

NZEB - VERIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

JOSÉ PEDRO TEIXEIRA FURTADO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023.*

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

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

"I'm a great believer in luck, and I find the harder I work, the more I have of it."

Thomas Jefferson

Agradecimentos

Com a elaboração desta dissertação de mestrado, vem a conclusão de uma das etapas mais importantes e desafiantes da minha vida. Por isso, venho expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas envolvidas neste longo percurso académico.

Aos meus pais, mostro-me eternamente grato. À minha mãe, Ângela, pelo apoio emocional, carinho e compreensão demonstrados durante todo este percurso, especialmente nos meus momentos de maior ansiedade. Ao meu pai, Manuel, pela paciência e receptividade aos meus problemas académicos e pela mentoria no mundo da Engenharia Civil.

Quero agradecer também ao meu irmão, Manuel João, por ser rigoroso comigo, pela capacidade de me fazer ver “imagem maior” e pelos momentos de descontração quando o trabalho universitário se tornava por vezes insuportável.

Aos meus amigos da faculdade, que me acompanharam durante todos estes anos, que fizeram parte do meu dia-a-dia. Em especial a uma das minhas melhores amigas, Cláudia Luís Gonçalves, que nunca me abandonou, especialmente nos momentos em que mais precisava, pelo apoio em tudo o que revolve a vida universitária, e pelo companheirismo e camaradagem que demonstrou inúmeras vezes, estou eternamente grato.

Finalmente, gostaria de agradecer ao meu orientador Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas, pelo apoio e orientação prestados durante todo o processo de elaboração desta dissertação, pelo conhecimento transmitido, não só durante as aulas neste percurso académico, como nas nossas discussões e reuniões, que, certamente, terão um valor imensurável para a minha vida profissional.

Resumo

Ao longo dos anos, a União Europeia (UE) tem vindo a implementar medidas de melhoria de sustentabilidade de todos os setores económicos, visando caminhar em direção de um futuro ambientalmente autossustentável.

Nas duas últimas décadas, foram transpostas várias Diretivas Europeias que visam obter edifícios NZEB (*Near Zero Energy Buildings*). Os Estados - Membros da UE devem, de forma célere e dentro dos prazos impostos, introduzir na própria legislação requisitos que tornam os edifícios energeticamente eficientes e sustentáveis.

Esta dissertação tem como objetivo analisar a situação energética em Portugal, comparando-a com a situação energética geral da Europa e apresentar o modelo de cálculo existente em Portugal.

Analisaram-se as restrições regulamentares existentes e os índices que influenciam a classificação energética, seguida de uma descrição dos sistemas de energias renováveis existentes aplicáveis a situações de edifícios em Portugal.

Esta dissertação culminará com a aplicação das exigências regulamentares portuguesas num caso de estudo, onde serão estudados diferentes cenários e analisados os resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: NZEB, Térmica, Energias Renováveis, Edifícios de Habitação

Abstract

Over the years, the European Union (EU) has been implementing measures to improve the sustainability of all economic sectors, aiming to move towards an environmentally self-sustainable future.

In the last two decades, several European Directives have been transposed that aim to achieve Near Zero Energy Buildings (NZEB). The EU Member States must, quickly and within the imposed deadlines, introduce into their own legislation requirements that make buildings energy efficient and sustainable.

This dissertation aims to analyze the energy situation in Portugal, comparing it with the general energy situation in Europe and to present the existing calculation model in Portugal.

The existing regulatory restrictions and the indexes that influence the energy classification were analyzed, followed by a description of the existing renewable energy systems applicable to building situations in Portugal.

This dissertation will culminate with the application of the Portuguese regulatory requirements in a case study, where different scenarios will be studied and the results obtained analyzed.

KEYWORDS: NZEB, Thermal, Renewable Energies, Housing Buildings

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
 2. EXIGÊNCIAS NZEB	 3
2.1. DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS	3
2.2. CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS NA EUROPA	3
2.3. SITUAÇÃO ENERGÉTICA EM PORTUGAL E ESPANHA	4
2.3.1. PORTUGAL	4
2.3.2. ESPANHA	5
2.4. DEFINIÇÃO E CONCEITO DE NZEB NA EUROPA, EM PORTUGAL E ESPANHA	6
2.4.1. UNIÃO EUROPEIA	6
2.4.2. PORTUGAL	6
2.4.3. ESPANHA	8
2.5. PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA E A REGULAMENTAÇÃO ESPANHOLA	8
2.5.1. PORTUGAL	8
2.5.1.1. Regulamentação de exigências NZEB	8
2.5.1.2. Requisitos dos edifícios novos de habitação	10
2.5.1.2.1. Determinação do zonamento climático de inverno	10
2.5.1.2.2. Determinação do valor de N_{ic} e N_i	12
2.5.1.2.3. Determinação do valor de R_{NT}	15
2.5.1.2.4. Determinação do valor de N_{tc} e N_t	16
2.5.1.2.5. Determinação do valor de Ren_{hab}	19
2.5.2. ESPANHA	20
2.5.2.1. Regulamentação de exigências NZEB geral	20
2.5.2.1.1. Limitações do valor de $C_{ep,nren}$	22
2.5.2.1.2. Limitações do valor de $C_{ep,tot}$	22

2.5.3. CONCLUSÕES DA COMPARAÇÃO DE LEGISLAÇÃO ENTRE PORTUGAL E ESPANHA	23
2.6. MODELO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES EM PORTUGAL.....	23
2.6.1. INTRODUÇÃO AO PROGRAMA SCE.ER.....	23
2.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	28
3. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	29
3.1. DEFINIÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	29
3.2. SISTEMA SOLAR TÉRMICO	30
3.3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	32
3.4. SISTEMA DE BIOMASSA.....	34
3.5. SISTEMA DE BOMBA DE CALOR	36
3.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	38
4. SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES - CASO DE ESTUDO	39
4.1. INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO.....	39
4.2. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	40
4.2.1. LEVANTAMENTO DIMENSIONAL DA MORADIA EM ESTUDO	41
4.2.1.1. Quantificação de desempenho dos elementos opacos	42
4.2.1.2. Quantificação de desempenho do elemento em contacto com o solo	42
4.2.1.3. Quantificação de desempenho dos elementos envidraçados.....	43
4.3. EXIGÊNCIAS E PARÂMETROS REGULAMENTARES.....	44
4.3.1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA - U	44
4.3.2. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR - Ψ	45
4.3.3. FATOR SOLAR	46
4.3.4. VERIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	46
4.3.5. INÉRCIA TÉRMICA	47
4.3.6. VENTILAÇÃO	49
4.3.7. QUANTIFICAÇÃO DO N_{ic} E DO N_{vc} DA MORADIA	49
4.4. DESCRIÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	50
4.4.1. COLETOR SOLAR TÉRMICO.....	51
4.4.2. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	51
4.4.3. SISTEMA A BIOMASSA	52
4.4.4. SISTEMA DE BOMBA DE CALOR	52
4.5. NECESSIDADES MÍNIMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	52

4.5.1.	1º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + GÁS NATURAL (AQS).....	54
4.5.2.	2º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQS)	55
4.5.3.	3º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + GÁS NATURAL (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)	57
4.5.4.	4º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)	58
4.5.5.	5º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)	60
4.5.6.	6º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQS) + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)	61
4.5.7.	7º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQS) + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)	62
4.5.8.	8º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + GÁS NATURAL (AQS) + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)	64
4.5.9.	9º CENÁRIO – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (AQS)	65
4.5.10.	10º CENÁRIO – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO).....	67
4.5.11.	11º CENÁRIO – BOMBA DE CALOR (AQS E AQUECIMENTO)	68
4.5.12.	12º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQUECIMENTO)	69
4.5.13.	13º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)	70
4.5.14.	14º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO) + BOMBA DE CALOR (AQS)	72
4.5.15.	15º CENÁRIO – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (AQUECIMENTO).....	73
4.5.16.	16º CENÁRIO - PAINÉIS FOTOVOLTAICOS + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO).....	75
4.5.17.	17º CENÁRIO - BIOMASSA (AQUECIMENTO) + GÁS NATURAL (AQS).....	76
4.6.	SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS	77
4.7.	INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES A RETIRAR	78
4.8.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	78
5.	CONCLUSÃO	81
5.1.	CONCLUSÃO	81
5.2.	PERSPETIVAS FUTURAS	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

ANEXOS

ANEXO I – PROJETO DE ARQUITETURA	87
ANEXO II – COMPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE	95
ANEXO III – PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO ADICIONAIS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de energia no setor residencial por uso na União Europeia (%) (adaptado de EUROSTAT (online data code: nrg_d_hhq))	4
Figura 2 - Consumo de energia final em Portugal (%) (adaptado de EUROSTAT (online data code: nrg_d_hhq))	5
Figura 3 - Consumo de energia final em Espanha (%) (adaptado de EUROSTAT (online data code: nrg_d_hhq))	5
Figura 4 - Zonamento climático em Portugal Continental (consultado em www.comum.rcaap.pt)	9
Figura 5 - Exemplo de etiqueta energética em Portugal	15
Figura 6 - Etiqueta de classificação energética em Espanha durante o projeto e após o edifício terminado	21
Figura 7 - Consumo de água quente e sanitária (AQS)	24
Figura 8 - Interface de seleção dos componentes para o sistema solar térmico	24
Figura 9 - Características técnicas dos equipamentos integrantes de um sistema de coletores solares térmicos	25
Figura 10 - Interface de seleção dos componentes para o sistema solar fotovoltaico	25
Figura 11 - Características técnicas dos equipamentos integrantes de um sistema de painéis fotovoltaicos	26
Figura 12 - Interface de seleção dos componentes para o sistema de queima de biomassa	26
Figura 13 - Características técnicas dos equipamentos integrantes de um sistema de queima de biomassa	26
Figura 14 - Interface de seleção dos componentes para a bomba de calor	27
Figura 15 - Exemplo do resultado final de cálculo do balanço energético na folha de cálculo do ITECONS	28
Figura 16 - Diagrama de funcionamento de um sistema coletor solar térmico (consultada em https://www.portal-energia.com/funciona-instalacao-solar-termica/)	31
Figura 17 - Diagrama de funcionamento de um sistema solar fotovoltaico (adaptada de www.energiasmadeira.pt/como-funciona/)	33
Figura 18 - Diagrama de funcionamento de um sistema a biomassa	35
Figura 19 - Diagrama de funcionamento de um sistema a bomba de calor	37
Figura 20 - Planta do R/C e Andar da moradia em estudo	40
Figura 21 - Resultados obtidos do cenário 1	54
Figura 22 - Resultados obtidos do cenário 2	56
Figura 23 - Resultados obtidos do cenário 3	57
Figura 24 - Resultados obtidos do cenário 4	59
Figura 25 - Resultados obtidos do cenário 5	60
Figura 26 - Resultados obtidos do cenário 6	62
Figura 27 - Resultados obtidos do cenário 7	63
Figura 28 - Resultados obtidos do cenário 8	65
Figura 29 - Resultados obtidos do cenário 9	66
Figura 30 - Resultados obtidos do cenário 10	67
Figura 31 - Resultados obtidos do cenário 12	70
Figura 32 - Resultados obtidos do cenário 13	71
Figura 33 - Resultados obtidos do cenário 14	73
Figura 34 - Resultados obtidos do cenário 15	74
Figura 35 - Resultados obtidos do cenário 16	76

