (285-290)	5.88	1.21	7.11
Caixilharia 2.10m (160-165)	3.22	1.22	3.93
Caxilharia 1.10 m (290-295)	3.08	1.21	3.73
Caxilharia 1.10 m (155-160)	1.69	1.21	2.04
Caxilharia 1.10 m (245-250)	2.70	1.21	3.27
TOTAL			38.10
Vãos opacos exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Porta comun	1.60	1.00	1.60
Porta exterior	1.89	1.00	1.89
TOTAL			3.49
Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m. °C	ψ·B W/°C
Fachada com caixilharia	86.64	0.25	21.68
Fachada com pavimentos térreos	36.58	0.80	29.27
Duas paredes verticais em ângulo saliente	33.00	0.50	16.50
Fachada com pavimento de nível intermédio	95.04	0.50	47.56
TOTAL			115.01

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext,i}$  263.28 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext,v}$  259.27 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	$b_{ir}$	U·A· $b_{ir}$ W/°C
Esteira de madeira	56.60	0.42	0.87	20.68

TOTAL				20.68
Paredes meeiras	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	b <sub>tr</sub>	U·A·b <sub>tr</sub> W/°C
Parede exterior divisória	46.26	0.81	0.60	22.48

TOTAL 22.48

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  43.16 W/°C

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu}$  20.68 W/°C

#### A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos enterrados	Área A m <sup>2</sup>	U <sub>bf</sub> W/m <sup>2</sup> . °C	U <sub>bf</sub> ·A W/°C
Pavimento terreo	78.33	0.78	61.10
TOTAL			61.10

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  61.10 W/°C

#### A.4 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext,i}$  263.28 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  43.16 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  61.10 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,i}$  367.54 W/°C

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext,v}$  259.27 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu}$  20.68 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  61.10 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,v}$  341.05 W/°C

#### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

#### A.5 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Parede Exterior	120.48 <sup>(1)</sup>	0.70	84.33
TOTAL			84.33

<sup>(1)</sup> Área da envolvente opaca exterior incrementada. Soma-se a parcela excedente de área relativa à área de vãos que supera 20% da área útil de pavimento.

Coberturas em contacto com o exterior	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Laje de cobertura plana	16.01	0.45	7.21
TOTAL			7.21

Vãos envidraçados exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Caxilharia 1.10 m (120-125)	5.12 <sup>(1)</sup>	2.80	14.32
Caixilharia 1.50 (150-155)	4.36 <sup>(1)</sup>	2.80	12.21
Caixilharia 2.10m (245-250)	5.01 <sup>(1)</sup>	2.80	14.03

Caixilharia 2.10m (285-290)	5.72 <sup>(1)</sup>	2.80	16.02
Caixilharia 2.10m (160-165)	3.13 <sup>(1)</sup>	2.80	8.76
Caxilharia 1.10 m (290-295)	3.00 <sup>(1)</sup>	2.80	8.40
Caxilharia 1.10 m (155-160)	1.64 <sup>(1)</sup>	2.80	4.59
Caxilharia 1.10 m (245-250)	2.63 <sup>(1)</sup>	2.80	7.36
TOTAL			85.69

<sup>(1)</sup> Área total de vãos limitada a 20% da área útil de pavimento.

Vãos opacos exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	U·A W/°C
Porta comun	1.60	2.80	4.48
Porta exterior	1.89	2.80	5.29
TOTAL			9.77

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m. °C	ψ·B W/°C
Fachada com caixilharia	86.64	0.20	17.34
Fachada com pavimentos térreos	36.58	0.50	18.31
Duas paredes verticais em ângulo saliente	33.00	0.40	13.20
Fachada com pavimento de nível intermédio	95.04	0.50	47.56
TOTAL			96.41

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext}$  283.41 W/°C

#### A.6 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Esteira de madeira	56.60	0.45	0.87	22.15
TOTAL				22.15
Paredes meeiras	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> . °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Parede exterior divisória	46.26	0.90	0.60	24.98
TOTAL				24.98