Figura 36 - Alçado Lateral - Nascente.....	89
Figura 37 - Alçado Lateral - Poente	90
Figura 38 - Alçado Principal e Alçado Posterior	91
Figura 39 - Corte C1	92
Figura 40 - Alçado Principal - Muro exterior e Corte C2	93

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos de conforto térmico para edifícios novos de habitação	10
Quadro 2 - Requisitos de desempenho energético para edifícios novos de habitação.....	10
Quadro 3 - Extrato da NUTS III.....	11
Quadro 4 - Extrato da tabela de valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento.....	11
Quadro 5 - Coeficientes de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação ...	13
Quadro 6 - Coeficientes de transmissão térmica linear de referência em edifícios de habitação	14
Quadro 7 - Intervalos de valor de RNT para edifícios de habitação	15
Quadro 8 - Eficiência dos sistemas por defeito em edifícios de habitação	17
Quadro 9 - Fatores de conversão de energia final para energia primária.....	19
Quadro 10 - Classificação energética em Espanha	21
Quadro 11 - Valor limite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m ² ·ano] para uso residencial privado	22
Quadro 12 - Valor limite $C_{ep,tot}$ [kWh/m ² ·ano] para uso residencial privado.....	22
Quadro 13 - Áreas dos pavimentos interiores da moradia do caso de estudo (retirado do software do ITECONS)	41
Quadro 14 - Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) dos elementos opacos da moradia em estudo	42
Quadro 15 - Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) do elemento em contacto com o solo da moradia em estudo	42
Quadro 16 - Características da solução de vão envidraçado VE1.....	43
Quadro 17 - Características da solução de vão envidraçado VE2.....	43
Quadro 18 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação — Portugal Continental, $U_{máx}$ [W/(m ² ·°C)]	44
Quadro 19 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,máx}$ [W/(m ² ·°C)]	45
Quadro 20 - Coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ).....	45
Quadro 21 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, $g_{tot,máx}$	46
Quadro 22 - Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos opacos.....	46
Quadro 23 - Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica do elemento em contacto com o solo	47
Quadro 24 - Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos envidraçados	47
Quadro 25 - Fator de redução de massa superficial útil	48
Quadro 26 - Classes de inércia térmica	48
Quadro 27 - Verificação regulamentar da taxa de renovação horária da moradia em estudo	49
Quadro 28 - Resultado final de balanço energético antes da implementação de sistemas técnicos	49
Quadro 29 - Equipamentos de energia renovável utilizadas no caso de estudo.....	50
Quadro 30 - Equipamentos de apoio utilizados no caso de estudo	50
Quadro 31 - Sistemas por defeito adotados pela folha de cálculo do ITECONS	50
Quadro 32 – Energia renovável produzida pelos coletores solares térmicos obtidos com recurso ao SCE.ER	51

Quadro 33 - Parâmetros dos sistemas de painéis fotovoltaicos obtidos com recurso ao SCE.ER	51
Quadro 34 - Parâmetros dos sistemas de bomba de calor	52
Quadro 35 - Listagem dos cenários estudados neste caso de estudo	53
Quadro 36 – Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 1	54
Quadro 37 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 2.....	55
Quadro 38 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 3.....	57
Quadro 39 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 4.....	58
Quadro 40 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 5.....	60
Quadro 41 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 6.....	61
Quadro 42 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 7.....	62
Quadro 43 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 8.....	64
Quadro 44 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 9.....	65
Quadro 45 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 10.....	67
Quadro 46 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 11.....	68
Quadro 47 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 12.....	69
Quadro 48 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 13.....	70
Quadro 49 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 14.....	72
Quadro 50 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 15.....	73
Quadro 51 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 16.....	75
Quadro 52 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 17.....	77
Quadro 53 - Análise heurística dos cenários estudados	77
Quadro 54 - Composição do elemento estrutural PDE1.....	97
Quadro 55 - Composição do elemento estrutural PDE2.....	97
Quadro 56 - Composição do elemento estrutural PTPPDE1/2.....	98
Quadro 57 - Composição do elemento estrutural PTPPDE3.....	98
Quadro 58 - Composição do elemento estrutural PTPPDE4.....	99
Quadro 59 – Tabela síntese de dimensões e U's das paredes exteriores e pontes térmicas planas	99
Quadro 60 - Composição do elemento estrutural COB1	100
Quadro 61 - Composição do elemento estrutural COB2	101
Quadro 62 - Composição do elemento estrutural PTPCBE1	101
Quadro 63 - Composição do elemento estrutural PTPCBE2.....	102
Quadro 64 - Tabela síntese de dimensões e U's das coberturas e pontes térmicas planas.....	102
Quadro 65 - Composição do elemento estrutural PI1.....	103
Quadro 66 - Composição do elemento estrutural PTPPDI1	103
Quadro 67 - Tabela síntese de dimensões e U's das paredes interiores, pontes térmicas planas e porta.....	104
Quadro 68 - Composição do elemento estrutural PVT1	104
Quadro 69 - Tabela síntese de dimensões e R do pavimento em contacto com o solo.....	104
Quadro 70 - Localização, áreas e orientações dos vãos envidraçados da moradia do caso de estudo.....	105
Quadro 71 - Ângulos de sombreamento que afetam os vãos envidraçados.....	106
Quadro 72 - Valores da fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados	110
Quadro 73 - Valores do fator de correção da seletividade angular de verão	110
Quadro 74 - Coeficientes de redução de perdas.....	111
Quadro 75 - Características dos espaços não úteis (ENU)	111

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AC – Corrente alternada

ADENE – Agência para a Energia

A_p – Área de pavimento

AQS – Águas Quentes e Sanitárias

b_{zu} – Coeficiente de redução de perdas

CTE – Código Técnico de Edificação

DC – Corrente contínua

ECCN – Edifício de Consumo de Energía Casi Nulo

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

E_{ren} – Produção de energia renovável

UE – União Europeia

EUROSTAT - Gabinete de Estatísticas da União Europeia

F_g – Fração envidraçada

F_{pu} – Fator de conversão de energia final para energia primária

$g_{\perp,vi}$ - Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado

GD – Graus-dia

GEE – Gases de efeito de estufa

G_{Sul} – Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento

g_{tot} – Fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar totalmente ativados

$G_{tot,p}$ – Fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados

GWh – Gigawatt hora

I_t – Inércia Térmica

ITECONS – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade

kWh – Kilowatt hora

L – Litros

M – Duração da estação de aquecimento (meses)

m^2 – Metro quadrado

N_i – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência (kWh/(m^2 .ano))

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/(m^2 .ano))

N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência (kWhEP/(m^2 .ano))

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária (kWhEP/(m^2 .ano))

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

N_v – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [kWh/(m^2 .ano)];

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m^2 .ano)];

NZEB – Near Zero Energy Buildings

$^{\circ}C$ – Graus Celsius

PME – Pequenas e Médias Empresas

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

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

REF – Referência

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

Ren_{hab} – Indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação

R_{NT} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação

R_{ph} – Taxa de renovação de ar

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

U – Coeficiente de transmissão térmica

U_{bf} – Coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos em contacto com o solo

U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite

V – Volt

W – Watt

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear

r_i – Fator de redução da massa superficial útil do elemento

θ – Temperatura ($^{\circ}C$)

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Ao longo dos anos, as exigências dos *Near Zero Energy Buildings* (NZEB) têm sofrido alterações de forma evolutiva, de forma a ser possível responder às realidades que afetam cada país.

Em Portugal, a resposta às diretivas europeias teve início com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, onde são aprovados o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), e onde foi efetuada a primeira transposição da definição NZEB para o território nacional, ficando estabelecidas as metas iniciais de adoção deste conceito.

Durante a década de 2010, a legislação portuguesa foi recebendo sucessivas atualizações, de modo a promover mais vincadamente a adoção dos edifícios NZEB em Portugal.

Com a necessidade de cumprir as metas estabelecidas pela União Europeia (UE) decenalmente, de 2020 a 2050, e de forma a acelerar o desenvolvimento do parque edificado português, surge a Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril, que vem reforçar alguns parâmetros previamente conhecidos em Portugal, tais como as necessidades de energia primária para aquecimento, e onde surgem novos índices e conceitos para alcançar na construção nova, como é o caso da percentagem de produção de energias renováveis (%E_{ren}).

Atualmente encontra-se em vigor o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de novembro, que procede à atualização dos parâmetros já atualizados anteriormente pela Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril, 2019. Além do citado Decreto-Lei, encontra-se também em vigor o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho e a Portaria n.º 138/2021 de 1 de julho, que apresentam indicações e restrições no cálculo de índices importantes na determinação da eficiência energética dos edifícios portugueses.

Além destas diretivas, o Governo português tem assegurado formas de facilitar a implementação destas medidas NZEB, através da disponibilização de várias ferramentas de cálculo, de forma a aliviar alguma carga de trabalho aos engenheiros civis, ao auxiliar nos cálculos de vários índices termicamente relevantes, por serem bastante extensos e morosos. Estas ferramentas de cálculo têm vindo a sofrer alterações de forma a acompanhar as alterações nos documentos regulamentares das exigências de edifícios NZEB.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A redação desta dissertação tem como principais objetivos:

- I. Analisar detalhadamente os Decretos-lei e Portarias que contêm as mais recentes exigências NZEB para edifícios de habitação;
- II. Introduzir as fontes de energia renovável passíveis de integrar em edifícios de habitação;
- III. Aplicar estas exigências NZEB em um caso de estudo de uma moradia nova, procedendo à análise térmica desta mesma moradia, quantificando as necessidades anuais de energia renovável de forma a satisfazer as exigências regulamentares.

Além destes objetivos, foi necessário:

- Proceder a uma análise da situação energética em Portugal, Espanha e na restante União Europeia;
- Efetuar uma análise comparativa da avaliação térmica em Portugal e Espanha.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação segue uma corrente de pensamento que pretende suavizar a compreensão das matérias estudadas, através de um desenvolvimento lógico de capítulo para capítulo. Pretende-se expor da maneira mais clara possível, todos os conceitos abordados nesta dissertação, com introduções e imagens gráficas que permitem compreender e contextualizar as matérias nas situações que vão sendo descritas.

Este documento divide-se em 5 capítulos, em que o primeiro e o último capítulo incidem na introdução e conclusão da dissertação, respetivamente. São sucintamente apresentados os restantes capítulos.

O segundo capítulo descreve o estado de arte, expondo as situações energéticas na Europa, em Espanha e Portugal, seguido de uma comparação da forma de avaliação energética em Espanha e Portugal. Além disso, tem o objetivo de introduzir todos os conceitos importantes trabalhados nesta dissertação.

O terceiro capítulo introduz as fontes de energia renovável passíveis de serem implementadas em edifícios de habitação, através de uma descrição do funcionamento de cada sistema de energia renovável.