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  47.13 W/°C

#### A.7 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos enterrados	Área A m <sup>2</sup>	$U_{bf}$ W/m <sup>2</sup> . °C	$U_{bf}·A$ W/°C
Pavimento terreo	78.33	0.50	39.18
TOTAL			39.18

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  39.18 W/°C

#### A.8 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext}$  283.41 W/°C  
+

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  47.13 W/°C  
+

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  39.18 W/°C  
=

Coeficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,i}$  369.72 W/°C

Ficha de cálculo B  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

### B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & 1 \\ & - \\ \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } K_{R,K} & \boxed{0.80} \\ & \times \\ \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} & \boxed{165.00} \text{ m}^3/\text{h} \\ & \div \\ R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d & \boxed{168.40} \text{ m}^3/\text{h} \\ & = \\ \text{Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} & \boxed{0.22} \\ & \times \\ & 0,34 \\ & \times \\ \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} & \boxed{0.40} \text{ h}^{-1} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{153.09} \text{ m}^2 \\ & \times \\ \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.75} \text{ m} \\ & = \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} & \boxed{12.60} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} & 1 \\ & - \\ \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } K_{R,K} & \boxed{0.80} \\ & \times \\ \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} & \boxed{165.00} \text{ m}^3/\text{h} \\ & \div \\ R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d & \boxed{252.60} \text{ m}^3/\text{h} \\ & = \\ \text{Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} & \boxed{0.48} \\ & \times \\ & 0,34 \\ & \times \\ \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,v} & \boxed{0.60} \text{ h}^{-1} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{153.09} \text{ m}^2 \\ & \times \\ \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.75} \text{ m} \\ & = \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} & \boxed{41.22} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

### B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & 0,34 \\ & \times \\ \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i,REF} & \boxed{0.40} \text{ h}^{-1} \\ & \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{153.09} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Pé direito médio da fração } P_d = \frac{x}{2.75} \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i,REF} = 57.26 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Ficha de cálculo C  
GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação X	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Caxilharia 1.10 m (120-125)	S	0.14	5.28	0.63	0.70	0.90	0.32	1.00	0.32
Caixilharia 1.50 (150-155)	E	0.14	2.25	0.87	0.70	0.90	0.18	0.56	0.10
Caixilharia 2.10m (245-250)	N	0.14	5.15	1.00	0.70	0.90	0.49	0.27	0.13
Caixilharia 2.10m (285-290)	NW	0.14	5.88	0.73	0.70	0.90	0.40	0.33	0.15
Caixilharia 2.10m (160-165)	N	0.14	3.22	1.00	0.70	0.90	0.30	0.27	0.08
Caxilharia 1.10 m (290-295)	NW	0.14	3.08	0.85	0.70	0.90	0.25	0.33	0.08
Caxilharia 1.10 m (155-160)	N	0.14	1.69	1.00	0.70	0.90	0.16	0.27	0.04
Caxilharia 1.10 m (245-250)	N	0.14	2.70	1.00	0.70	0.90	0.26	0.27	0.07
Caixilharia 1.50 (150-155)	E	0.14	2.23	0.87	0.70	0.90	0.18	0.56	0.10
TOTAL									1.07

$$\text{Área efetiva total equivalente na orientação a sul } = 1.07 \text{ m}^2$$

$$\text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a sul } G_{sol} = 105.00 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mes}$$

$$\text{Duração de aquecimento } M = 3.79 \text{ meses}$$

$$\text{Ganhos solares brutos } Q_{sol,i} = 425.81 \text{ kWh/ano}$$

C.2 - GANHOS INTERNOS

$$\text{Ganhos internos médios } q_{int} = 4.00 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Duração de aquecimento } M = 3.79 \text{ meses}$$

$$\begin{aligned} \text{Área útil de pavimento } A_p &= \frac{153.09}{X} \text{ m}^2 \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,i}} &= 1670.97 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,i}} &= 1670.97 \text{ kWh/ano} \\ + \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,i}} &= 425.81 \text{ kWh/ano} \\ = \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g,i}} &= 2096.78 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

### C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,i REF}} &= 1670.97 \text{ kWh/ano} \\ + \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,i REF}} &= 1332.40 \text{ kWh/ano} \\ = \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g,i REF}} &= 3003.37 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### Ficha de cálculo D GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

#### D.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	Tipo de vidro	Fração envidraçada F <sub>g</sub>	Fator de sel. angular F <sub>w,v</sub>	Fator solar de verão g <sub>v</sub> = F <sub>mv</sub> · g <sub>Tr</sub> + (1 - F <sub>mv</sub> ) · g <sub>TP</sub>	Área efetiva A <sub>s</sub> = A <sub>v</sub> · F <sub>g</sub> · g <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução F <sub>s,v</sub> = F <sub>n</sub> · F <sub>o</sub> · F <sub>r</sub>	Intensidade da radiação I <sub>sol</sub> kWh/m <sup>2</sup> · ano	Q <sub>sol</sub> = I <sub>sol</sub> · F <sub>s,v</sub> · A <sub>s</sub> kWh/ano
Caxilharia 1.10 m (120-125)	S	5.28	Duplo	0.70	0.75	0.14	0.48	0.73	280.00	98.12
Caxilharia 1.50 (150-155)	E	4.48	Duplo	0.70	0.85	0.14	0.44	0.85	325.00	121.56
Caxilharia 2.10m (245-250)	N	5.15	Duplo	0.70	0.80	0.12	0.43	0.99	195.00	83.01
Caxilharia 2.10m (285-290)	NW	5.88	Duplo	0.70	0.85	0.14	0.56	0.66	260.00	96.10
Caxilharia 2.10m (160-165)	N	3.22	Duplo	0.70	0.80	0.12	0.27	0.99	195.00	52.12
Caxilharia 1.10 m (290-295)	NW	3.08	Duplo	0.70	0.85	0.14	0.29	0.78	260.00	58.81
Caxilharia 1.10 m (155-160)	N	1.69	Simplex	0.70	0.85	0.13	0.15	0.98	195.00	28.67
Caxilharia 1.10 m (245-250)	N	2.70	Duplo	0.70	0.80	0.12	0.23	0.98	195.00	43.95
TOTAL										582.34

Referência	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> · °C))	R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> · °C/W)	Área efetiva A <sub>s</sub> = α · U · A <sub>op</sub> · R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução F <sub>s,v</sub> = F <sub>n</sub> · F <sub>o</sub> · F <sub>r</sub>	Intensidade da radiação I <sub>sol</sub> kWh/m <sup>2</sup> · ano	Q <sub>sol</sub> = I <sub>sol</sub> · F <sub>s,v</sub> · A <sub>s</sub> kWh/ano (kcal)
Parede Exterior	S	0.60	13.99	0.62	0.04	0.21	0.94	280.00	55.27
Parede Exterior	E	0.60	35.68	0.62	0.04	0.52	1.00	325.00	169.00
Parede Exterior	N	0.60	16.58	0.62	0.04	0.25	1.00	195.00	48.75
Parede Exterior	NW	0.60	2.01	0.62	0.04	0.03	0.69	260.00	5.38
Parede Exterior	E	0.60	5.38	0.62	0.04	0.08	0.90	325.00	23.40
Parede Exterior	S	0.60	11.41	0.62	0.04	0.17	0.84	280.00	39.99
Parede Exterior	NW	0.60	4.53	0.62	0.04	0.07	0.87	260.00	15.83
Parede Exterior	N	0.60	7.73	0.62	0.04	0.11	0.99	195.00	21.24
Parede Exterior	S	0.60	15.34	0.62	0.04	0.22	0.86	280.00	52.98
Parede Exterior	E	0.60	7.01	0.62	0.04	0.10	0.84	325.00	27.30
Laje de cobertura plana	Horizontal	0.60	16.01	1.78	0.04	0.68	1.00	580.00	394.40
Porta comun	S	0.60	1.60	1.00	0.04	0.04	0.67	280.00	7.50