No quarto capítulo é realizado um caso de estudo, aplicando as novas exigências NZEB a uma moradia nova, explorando diferentes soluções de energia renovável para a zona climática onde se localiza a moradia.

2

EXIGÊNCIAS NZEB

2.1 DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS

Com o presente capítulo, procura-se abordar, inicialmente, a situação energética nos dois países, Portugal e Espanha, comparando as suas realidades com a média europeia.

Serão analisadas, também, as diferenças e/ou semelhanças entre a diversa legislação que dita as exigências de edifícios NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*) nos países acima referidos, procurando estabelecer uma comparação entre ambos.

Será feita referência a estudos científicos e/ou observações anteriores acerca de edifícios NZEB, procurando estabelecer um paralelismo com o objetivo desta dissertação.

Por último, será realizada uma síntese da análise efetuada, de modo a ser possível sistematizar os pontos focais da discussão em subcapítulos posteriores.

2.2 CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS NA EUROPA

Segundo a Comissão Europeia, o setor de construção acarreta um dos maiores consumos de energia da Europa, sendo responsável por cerca de 40% do consumo energético europeu e cerca de 36% da emissão de gases de efeito de estufa (GEE), fazendo com que os edifícios sejam o objeto de maior consumo energético na Europa. Para contextualizar, na Europa, o consumo de energia para Aquecimento, Arrefecimento e preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS) representa cerca de 80% da energia consumida pelos cidadãos europeus.

Atualmente, cerca de 35% da edificação europeia possui uma idade superior a 50 anos e 75% do parque edificado é ineficiente a nível de consumo energético, em que apenas 1% dos edifícios são adaptados anualmente para soluções de energia mais eficientes.

Um dos principais incentivos para a implementação e desenvolvimento de novas soluções de eficiência energética passa pela estimulação da economia europeia, principalmente no setor da construção, já que este gera cerca de 9% de todo o PIB europeu e disponibiliza cerca de 18 milhões de empregos diretos por toda a União Europeia (UE). Assim, as Pequenas e Médias Empresas (PME) beneficiam de um mercado de renovação em crescimento, contribuindo para mais de 70% do valor acrescentado no setor de construção na UE.

O gráfico a seguir apresentado representa a percentagem de consumo de energia médio nos edifícios de habitação na União Europeia, por uso. Obteve-se um consumo total de energia de mais de 10000000 TJ de energia. Da análise do referido gráfico, infere-se que o aquecimento de espaços interiores reflete a maior percentagem de consumo de energia com cerca de 63% do consumo total, enquanto a preparação de AQS representa 15%, o consumo de energia dos eletrodomésticos e iluminação representa 14,5% e o consumo de energia para cozinhar representa 6,1%. Por sua vez, o arrefecimento de espaços interiores representa menos de 1% do consumo de energia.

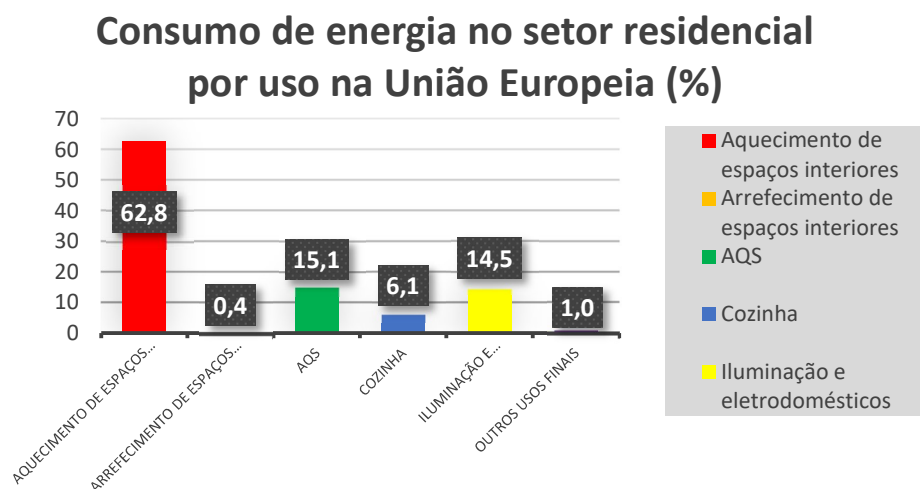


Figura 1 - Consumo de energia no setor residencial por uso na União Europeia (%) (adaptado de EUROSTAT (online data code: nrg_d_hhq))

2.3 SITUAÇÃO ENERGÉTICA EM PORTUGAL E ESPANHA

Através da base de dados do *EUROSTAT* (2020), foi possível analisar a distribuição percentual dos consumos finais de energia para Portugal e Espanha. Apresentam-se, a seguir, gráficos representativos dessa distribuição percentual.

2.3.1 PORTUGAL

Na já citada base de dados do *EUROSTAT*, foi possível perceber que Portugal possui um maior consumo em energia para cozinhar, 31,4%, cerca de 5 vezes superior à média europeia. Segue-se o aquecimento de espaços interiores com 30,5%, mas, neste caso, inferior à média europeia que é de 62,8%, como se pode verificar através da Figura 2.

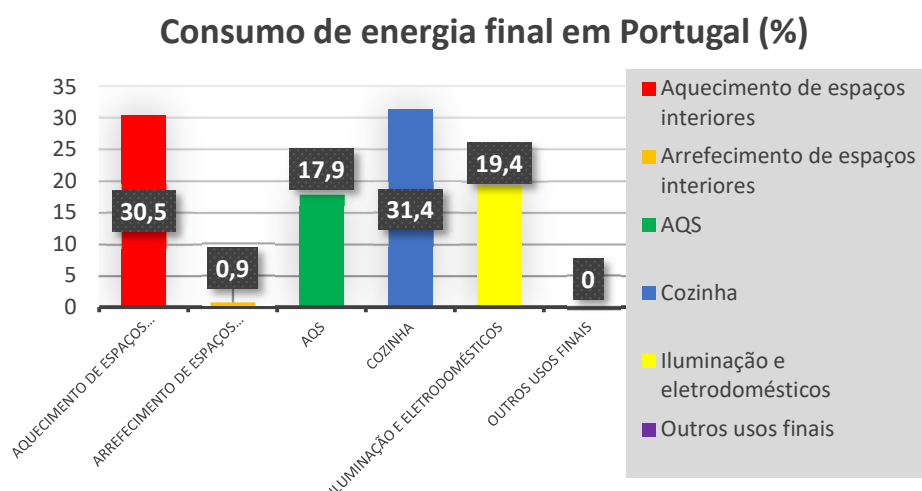


Figura 2 - Consumo de energia final em Portugal (%) (adaptado de EUROSTAT (online data code: nrg_d_hhq))

2.3.2 ESPANHA

Ainda de acordo com a base de dados do *EUROSTAT* (2020), foi possível constatar através da Figura 3 que Espanha possui maior consumo em energia para aquecimento de espaços interiores (40,7%), quando comparado com Portugal (30,5%), embora inferior à média da UE (62,8%). Segue-se o consumo de energia por parte da iluminação e eletrodomésticos, estimado em 32,1%, cerca de 2 vezes superior à média europeia (14,5%)

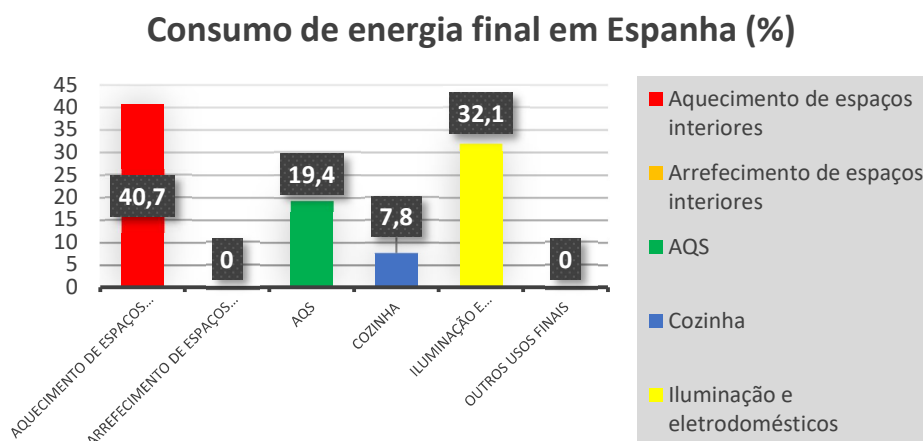


Figura 3 - Consumo de energia final em Espanha (%) (adaptado de EUROSTAT (online data code: nrg_d_hhq))

Analisando os gráficos anteriormente apresentados, verifica-se que a situação de consumo energético em edifícios de habitação em Portugal e Espanha difere bastante da situação de consumo energético médio europeu em edifícios de habitação. Algumas das diferenças mais notórias passam pelo consumo energético português para cozinhar, que se mostra ser cinco vezes superior à média europeia, ou o consumo energético espanhol para iluminação e funcionamento de eletrodomésticos, sendo duas vezes superior à média europeia.

2.4 DEFINIÇÃO E CONCEITO DE NZEB NA EUROPA, EM PORTUGAL E ESPANHA

2.4.1 UNIÃO EUROPEIA

De acordo com os dados publicitados na página da Comissão Europeia, um edifício NZEB define-se como um edifício com um desempenho energético muito elevado, em que a quantidade quase nula ou muito reduzida de energia necessária para a sua correta operação deve ser coberta de forma significativa por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes locais ou das proximidades (European Commission, 2021).

Além disso, a análise da Diretiva 2010/31/UE revela que “o desempenho energético de um edifício é determinado com base no consumo de energia calculado ou real e deve refletir o consumo energético típico para o aquecimento e o arrefecimento de espaços, a água quente para uso doméstico, a ventilação e a instalação fixa de iluminação, bem como outros sistemas técnicos dos edifícios; O desempenho energético de um edifício é expresso por um indicador numérico da utilização de energia primária em kWh/(m².ano) para efeitos de certificação do desempenho energético, bem como de cumprimento dos requisitos mínimos de desempenho energético (Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, 2018).

Com esta descrição, parece tornar-se evidente que, nos vários países da UE, existem diferentes e variadas interpretações do EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), diretiva europeia que visa alcançar um parque imobiliário europeu descarbonizado e energeticamente eficiente até 2050. Estas diferentes interpretações, não só levam a diferentes orçamentos e incentivos, mas também a diferentes classificações de zonas climáticas e diferentes graus de progresso na implementação de edifícios NZEB em diferentes países.

2.4.2 PORTUGAL

Em Portugal, a implementação de medidas para a construção de edifícios NZEB teve início com a transposição da Diretiva Europeia 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 dezembro de 2002, para a legislação portuguesa em 2006, através dos Decreto-Lei n.º 78/2006, Decreto-Lei n.º 79/2006 e Decreto-Lei n.º 80/2006, todos de 4 de abril, aprovando o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, que tornava obrigatório “o recurso a sistemas de coletores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada, na base de 1 m² de coletor por ocupante convencional previsto” (Decreto-Lei n.º 80/2006 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006), o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em edifícios e o Regulamento das Características de Comportamento Técnico dos Edifícios. Estes Decretos-lei têm vindo a sofrer alterações, estando a última plasmada no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto.