Referência	Orientação	Coefficiente de absorção $\alpha$	Área $A_{op}$ (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> .°C))	$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	Área efetiva $A_s = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,v} = F_n \cdot F_o \cdot F_r$	Intensidade da radiação $I_{sol}$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$Q_{sol} = I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ kWh/ano (kcal)
Porta exterior	E	0.60	1.89	1.00	0.04	0.05	0.80	325.00	13.00
TOTAL									874.04

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada  $\boxed{582.34}$  kWh/ano

+

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca  $\boxed{874.04}$  kWh/ano

=

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,v}$   $\boxed{1456.38}$  kWh/ano

#### D.2 - GANHOS INTERNOS

Ganhos internos médios  $q_{int}$   $\boxed{4.00}$  W/m<sup>2</sup>

x

Duração de arrefecimento  $L_v$   $\boxed{2928.00}$  Horas

x

Área útil de pavimento  $A_p$   $\boxed{153.09}$  m<sup>2</sup>

÷

1000

=

Ganhos internos brutos  $Q_{int,v}$   $\boxed{1792.95}$  kWh/ano

#### D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos  $Q_{int,v}$   $\boxed{1792.95}$  kWh/ano

+

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,v}$   $\boxed{1456.38}$  kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,v}$   $\boxed{3249.33}$  kWh/ano

#### GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

#### D.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos médios  $q_{int}$   $\boxed{4.00}$  W/m<sup>2</sup>

x

Duração de arrefecimento  $L_v$   $\boxed{2928.00}$  Horas

÷

1000

+

Fator solar de verão de referência  $g_{v, REF}$   $\boxed{0.43}$

x

$A_w/A_{p, REF}$   $\boxed{0.20}$

x

Radiação solar média de referência  $I_{sol, REF}$   $\boxed{325.00}$  kWh/m<sup>2</sup>.ano

=

$\boxed{39.66}$  kWh/m<sup>2</sup>.ano

x

Área útil de pavimento  $A_p$   $\boxed{153.09}$  m<sup>2</sup>

=

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento  $Q_{g,v, REF}$   $\boxed{6071.72}$  kWh/ano

Ficha de cálculo E  
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} & \boxed{1110.50} \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr} & \boxed{367.54} \text{ W}/^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} & \boxed{9795.68} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} & \boxed{1110.50} \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve,i} & \boxed{12.60} \text{ W}/^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} & \boxed{335.82} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} \text{Inércia térmica da fração} & \boxed{\text{Forte}} \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & \boxed{2096.78} \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} & \boxed{10131.50} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Parâmetro } \gamma_i & \boxed{0.21} \\ & \\ \text{Parâmetro } a_i & \boxed{4.20} \\ & \\ \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_i & \boxed{1.00} \\ & \times \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & \boxed{2096.78} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} & \boxed{2096.78} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} & \boxed{9795.68} \text{ kWh/ano} \\ & + \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} & \boxed{335.82} \text{ kWh/ano} \\ & - \\ \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} & \boxed{2096.78} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} & \boxed{8034.72} \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{153.09} \text{ m}^2 \\ & = \\ \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} & \boxed{52.48} \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

## LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

### E.5 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 369.72 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve, I, REF} \quad 57.26 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t, I, REF} \quad 426.98 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### E.6 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & \quad 0,024 \\ & \quad \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1110.50 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \quad \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr, REF} \quad 369.72 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr, I, REF} \quad 9853.78 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & \quad 0,024 \\ & \quad \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} \quad 1110.50 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \quad \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve, I, REF} \quad 57.26 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve, I, REF} \quad 1526.09 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### E.8 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} & \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_{I, REF} \quad 0.60 \\ & \quad \times \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g, I, REF} \quad 3003.37 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu, I, REF} \quad 1802.02 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### E.9 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr, I, REF} \quad 9853.78 \text{ kWh/ano} \\ & \quad + \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve, I, REF} \quad 1526.09 \text{ kWh/ano} \\ & \quad - \\ & \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu, I, REF} \quad 1802.02 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} \quad 9577.85 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \div \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad 153.09 \text{ m}^2 \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{I, REF} \quad 62.56 \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

## Ficha de cálculo F NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

### F.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr}$  341.05 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar  $H_{ve,v}$  41.22 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor  $H_{t,v}$  382.27 W/°C

## F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Transferência de calor por transmissão  $H_{tr}$  341.05 W/°C

x

$(\theta_{v,ref}-\theta_{v,ext})$  5.97 °C

x

Duração de arrefecimento  $L_v$  2928.00 Horas

÷

1000

=

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento  $Q_{tr,v}$  5961.61 kWh/ano

## F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar  $H_{ve,v}$  41.22 W/°C

x

$(\theta_{v,ref}-\theta_{v,ext})$  5.97 °C

x

Duração de arrefecimento  $L_v$  2928.00 Horas

÷

1000

=

Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento  $Q_{ve,v}$  720.53 kWh/ano

## F.4 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia térmica da fração Forte

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,v}$  3249.33 kWh/ano

÷

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar  $Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$  6682.14 kWh/ano

=

Parâmetro  $\gamma_v$  0.49

Parâmetro  $a_v$  4.20

Fator de utilização de ganhos  $\eta_v$  0.97

## F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1-\eta_v)$  0.03

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento  $Q_{g,v}$  3249.33 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento  $A_p$  153.09 m<sup>2</sup>

=

Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento  $N_{vc}$  0.64 kWh/m<sup>2</sup>.ano

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.6 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\eta_{vref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & , \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & , 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & , 0 \leq \Delta\theta \end{cases}$$

$\theta_{REF,V}$   °C

$\theta_{EXT,V}$   °C

=  
 $\Delta\theta$   °C

Fator de utilização de ganhos  $\eta_{VREF}$

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{VREF})$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento  $Q_{g,VREF}$   kWh/ano

÷

Área útil de pavimento  $A_p$   m<sup>2</sup>

=

Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento  $N_v$   kWh/m<sup>2</sup>.ano

Ficha de cálculo G  
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_i$	Eficiência nominal $\eta_{i,K}$	Fator de conversão $f_{conv}$ kWh <sub>el</sub> /kWh	Necessidades de energia final $f_i \cdot \delta \cdot N_u / \eta_{i,K}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{conv} / \eta_{i,K}$ kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Aquecimento	Electricidade Solar	52.48	0.50	4.00	2.50	1004.32	16.40
			0.50	1.00	1.00	4039.50	26.24
TOTAL							42.64

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_i$	Eficiência nominal $\eta_{i,K}$	Fator de conversão $f_{conv}$ kWh <sub>el</sub> /kWh	Necessidades de energia final $f_i \cdot \delta \cdot N_u / \eta_{i,K}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{conv} / \eta_{i,K}$ kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Arrefecimento	Electricidade	0.64	1.00	4.00	2.50	0.00	0.00 <sup>(3)</sup>
TOTAL							0.00

<sup>(3)</sup> d toma valor 0 porque o fator de utilização de ganhos térmicos é superior ao fator de utilização de ganhos térmicos de referência. Isto faz com que o valor das necessidades de energia primária para arrefecimento seja nulo.