A definição de edifício NZEB «Edifício com necessidades quase nulas de energia», encontra-se plasmada na alínea d) do Artigo 3º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, atualizado pelo Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de novembro, como sendo um edifício com um desempenho energético muito elevado, determinado através de metodologias específicas, e no qual as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas são cobertas, em grande medida, por energia proveniente de fontes renováveis preferencialmente locais ou com origem nas proximidades do edifício, quando aquela não seja suficiente.

Entretanto, em 2013, foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, (posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, pelo Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro, pelo Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro, pelo Decreto-Lei n.º 28/2016, de 23 de junho, e pela Lei n.º 52/2018, de 20 de agosto), que visava assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integrava o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e transpunha a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Em 2018, foi lançado o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho, que surge no quadro das obrigações estabelecidas pelo Regulamento da Governação da União da Energia e da Ação Climática (Regulamento (UE) n.º 2018/1999, de 11 de dezembro de 2018), que estabelece metas ambiciosas para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a transição para um sistema energético mais sustentável e resiliente. Este plano inclui medidas específicas para aumentar a construção de edifícios NZEB em Portugal e outros estados-membros relevantes, como Espanha e França, nomeadamente incentivos financeiros e programas de formação e capacitação para profissionais do setor.

Em 2019, foi publicada a Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril que regulamenta os requisitos mais rigorosos para a eficiência energética de edifícios novos e para a reabilitação de edifícios existentes. Esta Portaria introduz a terceira alteração da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, alterada pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, e pela Portaria n.º 319/2016, de 15 de dezembro, que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados do SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.

Atualmente o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, atualizado pelo Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de novembro, que veio revogar o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto entre outros diplomas legais, estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844, de 30 de maio e, parcialmente, a Diretiva (UE) 2019/944, de 5 de junho. Esta legislação estabelece a obrigação de os edifícios novos serem construídos como edifícios de energia quase nula a partir de 1 de julho de 2021.

Paralelamente, começaram a ganhar impulso vários programas de apoio a soluções energeticamente viáveis, tal como o Programa Casa Eficiente 2020, lançado em 2017, que fornece incentivos financeiros para a realização de obras de melhoria da eficiência energética em edifícios existentes, incluindo a instalação de sistemas de produção de energia renovável. Mais recentemente, o Governo português, com coordenação e supervisão da ADENE, e no âmbito do Plano de Recuperação e Resiliência, criou o Programa de Apoio a Condomínios Residenciais, lançado a 4 de Abril de 2023, que tem como objetivo promover melhorias na envolvente de edifícios multifamiliares existentes, através da aplicação de medidas de isolamento térmico em pavimentos, fachadas e coberturas (República Portuguesa - Secretaria-Geral do Ambiente, 2023).

Apesar dos avanços, a implementação de medidas NZEB em Portugal ainda enfrenta alguns desafios, tais como a falta de capacitação e formação para profissionais do setor, a falta de incentivos financeiros adequados para a construção de edifícios NZEB e a necessidade de sensibilizar os proprietários e os compradores de imóveis sobre as vantagens dos edifícios NZEB.

2.4.3 ESPANHA

Em Espanha, o conceito de NZEB é conhecido como "*Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo*" (ECCN). Este conceito refere-se a edifícios que consomem muito pouca energia para o seu funcionamento, sendo que a maior parte da energia que necessitam é gerada a partir de fontes renováveis.

A definição de ECCN, em Espanha, encontra-se enquadrada no Real Decreto 56/2016, de 12 de fevereiro, que estabelece os requisitos mínimos de eficiência energética a serem cumpridos pelos edifícios novos e renovados. Este decreto-lei foi sujeito a várias atualizações, sendo o mais recente o Real Decreto 450/2022 de 14 de junho.

Os edifícios ECCN devem cumprir requisitos específicos de eficiência energética, incluindo isolamento térmico de alta qualidade, ventilação mecânica controlada com recuperação de calor, utilização de fontes de energia renovável, como painéis solares e/ou geotermia, e sistemas de iluminação e climatização eficientes. O objetivo é reduzir significativamente o consumo de energia e as emissões de CO₂, contribuindo para a mitigação das alterações climáticas e para a transição para um sistema energético mais sustentável e resiliente. (Real Decreto 56/2016 do Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016).

A implementação de medidas para a construção de edifícios NZEB em Espanha começou a ganhar impulso com a transposição da Diretiva Europeia 2002/91/CE para a legislação espanhola em 2007, que estabelecia requisitos mínimos de eficiência energética para edifícios. Desde então, houve vários avanços em termos de regulamentação e incentivos para a construção de edifícios NZEB em Espanha. Em 2013, o Código Técnico da Edificação (CTE) foi atualizado de forma a incluir requisitos mais rigorosos de eficiência energética para novas construções e reformas de edifícios existentes.

2.5 PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA E A ESPANHOLA

De modo a iniciar esta análise regulamentar de exigências NZEB entre a regulamentação portuguesa e a espanhola, serão evidenciados os principais documentos de regulamentação de cada país. De seguida, será efetuada uma análise mais aprofundada a um dos índices em particular, o indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação (Ren_{hab}), e a abordagem de cada país na sua determinação.

2.5.1 PORTUGAL

2.5.1.1 Regulamentação de exigências NZEB

No caso de Portugal, as disposições em vigor no que toca a edifícios NZEB são as seguintes:

- Portugal encontra-se dividido em zonas climáticas, em que esta divisão se baseia na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), sistema hierárquico de divisão do território em regiões. Esta nomenclatura foi criada pelo Eurostat no início dos anos 1970, visando a harmonização das estatísticas dos vários países em termos de recolha, compilação e divulgação de estatísticas regionais. Em 2015 entrou em vigor uma nova divisão regional em Portugal – NUTS 2013. Em relação à versão anterior – NUTS 2002 –, traduz-se por significativas alterações de número e de composição municipal das NUTS III, as quais passaram de 30 para 25 unidades territoriais, agora designadas de «unidades administrativas». Essas unidades administrativas correspondem às "Entidades Intermunicipais", "Região Autónoma dos Açores" e "Região Autónoma da Madeira". Quanto às NUTS I e II, esta nova versão de 2013 não implicou alterações, tendo apenas a designação da NUTS II "Lisboa" passado para "Área Metropolitana de Lisboa". (PORDATA - Estatísticas sobre Portugal e Europa, 2021).

Através da NUTS III, Portugal encontra-se dividido em 3 zonas climáticas de arrefecimento (V1, V2, V3), mediante a temperatura exterior média na estação de arrefecimento, e em 3 zonas climáticas de aquecimento (I1, I2, I3), mediante os graus-dias de cada região.

Apresenta-se de seguida, na Figura 4, um esquema representativo das zonas climáticas em Portugal Continental.

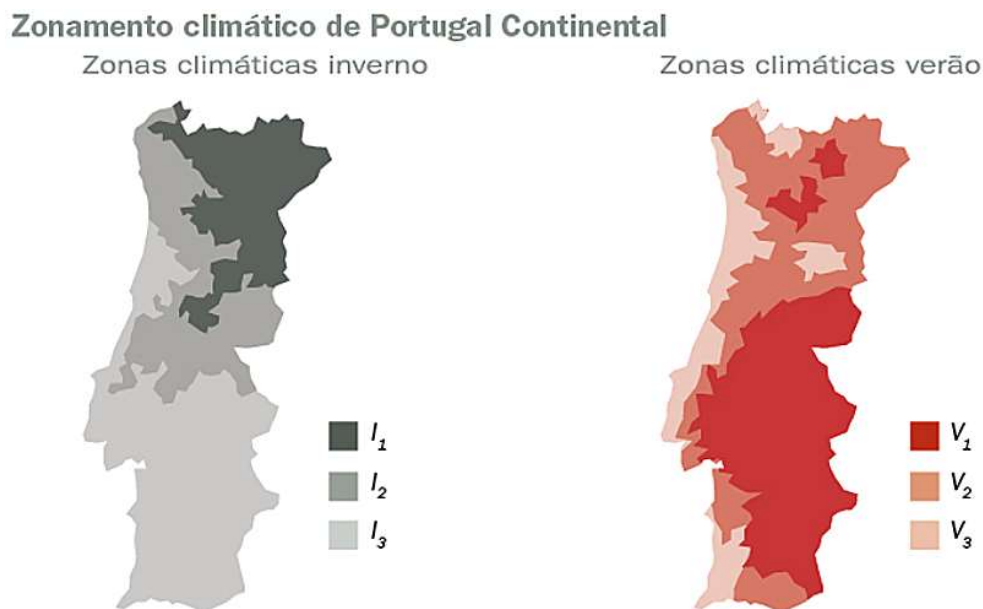


Figura 4 - Zonamento climático em Portugal Continental (consultado em www.comum.rcaap.pt)

- Com o Despacho n.º 6476-E/2021 de 1 de Julho, são aprovados os requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação de edifícios;
- Com o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de Julho, foi aprovado o Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (Manual SCE), que contém um conjunto de regras e orientações para a instrução, condução e conclusão dos processos de avaliação do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as especificidades de cada edifício; (Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho, Ambiente e Ação Climática - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021);
- Com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, atualizado pelo Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de novembro, são estabelecidos requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944;
- Com a Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de Julho, são definidos os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas. (Portaria n.º 138-I/2021 Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação, 2021).

2.5.1.2 Requisitos dos edifícios novos de habitação

Embora o Despacho n.º 6476-E/2021 de 1 de julho estabeleça os requisitos aplicáveis à conceção de novos edifícios, à renovação de edifícios e a edifícios de comércio e serviços ou de habitação, para efeitos desta dissertação, apenas se fará referência aos requisitos aplicáveis à conceção de novos edifícios de habitação.

Este Despacho impõe limites a índices de conforto térmico e de desempenho energético, dependendo da zona climática onde o edifício em questão se insere. Os quadros seguintes sintetizam esta informação. Estas encontram-se na página 31 do Despacho n.º 6476-E/2021, de 1 de julho.

Quadro 1 - Requisitos de conforto térmico para edifícios novos de habitação

Tipo de requisito	Zonas climáticas		
	I1	I2	I3
Conforto Térmico			
Necessidades de aquecimento	$N_{ic}/N_i \leq 0.75$	$N_{ic}/N_i \leq 0.85$	$N_{ic}/N_i \leq 0.9$
Necessidades de arrefecimento	$N_{vc}/N_v \leq 1.00$		

Quadro 2 - Requisitos de desempenho energético para edifícios novos de habitação

Tipo de requisito	Zonas climáticas		
	I1	I2	I3
Desempenho Energético			
Classe energética	Igual ou superior a A		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 0.50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0.50$		

Nas próximas subsecções será elaborada uma apresentação das fórmulas para determinar os índices referidos nos quadros anteriores.

2.5.1.2.1 Determinação do zonamento climático de Inverno

Antes de se introduzir a metodologia de determinação dos requisitos NZEB em Portugal, é fulcral explicar a forma de determinação do zonamento climático de Inverno onde se insere o edifício.

A maioria dos índices estudados possuem como referência a zona climática de inverno. A zona climática de verão também é utilizada como referência para alguns índices, nomeadamente os ganhos solares.

Tal como foi explicado anteriormente, Portugal encontra-se dividido em zonas climáticas, baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS). Para esta metodologia, será dada ênfase à NUTS III. Apresenta-se, no Quadro 3, um pequeno extrato de uma tabela onde se encontra sintetizada a inserção de cada concelho na NUTS III, retirada do Anexo II do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho.

Quadro 3 - Extrato da NUTS III

Concelho	NUTS III
Aveiro	Baixo Vouga
Póvoa de Varzim	Grande Porto
Bragança	Alto Trás-os-Montes

A cada zonamento da NUTS III estão associados parâmetros climáticos, que diferem de zonamento para zonamento. Os parâmetros climáticos pertinentes para a determinação da estação de aquecimento são os seguintes:

- GD – Número de graus-dia, na base de 18° C [°C];
- M – Duração da estação de aquecimento [meses];
- $\theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];
- G_{Sul} - Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento [kWh/(m².mês)].

De forma a determinar estes valores, será utilizada uma única expressão, transversal a todos os parâmetros acima mencionados, que se encontra na página 98 do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho. A equação a utilizar é a seguinte:

$$X = X_{REF} + a \times (z - z_{REF}) \quad (1)$$

Em que:

- X – Parâmetro climático a corrigir;
- X_{REF} – Parâmetro climático à cota de referência;
- a – Declive que relaciona a diferença de altitudes [mês/km] ou [°C/km];
- z – Altitude do edifício [km];
- z_{REF} – Altitude de referência [km].

Os valores dos parâmetros climáticos associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local. Apresenta-se no Quadro 4 um extrato da tabela de valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento para cada zona NUTS III.

Quadro 4 - Extrato da tabela de valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento

NUTS III	z_{REF} m	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{Sul} kWh/(m².mês)
		M_{REF} meses	a mês/km	GD_{REF} °C	a °C/km	$\theta_{ext,i,REF}$ °C	a °C/km	
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130

2.5.1.2.2 Determinação do valor de N_{ic} e N_i

Em Portugal, o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência (N_i) são calculados através de fórmulas exaradas no Despacho n.º 6476-H/2021. Este despacho define N_{ic} como “a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de 18 °C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento. Estas necessidades são determinadas contabilizando a transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos de calor úteis, os últimos provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e dos ganhos devido às cargas internas no edifício.”.

Ainda segundo o citado Despacho n.º 6476-H/2021, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são determinadas, de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790, considerando:

- O método sazonal de cálculo de necessidades de aquecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;
- Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência;
- A ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento.

Assim, o valor de N_{ic} é determinado através da seguinte equação:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \quad [kWh/m^2.ano] \quad (2)$$

Em que:

- N_{ic} - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m².ano)];
- $Q_{tr,i}$ - Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{ve,i}$ - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{gu,i}$ - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh/ano];
- A_p - Área interior útil de pavimento [m²].

Para determinar os valores destes parâmetros, são apresentadas outras fórmulas, neste mesmo despacho, em que algumas delas remetem para cálculos de determinação do zonamento climático. Assim, é de salientar a importância da localização do edifício em estudo, pois, a sua localização influencia o método de cálculo para o dimensionamento de um edifício de necessidades energéticas quase nulas.

De seguida, o despacho define N_i como “a quantidade de energia necessária para manter o edifício de referência a uma temperatura de 18 °C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento. Estas necessidades são determinadas tendo em consideração as condições de referência na transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos de calor úteis.”.

A equação de cálculo de N_i é bastante semelhante à expressão de cálculo do N_{ic} , sendo que os parâmetros transferência e ganhos de calor (Q) passam a tomar valores de referência. Assim sendo, a equação de cálculo de N_i é a seguinte:

$$N_i = (Q_{tr,i,REG} + Q_{ve,i,REF} - Q_{gu,i,REF})/A_p \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (3)$$

Em que:

- N_i - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];
- $Q_{tr,i,REF}$ - Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{ve,i,REF}$ - Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- $Q_{gu,i,REF}$ - Ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh/ano];
- A_p - Área interior útil de pavimento [m^2].

Novamente, de forma a determinar estes parâmetros, são apresentadas outras fórmulas neste mesmo despacho. No entanto, é de salientar que estes parâmetros necessitam de valores de referência importantes, segundo o exposto nas seguintes alíneas:

- a) A determinação da transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício de referência ($Q_{tr,i,REF}$) é efetuada tal como no edifício previsto, mas considerando as seguintes particularidades:
 - a. Valores de coeficiente de transmissão térmica de referência (U_{REF}), constantes no seguinte quadro, retirada do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho, referidos no Quadro 5:

Quadro 5 - Coeficientes de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação

U_{REF} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]		Zona Climática					
Envolvente		Portugal Continental			Regiões Autónomas		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Condição fronteira exterior ou interior com $bztu > 0.7$	Elementos opacos verticais	0.50	0.40	0.35	0.70	0.60	0.45
	Elementos opacos horizontais	0.40	0.35	0.30	0.45	0.40	0.35
Condição fronteira interior com $bztu \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	0.80	0.70	0.60	0.90	0.80	0.70
	Elementos opacos horizontais	0.60	0.60	0.50	0.70	0.70	0.60
Vãos Envidraçados		2.80	2.40	2.20	2.80	2.40	2.20
Elementos em contacto com o chão		0.50			0.50		

- b. Valores de coeficiente de transmissão térmica linear de referência (Ψ_{REF}), constantes na Quadro 6;

Quadro 6 - Coeficientes de transmissão térmica linear de referência em edifícios de habitação

Tipo de ligação	Ψ_{REF} [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou espaço interior não útil Fachada com cobertura Fachada com pavimentos ao nível intermédio (Corresponde a metade da perda originada na ligação) Fachada com varanda (Corresponde a metade da perda originada na ligação)	0.50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0.40
Fachada com caixilharia Zona de caixa de estore	0.20

- c. Área de vãos envidraçados até 20% da área interior útil de pavimento do edifício, devendo a eventual área excedente ser somada à área de envolvente opaca exterior, nos termos das alíneas anteriores. Esta análise é efetuada considerando a área total de vãos envidraçados exteriores em espaços interiores úteis.
- b) O valor de referência da transferência de calor por ventilação através da envolvente, $Q_{ve,i,REF}$, deve ser determinado considerando uma taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,REF}$) igual à taxa de renovação para o edifício em estudo, até um máximo de 0,6 renovações por hora, isto é:
- Se $R_{ph,i} < 0.5 \text{ h}^{-1}$, então $R_{ph,i,REF} = 0.5 \text{ h}^{-1}$;
 - Se $0.5 \leq R_{ph,i} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$, então $R_{ph,i,REF} = R_{ph,i}$;
 - Se $R_{ph,i} > 0.6 \text{ h}^{-1}$, então $R_{ph,i,REF} = 0.6 \text{ h}^{-1}$.
- c) O cálculo dos ganhos solares úteis $Q_{gu,i,REF}$ deve ter em consideração:
- Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar de referência ($Q_{Sol,i,REF}$), obtidos de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{Sol,i,REF} = G_{Sul} \times 0.146 \times 0.15 \times A_p \times M \quad [kWh/ano] \quad (4)$$

Em que:

- $Q_{Sol,i,REF}$ - Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- G_{Sul} - Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento [kWh/(m².mês)];
- A_p - Área interior útil de pavimento [m²];
- M - Duração da estação de aquecimento [meses].

- b. Fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento ($\eta_{i,REF}$) igual a 0.6.

Além das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, também é necessário determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc} e N_v). Devido ao facto de o método de cálculo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento serem bastante similares, não se apresenta necessário demonstrar a sua determinação. No entanto, é possível encontrar a metodologia de cálculo do N_{vc} e N_v no Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho.

2.5.1.2.3 Determinação do valor de R_{NT}

De seguida surge o valor de rácio de classe energética em edifícios de habitação (R_{NT}). O Despacho n.º 6476-H/2021 define o R_{NT} como a “resultante da relação entre as necessidades nominais de energia primária previstas e de referência (...)”, tal como é demonstrado na expressão seguinte:

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (5)$$

Em que:

- R_{NT} - Rácio de classe energética em edifícios de habitação;
- N_{tc} - Necessidades nominais anuais de energia primária [$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$];
- N_t - Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$].

O valor de N_{tc} tem em conta os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) e a produção de energia renovável. Será feito referência a este índice mais à frente nesta dissertação.

Dependendo do valor deste rácio, é atribuído ao edifício uma classe energética, da mais baixa (F) à mais alta (A+), tal como se encontra no Quadro 7, proveniente do Despacho n.º 6476-H/2021.

Apresenta-se, também, um exemplo de certificação energética em Portugal.

Quadro 7 - Intervalos de valor de R_{NT} para edifícios de habitação

Classe Energética	R_{NT}
A+	$R_{NT} \leq 0.25$
A	$0.25 < R_{NT} \leq 0.50$
B	$0.50 < R_{NT} \leq 0.75$
B-	$0.75 < R_{NT} \leq 1.00$
C	$1.00 < R_{NT} \leq 1.50$
D	$1.50 < R_{NT} \leq 2.00$
E	$2.00 < R_{NT} \leq 2.50$
F	$R_{NT} > 2.50$

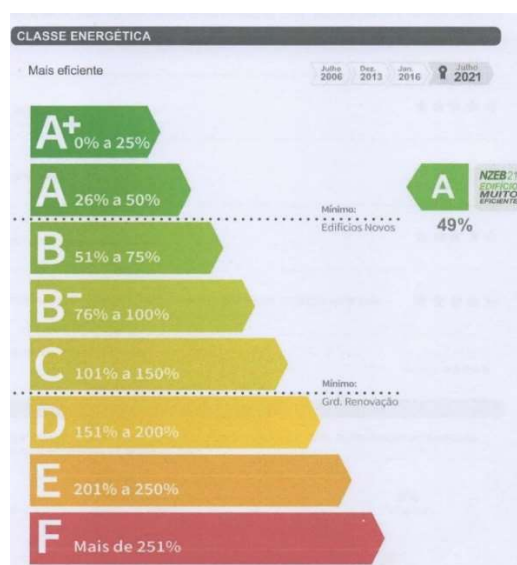


Figura 5 - Exemplo de etiqueta energética em Portugal

2.5.1.2.4 Determinação do valor do N_{ic} e do N_t

O Despacho n.º 6476-H/2021 define necessidades nominais anuais de energia primária (N_{ic}) como o “total de energia primária para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente e de preparação de AQS, bem como para o funcionamento dos sistemas de ventilação mecânica, subtraindo a este total a contribuição das fontes de energia renovável para estes usos. Nesta equação, as necessidades de energia útil para os vários usos regulados são convertidas para consumos de energia final, afetando as mesmas da eficiência dos sistemas técnicos, e estes consumos convertidos para energia primária, através do fator de conversão (F_{pu}).”.