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

40  
x  
nº convencional de ocupantes de cada fração n  ocupantes  
x  
fator de eficiência hídrica n   
=  
consumo médio diário de referência  $M_{AQS}$   l

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

consumo médio diário de referência  $M_{AQS}$   l

x

4187

x

aumento de temperatura  $\Delta T$   °C

x

nº de dias de consumo  dias

÷

3600000

÷

$A_p$   m<sup>2</sup>

=

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS  kWh/m<sup>2</sup>.ano

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $Q_u/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_s$	Eficiência nominal $\eta_K$	Fator de conversão $F_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia final $f_s \cdot \delta \cdot Q_u / A_p / \eta_K$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_s \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot F_{pu} / \eta_K$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Termoacumulador	Electricidade Solar	13.98	0.00	0.95	2.50	0.00	0.00
			1.00	1.00	1.00	2132.50	13.98
TOTAL							13.98

#### G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Referência	$W_{vm}/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	Fator de conversão $F_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Energia primária $(W_{vm}/A_p) \cdot F_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Ventilação mecânica	2.29	2.50	5.73
TOTAL			5.73

#### G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Sistema com recurso a energia renovável	Produção de energia	$E_{ren}/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	Fator de conversão $F_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Energia primária $(E_{ren}/A_p) \cdot F_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Solar	Solar	13.93	1.00	13.93
Solar	Fotovoltaica	26.39	1.00	26.39
TOTAL				40.32

#### G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento  $\boxed{42.64}$  kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano  
+  
Energia primária para arrefecimento  $\boxed{0.00}$  kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano  
+  
Energia primária para a preparação de AQS  $\boxed{13.98}$  kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano  
+  
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica  $\boxed{5.73}$  kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano  
-  
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável  $\boxed{40.32}$  kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano  
=  
Necessidades nominais anuais globais de energia primária  $N_{tc}$   $\boxed{22.03}$  kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

#### LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

#### G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_s$	Eficiência nominal $\eta_K$	Fator de conversão $f_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia final $f_s \cdot \delta \cdot N_u / \eta_K$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_s \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{pu} / \eta_K$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Aquecimento	Electricidade	62.56	1.00	3.20	2.50	2993.01	48.88
TOTAL							48.88

#### G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_s$	Eficiência nominal $\eta_K$	Fator de conversão $f_{pu}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia final $f_s \cdot \delta \cdot N_u / \eta_K$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_s \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{pu} / \eta_K$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Arrefecimento	Electricidade	3.57	1.00	3.00	2.50	182.17	2.98
TOTAL							2.98

#### G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

$n^\circ$  convencional de ocupantes de cada fração  $n$   $\boxed{4}$  ocupantes

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

consumo médio diário de referência  $M_{AQS}$   $\boxed{160.00}$  l

aumento de temperatura  $\Delta T$   $\boxed{35.00}$  °C

$$\text{fator de eficiência hídrica } n = \frac{1.00}{160.00} \text{ l}$$

$$\begin{aligned} & \times \\ \text{n}^\circ \text{ de dias de consumo} &= 365 \text{ dias} \\ & \div \\ & 3600000 \\ & \div \\ A_p &= 153.09 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS = 15.53 kWh/m<sup>2</sup>.ano

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $Q_u/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_s$	Eficiência nominal $\eta_{Kf}$	Fator de conversão $F_{TAC}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia final $f_s \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot \eta_{Kf}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_s \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot F_{TAC} \cdot \eta_{Kf}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Termoacumulador	Electricidade	15.53	1.00	0.84	2.50	2830.34	46.22
TOTAL							46.22

### G.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento = 48.88 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

+

Energia primária para arrefecimento = 2.98 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

+

Energia primária para a preparação de AQS = 46.22 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

=

Necessidades nominais anuais globais de energia primária  $N_t$  = 98.08 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

DATA 23 de Agosto de 2018

CARGO	Projetista	CARGO
NOME		NOME

Produzido por uma versão qualificada de CYPE