Apresenta-se, de seguida, a equação de cálculo do valor de N_{ic} :

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_i \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_v \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (5)$$

Em que:

- N_{ic} - Necessidades nominais anuais de energia primária [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- N_{vc} - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];
- $f_{i,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j;
- N_{vc} - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];
- $f_{v,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j;
- Q_a - Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];
- $f_{a,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j;
- N_k - Eficiência do sistema k para a fonte de energia j, que corresponde ao respetivo valor de E_{DEE} , assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida. Na ausência de isolamento térmico na rede de distribuição de água quente para aquecimento ambiente ou para preparação de AQS que assegure uma resistência térmica de, pelo menos, $0,25 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$, a eficiência dos respetivos sistemas técnicos deve ser multiplicada por 0,9;
- $W_{vm,j}$ - Consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador [kWh/ano];
- $E_{ren,p}$ - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];
- A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];
- δ_i - Fator de anulação do consumo de energia para aquecimento, igual a 0 quando a relação N_{ic}/N_i é menor ou igual a 0,6 e o produto $g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f$ é menor ou igual a 0,15 em todos os vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior, excluindo desta condição os situados no quadrante norte e aqueles em que a soma da sua área por espaço é igual ou inferior a 5% da área de pavimento desse mesmo espaço, tomando um valor igual a 1 nas restantes situações;
- δ_v - Fator de anulação do consumo de energia para arrefecimento, igual a 1, exceto quando existem condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado, isto é, quando o fator de utilização de ganhos térmicos (η_v) é superior ao respetivo fator de referência ($\eta_{v,REF}$), assumindo nesta situação o valor 0;

- $F_{pu,j}$ - Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j, incluindo renovável [kWh_{EP}/kWh];
- $F_{pu,p}$ - Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh].

A parcela $-\sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}$ terá grande influência no resultado final do índice de N_{te} e, por sua vez, no índice R_{NT} . Isto deve-se ao facto de, quanto mais eficiente for a produção de energia renovável por parte dos sistemas de energia renovável instalados, menor serão as necessidades nominais anuais de energia primária, e menor será o valor do rácio de classe energética em edifícios de habitação. Esta diminuição no valor de R_{NT} levará a uma classificação energética superior.

Além disso, na aplicação desta equação, é necessário ter em atenção algumas regras e orientações metodológicas:

- Na ausência de sistemas técnicos para uma determinada função deve ser considerado o sistema por defeito, indicado no Quadro 8;

Quadro 8 - Eficiência dos sistemas por defeito em edifícios de habitação

Tipo de uso		Sistema por defeito	Eficiência do sistema
Aquecimento		Resistência elétrica	1.00
Arrefecimento		<i>Split</i> com permuta de ar (Não deve ser contabilizada a componente renovável associada a este tipo de sistema)	3.00
AQS	O edifício dispõe de rede de abastecimento de combustível gasoso	Caldeira a gás (Considerar o mesmo tipo de gás da rede de abastecimento de combustível gasoso)	0.89
	O edifício não dispõe de rede de abastecimento de combustível gasoso	Termoacumulador elétrico	0.95

- O somatório das parcelas das necessidades de energia útil para cada um dos diferentes usos deve ser igual a 1;
- Quando todos os espaços principais do edifício são servidos por um único sistema de climatização, considera-se que todo o edifício se encontra climatizado, ou seja, a parcela das necessidades do respetivo uso é igual a 1;
- Quando todos os espaços principais do edifício são servidos por múltiplos sistemas de climatização, considera-se que cada espaço de serviço se encontra climatizado pelo sistema do espaço principal que o condiciona indiretamente;
- Quando apenas alguns dos espaços principais são servidos por sistemas de climatização, a parcela das necessidades de energia útil para o respetivo uso é determinada na proporção da área interior útil de pavimento dos espaços que este serve, incluindo os espaços de serviço climatizados por ar transferido, face à área interior útil de pavimento do edifício;

- f) Quando um espaço é servido por vários sistemas técnicos para o mesmo uso, para efeitos da avaliação de DEE, deve ser considerado aquele que proporciona uma melhor classe energética do edifício;
- g) Sempre que δ_i ou δ_v apresentem um valor igual a 0, no cálculo de N_{tc} não deve ser considerada a parcela renovável de aquecimento ou arrefecimento, respetivamente;
- h) O valor de N_{tc} não deve ser inferior a 0.

De seguida será tratado o índice de necessidades nominais anuais de energia primária de referência (N_t) que, segundo o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho, corresponde ao “total de energia primária para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente e de preparação de AQS do edifício de referência, admitindo a inexistência de consumos de energia associados ao funcionamento de sistemas de ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis(...)”.

Apresenta-se, de seguida, a equação de cálculo do valor de N_t :

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_{a,ref}/A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (6)$$

Em que:

- N_t - Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- N_i - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];
- $f_{i,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j;
- N_v - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];
- $f_{v,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j;
- $Q_{a,REF}$ - Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência [kWh/ano];
- $f_{a,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j;
- $\eta_{REF,k}$ - Eficiência de referência do sistema ϕ , obtida através da Tabela 99 do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho;
- A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];
- $F_{pu,j}$ - Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j, excluindo renovável [kWh_{EP}/kWh].

De forma a auxiliar no cálculo dos parâmetros apresentados anteriormente, recomenda-se a utilização do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho.

2.5.1.2.5 Determinação do valor de Ren_{hab}

Finalmente, o valor de Ren_{hab} é determinado através de uma equação conforme, novamente, o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho. Neste mesmo Despacho, define-se Ren_{hab} “pela relação entre a energia primária total renovável para autoconsumo nos usos regulados do edifício e a energia primária total para o uso de AQS...”. Assim sendo, o valor de Ren_{hab} é determinado através da seguinte equação:

$$Ren_{hab} = \frac{\sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} * F_{pu,p}}{\sum_j (\sum_k \frac{f_{a,k} * Q_a}{\eta_k}) * F_{pu,j}} \quad (7)$$

Em que:

- Ren_{hab} – Indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação;
- $E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m²];
- $f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema para a fonte de energia;
- Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];
- η_k – Eficiência do sistema k para a fonte de energia j, que corresponde ao respetivo valor de EDEE, assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigerção e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida. Na ausência de isolamento térmico na rede de distribuição de água quente para aquecimento ambiente ou para preparação de AQS que assegure uma resistência térmica de, pelo menos, 0,25 (m².°C)/W, a eficiência dos respetivos sistemas técnicos deve ser multiplicada por 0,9;
- $F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia, incluindo renovável [kWh_{EP}/kWh];
- $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável [kWh_{EP}/kWh]. (Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho, Ambiente e Ação Climática, Direção de Energia e Geologia, Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), 2021).

O valor de F_{pu} depende do tipo de fonte de energia, e terá grande influência nas parcelas em que atua. Apresenta-se, no Quadro 9, os valores do fator de conversão de energia:

Quadro 9 - Fatores de conversão de energia final para energia primária

Tipo de energia	F_{pu} [kWh _{EP} /kWh]
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2,5
Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis	1,0
Energia térmica de origem renovável	1,0
Energia proveniente da rede urbana de frio e calor da Climaespaço, Parque das Nações, Lisboa	1,06
Energia proveniente de sistemas de cogeração no edifício de referência	1,86

2.5.2 ESPANHA

2.5.2.1 Regulamentação de exigências NZEB

No caso de Espanha, as conceções em vigor no que toca a edifícios NZEB são as seguintes:

- Espanha encontra-se dividida em 5 zonas climáticas de Inverno (A, B, C, D, E) e 4 zonas climáticas de verão (1, 2, 3, 4);
- Ao contrário de Portugal, Espanha apresenta todos os seus requisitos de desempenho energético e conforto térmico, assim como regras e orientações para o processo de avaliação do desempenho energético em edifícios, em apenas um documento. Trata-se do Documento Básico “HE *Ahorro de Energia*”, dividido em várias secções. No entanto, far-se-á apenas referência à secção HE0 e HE1, pois são nestas secções do Documento Básico que se abordam os índices em estudo. A secção HE0 apresenta principalmente limitações ao consumo energético não renovável ($C_{ep,nren}$), para o consumo de energia primária global ($C_{ep,tot}$) e valores referência para sistemas de arrefecimento e aquecimento. A secção HE1 apresenta condições de controlo de eficiência energética, através da limitação de parâmetros tal como a transmitância da envolvente térmica (U), o coeficiente global de transmissão de calor da envolvente térmica (K). Além da limitação destes parâmetros, esta secção também controla valores de permeabilidade do ar da envolvente térmica, controlo solar, coloca limitações de descompensações e condensações. (Cordeiro de Almeida, 2021).

Além do mencionado anteriormente, o método de certificação energética difere do método português. Enquanto a certificação energética em Portugal classifica os edifícios de A+ a F, dependendo do valor do rácio de classe energética em edifícios de habitação (R_{NT}), a certificação energética em Espanha classifica os edifícios de A a G, dependendo do valor de emissões anuais de dióxido de carbono (CO_2) por m^2 ($kg\ CO_2/m^2.ano$) e do consumo anual de energia primária não renovável por m^2 ($kWh/m^2.ano$).

Em Espanha, efetuam a classificação energética de forma diferente em edifícios habitacionais e em edifícios com outros usos afetos. De forma a perceber em que classificação se inserem as moradias, Espanha utiliza dois rácios de classificação energética, segundo as seguintes equações:

$$C_1 = \frac{(R * I_o/I_r) - 1}{2 * (R - 1)} + 0,6 \quad C_2 = \frac{(R' * I_o/I_s) - 1}{2 * (R - 1)} + 0,5 \quad (8) \ (9)$$

Em que:

- I_o – Valor do indicador analisado do edifício em questão;
- I_r – Valor médio do indicador do parque edificado de referência de edifícios novos de uso residencial privado;
- R – Rácio entre o valor de I_r e o valor do indicador correspondente ao percentil de 10% do parque edificado de referência de edifícios novos de uso residencial privado;
- I_s – Valor médio do indicador parque edificado de referência de edifícios existentes de uso residencial privado;
- R' – Rácio entre o valor de I_s e o valor do indicador correspondente ao percentil de 10% do parque edificado de referência de edifícios existentes de uso residencial privado.

Os valores de I_s , R' , I_r e R correspondentes a cada zona climática encontra-se no Anexo III no documento “Calificación de la eficiencia energética de los edificios” do Governo de Espanha. Além disso, os índices I_o e I_r referem-se aos dois indicadores anteriormente mencionados, o valor de emissões anuais de dióxido de carbono (CO_2) por m^2 ($kg\ CO_2/m^2.ano$) e do consumo anual de energia primária não renovável por m^2 ($kWh/m^2.ano$).

Inicialmente procede-se ao cálculo do índice C1. Se o valor obtido nesse índice for inferior a 1,75, então termina-se o cálculo e atribui-se a classificação energética. Caso contrário, Procede-se ao cálculo do índice C2.

Assim sendo, e como mencionado anteriormente, apresenta-se de seguida, no Quadro 10, os intervalos de valores dos rácios de classificação energética para edifícios de habitação privada, seguido de exemplos de etiquetas energéticas na fase de projeto e após a construção (Figura 6), similares conceptualmente ao pré-certificado e certificado energético em Portugal.

Quadro 10 - Classificação energética em Espanha

Classificação	Índices
A	$C1 < 0,15$
B	$0,15 \leq C1 < 0,50$
C	$0,50 \leq C1 < 1,00$
D	$1,00 \leq C1 < 1,75$
E	$1,75 \leq C1$
	$C2 < 1,00$
F	$1,75 \leq C1$
	$1,00 \leq C2 < 1,50$
G	$1,75 \leq C1$
	$1,50 \leq C2$

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL PROYECTO ETIQUETA

DATOS DEL EDIFICIO
 Normativa vigente: construcción / rehabilitación
 Tipo de edificio:
 Dirección:
 Municipio:
 Referencia catastral:
 C.P.:
 C. Autónoma:

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía kWh / m² año	Emissiones kg CO ₂ / m² año
A más eficiente		
B		
C		
D		
E		
F		
G menos eficiente		

REGISTRO:

Válido hasta:

ESPAÑA
Directiva 2010 / 31 / UE

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO TERMINADO ETIQUETA

DATOS DEL EDIFICIO
 Normativa vigente: construcción / rehabilitación
 Tipo de edificio:
 Dirección:
 Municipio:
 Referencia catastral:
 C.P.:
 C. Autónoma:

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía kWh / m² año	Emissiones kg CO ₂ / m² año
A más eficiente		
B		
C		
D		
E		
F		
G menos eficiente		

REGISTRO:

Válido hasta:

ESPAÑA
Directiva 2010 / 31 / UE

Figura 6 -Etiqueta de classificação energética em Espanha durante o projeto e após o edifício terminado

Ainda assim, Espanha impõe limites para os consumos de energia primária não renovável e de energia primária total em edifícios residenciais privados.

Apresentam-se, de seguida, alguns valores limites relativos a índices importantes para o cálculo térmico de Espanha.

2.5.2.1.1 Limitações do valor de $C_{ep,nren}$

Segundo o Real Decreto n.º 732/2019 de 20 de dezembro na secção HE0, o consumo de energia primária não renovável em edifícios para uso residencial dos espaços contidos no interior da envolvente térmica do edifício não poderá ultrapassar o limite imposto, plasmado no Quadro 11:

Quadro 11 - Valor limite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m²·ano] para uso residencial privado

	Zona climática de inverno				
	A	B	C	D	E
Edifícios novos e ampliações	25	28	32	38	43
Mudanças de uso para residencial privado e reformas	50	55	65	70	80

NOTA: Em território extrapeninsular (Canárias, Ceuta, Melilla, Ilhas Baleares), os valores tabelados são multiplicados por 1,25.

2.5.2.1.2 Limitações do valor de $C_{ep,tot}$

Segundo o Decreto Real acima mencionado, o consumo de energia primária total em edifícios para uso residencial dos espaços contidos no interior da envolvente térmica do edifício não poderá ultrapassar o limite imposto, plasmado no Quadro 12:

Quadro 12 - Valor limite $C_{ep,tot}$ [kWh/m²·ano] para uso residencial privado

	Zona climática de inverno				
	A	B	C	D	E
Edifícios novos e ampliações	50	56	64	76	86
Mudanças de uso para residencial privado e reformas	75	80	90	105	115

NOTA: Em território extrapeninsular (Canárias, Ceuta, Melilla, Ilhas Baleares), os valores tabelados são multiplicados por 1,15.

Além destes valores limites, o Real Decreto n.º 732/2019 de 20 de dezembro impõe obrigações para a utilização de energias renováveis, em que a contribuição mínima de energia proveniente de fontes de energia renovável terá que cobrir 70% das necessidades energéticas anuais para preparação de Águas Quentes e Sanitárias (AQS), considerando apenas as energias renováveis com origem *in situ* o nas proximidades do edifício.

2.5.3 CONCLUSÕES DA COMPARAÇÃO DE LEGISLAÇÃO ENTRE PORTUGAL E ESPANHA

É importante notar que, embora as medidas para edifícios NZEB se mostrem bastante semelhantes entre os dois países, Portugal aparenta possuir exigências NZEB diferentes de Espanha. Por um lado, e como afirmado anteriormente, o método de certificação energética difere de Portugal para Espanha. No entanto, parece que Portugal possui um método de certificação energética mais completo analiticamente, já que o rácio de classe energética em edifícios de habitação tem em conta emissões de dióxido de carbono e o consumo anual de energia primária não renovável por m², além de outros indicadores termicamente relevantes.

Por outro lado, é possível verificar que o valor de Ren_{hab} em Portugal refere-se ao cumprimento de no mínimo 50% de energias renováveis para preparação e AQS, enquanto que em Espanha, o valor de $C_{ep,nren}/C_{ep,tot}$ refere-se à totalidade de energia do edifício, não só de preparação de AQS.

2.6 MODELO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES EM PORTUGAL - NZEB

Neste subcapítulo, será explicado um dos programas que será utilizado para a determinação de cumprimento ou incumprimento das diretivas NZEB. Os programas de cálculo a utilizar serão os seguintes:

- Ferramenta de Cálculo Excel para aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (ITECONS);
- SCE.ER - Dados e cálculos para aproveitamento de Energias Renováveis em edifícios.

A ferramenta que será descrita neste subcapítulo será o programa SCE.ER. Apenas será descrita esta ferramenta com maior pormenor devido ao facto de a folha de cálculo da ITECONS depender maioritariamente de características do edifício em estudo (características das paredes, isolamentos, áreas de compartimentos, entre outros) e de valores provenientes da utilização da folha de cálculo SCE.ER. Assim sendo, a ferramenta de cálculo SCE.ER será utilizada de forma iterativa, de forma a poder cobrir uma vasta variedade de combinações de sistemas técnicos a avaliar no último capítulo desta dissertação.

2.6.1 INTRODUÇÃO AO PROGRAMA SCE.ER

O software SCE.ER auxilia o cálculo dos requisitos mínimos energéticos de um edifício e o seu dimensionamento, através dos modelos de cálculo obrigatórios baseados na metodologia definida nas disposições regulamentares em vigor. Este programa tem vindo a ser atualizado ao longo dos anos, sendo a última versão v1.7.0 (versão atualizada em 10/01/2020).

Esta ferramenta de cálculo considera como fonte de energia renovável para um edifício toda a energia produzida por sistemas de energia renovável como sistemas solares térmicos (AQS e/ou climatização), biomassa (combustão), bombas de calor, e painéis fotovoltaicos.

Inicialmente é necessário introduzir a zona onde se localiza o edifício a estudar, de forma que o programa tenha em conta vários aspetos do local, tal como a sua zona climática. Além disso, é necessário especificar o número e tipo de tipologia existente no edifício de forma a simular os consumos referência dos utilizadores. Com a inserção desta informação, o programa calcula uma estimativa para o consumo de águas quentes e sanitárias, consumo necessário para o cálculo térmico da moradia através do software do ITECONS. Apresenta-se na Figura 7 a interface de colocação de dados do software SCE.ER.

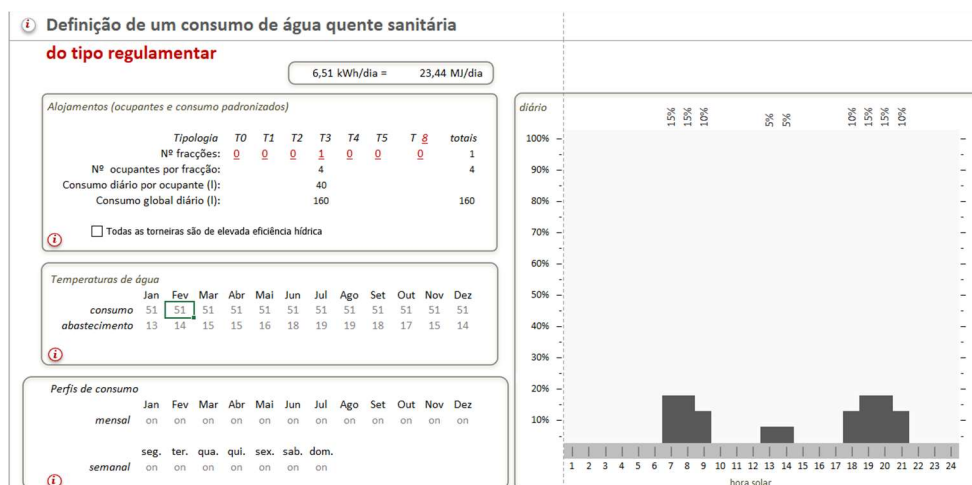


Figura 7 - Consumo de água quente e sanitária (AQS)

De forma a proceder à instalação de um equipamento, é necessário primeiro decidir e seleccionar qual das opções disponíveis se vai utilizar. Cada opção de equipamento possui parâmetros característicos a esse mesmo equipamento (que o utilizador terá de preencher manualmente, de acordo com a informação fornecida em fichas técnicas do equipamento que está a avaliar), e, de forma a testar a solução introduzida, pode ser usada a funcionalidade de “simular”. Após seleccionar esta opção, o programa apresenta os resultados obtidos com os dados introduzidos, para o edifício em estudo. A partir daí, se satisfeitos com o resultado, o software disponibiliza, por baixo da janela da simulação, opções para gerar e guardar um relatório completo com todos os parâmetros e resultados do estudo efetuado.

Apresentam-se de seguida imagens a demonstrar a interface inicial de cada um dos casos mencionados, seguido de imagens a demonstrar alguns dos parâmetros a introduzir pelo utilizador.

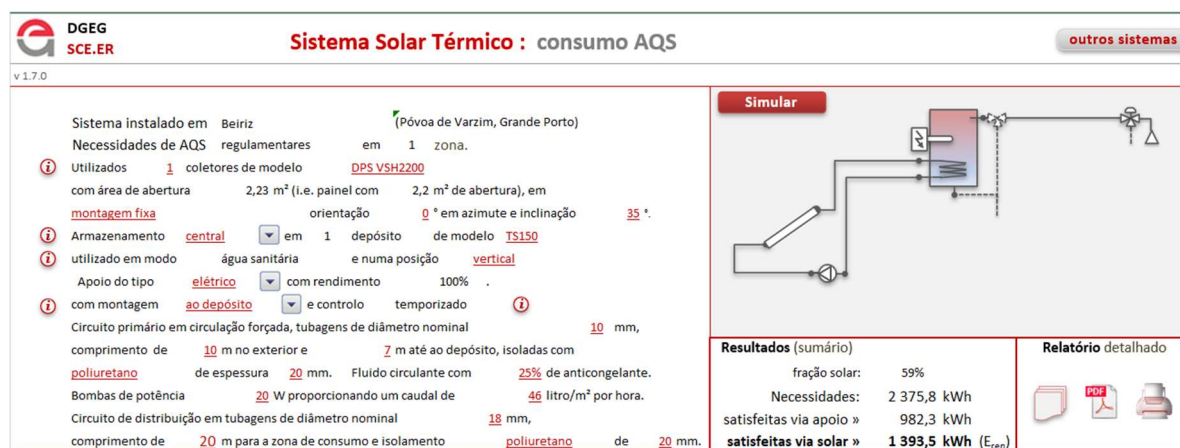


Figura 8 - Interface de seleção dos componentes para o sistema solar térmico

Definição de novo modelo de colector solar térmico

Marca e modelo:

Área de abertura: m²

Rendimento ótico: %

Modificadores de ângulo de incidência:

Transversal	Longitudinal
0°	1.00
5°	1.00
10°	0.99
15°	0.99
20°	0.98
25°	0.98
30°	0.97
35°	0.96
40°	0.94
45°	0.93
50°	0.91
55°	0.89
60°	0.86
65°	0.81
70°	0.76
75°	0.63
80°	0.50
85°	0.05
90°	0.00

fração difusa média durante o ensaio: % (25% por defeito)

Coef.perdas térmicas a_1 : W/m²K
Coef.perdas térmicas a_2 : W/m²K²

Entidade certificadora:
Certificado:
Emitido em:
Expira em:

Definição de necessidades de consumo de energia para aquecimento ambiente

Dados básicos do edifício

Área de pavimento: m²
Zonas climatizadas: m²
Coeficiente de perdas global: W/°C
Ganhos térmicos internos: W/m² de pavimento

Necessidades de aquecimento anual: kWh

Operação do sistema de aquecimento ambiente

Temperatura interior desejada: °C

Temperaturas no circuito:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez
nos radiadores:	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
no retorno:	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Perfil de utilização diário:

hora:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
estado:	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off

Definição de novo modelo de depósito de água quente

Modelo:

Volume útil: litros

Altura exterior: mm

Diâmetro exterior: mm

Paredes:

Perdas térmicas: W/°C ≈ 2,5 kWh/dia ≈ 105 W/dia

Temperatura máxima: °C

Figura 9 - Características técnicas dos equipamentos integrantes de um sistema de coletores solares térmicos

DGEG SCE.ER **Sistema Solar Fotovoltaico** **outros sistemas**

v 1.7.0

Sistema instalado em Beiriz (Póvoa de Varzim, Grande Porto)

Utilizados 2 módulos fotovoltaicos ESPMC160 (160 W)

em 1 string de potência nominal 0,3 kW (3 m²), montagem fixa

orientação 0° em azimute e 35° em inclinação.

Bloco inversor/controlador típico A+ (97%) com eficiência 97.0%

Perdas de eficiência PV por variação espectral de 0.5%

Perdas por problemas de limpeza dos painéis de 0.5%

Perdas em interconexões 1.0% e outras perdas resistivas gerais 0.7%

Auto-consumos de 3 kWh em ventiladores e 0 kWh em seguimento do sol

Tempo diurno gasto em resolução de avarias e manutenção de 6 horas por ano

Perdas adicionais na ligação à rede de 0.5%

Sistema explorado em modo de autoconsumo Capacidade de baterias 0.0 kWh

(1) definição Europeia (2) da produção em DC (3) da produção em AC

Diagrama de ligação:

Desempenho (resumo)

performance ratio: 72%

Necessidades (AC): 1 580 kWh

Produção (AC): 409 kWh

para injeção na RESP » 60 kWh

autoconsumo (AC) » 348 kWh (E_{ren})

Relatório detalhado

Ícones de relatório: PDF, Excel, Word

Figura 10 - Interface de seleção dos componentes para o sistema solar fotovoltaico

Definição de novo modelo de módulo solar fotovoltaico

Marca e modelo		
Dimensões	Comprimento: <u>1,482</u> m	Largura: <u>0,676</u> m
Tecnologia	Material: <u>Si</u>	Estrutura: <u>policristalino</u>
Parâmetros técnicos	Nº de células: <u>36</u> Voc: <u>23,2</u> V δVoc: <u>-0,30%</u> /K -68 mV/K Isc: <u>9,05</u> A δIsc: <u>0,086%</u> /K 7,74 mA/K Vmpp: <u>18,9</u> V δPmax: <u>-0,38%</u> /K -0,61 W/K Imp: <u>8,50</u> A NOCT: <u>45,0</u> °C degradação máxima: <u>0,5%</u> /ano	

Figura 11 - Características técnicas dos equipamentos integrantes de um sistema de painéis fotovoltaicos

Sistema de queima de biomassa

v 1.7.0
outros sistemas

Instalado em **Beiriz**
(Póvoa de Varzim, Grande Porto)
localização da caldeira: INTERIOR
tipo: recuperador de calor
eficiência de queima: 88%
necessidade primária: regulamentar (REH)
contribuição para AQS: 10%
necessidade secundária: climatização
contribuição para climatização: 90%

Calcular

Desempenho	Necessidades:	7 194 kWh
	para AQS »	1 188 kWh
	(5,2 meses) para climatização »	6 006 kWh
	Necessidades atendidas:	5 457 kWh (E_{ren})
	Energia primária de origem renovável:	6 222 kWh

Figura 12 - Interface de seleção dos componentes para o sistema de queima de biomassa

Definição de necessidades de consumo de energia *anuais* para aquecimento ambiente

Área de pavimento: 143 m²
Zonas climatizadas: 143 m²
Necessidades de aquecimento: 42 kWh/m² por ano
6,0 MWh/m² por ano

Figura 13 - Características técnicas dos equipamentos integrantes de um sistema de queima de biomassa

 Bombas de Calor 		outros sistemas
v 1.7.0		
Sistema em Beiriz		(Póvoa de Varzim, Grande Porto)
Atendimento a: climatização	Necessidades: 6 006 kWh	
Metodologia: valores predefinidos 	(sistema já existente, valores tabelados para condições para clima quente)	
tipo de bomba: Elétrica		
permuta: Ar-Água		
subtipo: Aerotérmica		
SPF: 3,9		
P: 1800 W		
H _{hp} : 1170 horas		
(máximo) Q _{usable} : 2 106 kWh		
Aproveitamento de energia renovável		
por bomba: 1 567 kWh		
número de bombas: 1		
E_{ren}: 1 567 kWh		

Figura 14 - Interface de seleção dos componentes para a bomba de calor

2.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Ao longo deste capítulo foram analisadas as exigências energéticas regulamentares, atualizadas, para os edifícios construídos em Portugal, juntamente com uma análise das exigências de desempenho e eficiência energética em Espanha. Após a análise dos dados investigados, verifica-se que tanto Espanha como Portugal possuem exigências bem definidas, de forma a cumprir as metas definidas pela União Europeia, mesmo que sejam diferentes entre si.

É importante referir que, para proceder ao cálculo dos parâmetros estudados neste capítulo e de forma a efetuar um estudo mais aprofundado do edifício, existem softwares reconhecidos pela ADENE, facilitadores de todo o trabalho de cálculo. Nesta dissertação, foi utilizado uma folha de cálculo Excel fornecida pelo ITECONS (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade), programa de cálculo no qual o utilizador poderá, pormenorizadamente, descrever o seu edifício e obter todos os parâmetros necessários. Este software possui a vantagem de se poder fazer variar aspetos do edifício, tal como a envolvente ou o tipo/número de equipamentos de energia renovável a utilizar, de forma a estudar a melhor solução como resposta às necessidades energéticas do edifício.

Apresenta-se na Figura 15 um exemplo que reflete o resultado final fornecido pela folha de cálculo do ITECONS para o desempenho do edifício em estudo, após a inserção de toda a informação detalhada.



Sigla	Descrição	Valor	Referência	Renovável Requisito (Req _{req} (%))
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	41,13	58,04	89,23
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	6,15	9,13	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	Nic/Nc
Wm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		0,40
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2357	0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2357	0	
Eren.ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,00		
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	46,53	116,71	

Classe Energética
A

Figura 15 - Exemplo do resultado final de cálculo do balanço energético na folha de cálculo do ITECONS

3

FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

3.1 DEFINIÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Este capítulo tem como objetivo introduzir o tópico de sistemas de energia renovável, explicitando aquelas que atualmente existem e aquelas que se aplicam, neste momento, em edifícios de habitação.

Começar-se-á por abordar o conceito de fontes de energia renovável, seguindo-se uma análise do balanço de energia proveniente de fontes renováveis relativamente ao total produzido em Portugal.

No final do presente capítulo, será efetuada uma descrição mais pormenorizada dos diversos sistemas de energia renovável utilizados em edifícios de habitação. Esta descrição passará por uma caracterização geral do sistema em causa, seguida de uma análise física, onde se irão avaliar os parâmetros a ter em consideração na escolha da gama de cada sistema. Finalmente, far-se-á uma análise económica, avaliando a sua viabilidade.

O conceito de fontes de energia renovável é definido pela Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) como “fontes renováveis de energia são recursos naturais, capazes de se regenerarem num curto espaço de tempo e de um modo sustentável. (...). Estas fontes evitam que se importem combustíveis fósseis, como o carvão e o gás natural para gerar eletricidade, evitam a emissão de gases com efeito de estufa e reduzem o preço da energia elétrica no mercado de eletricidade, contribuindo para uma maior sustentabilidade económica e ambiental do país.” (APREN, Energias Renováveis, 2023).

Atualmente, as fontes de energia renovável, em utilização, são as seguintes, conforme informação da APREN que a seguir se cita:

- **Biomassa**
 - “A biomassa é a matéria orgânica de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada no estado sólido, líquido ou gasoso. São exemplos de biomassa os subprodutos da floresta, agricultura, pecuária, da indústria da madeira e do papel e a parte biodegradável dos resíduos sólidos urbanos. A biomassa, quando queimada, é uma fonte de energia que pode ser usada em centrais térmicas para produzir eletricidade, tendo igualmente um importante papel na produção de calor. Usar os resíduos da floresta com este fim, diminui o risco de incêndio, se a limpeza das florestas for conjugada com o ordenamento florestal”.

- **Solar**

- “A produção de eletricidade usando o sol é possível através de painéis solares fotovoltaicos ou de painéis solares térmicos. No primeiro caso, as células fotovoltaicas ao receberem os raios solares transformam-nos em eletricidade. No segundo caso, usam-se espelhos que concentram a luz solar para aquecer um fluido, gerando vapor que faz rodar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo do gerador que produz eletricidade. O Sol também pode ser usado para aquecer as águas domésticas, ou de processos industriais evitando o uso de eletricidade ou de gás.” (APREN, Energias Renováveis, 2023).

De referir que também se consideram as bombas de calor como fonte de energia renovável, do ponto de vista regulatório, devido ao facto de serem sistemas bastante eficientes. Assim sendo, dar-se-á maior ênfase às energias renováveis solares, de biomassa e bomba de calor.

Segundo a EPDB (*Energy Performance of Buildings Standards*), a energia necessária para o correto funcionamento do edifício “deve ser coberta na sua quase totalidade por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia de fontes renováveis produzidas no local ou nas proximidades”, salientando a necessidade dos certificados energéticos emitidos, associados a cada edifício, incluírem o valor percentual de consumo de energia proveniente de fontes renováveis.

A APREN apresenta-se como um órgão fulcral na implementação de energia renovável em Portugal, graças à sua participação na elaboração de políticas energéticas em Portugal.

De um estudo efetuado pela APREN acerca do balanço de produção de energia em Portugal entre 1 de janeiro e 30 de abril de 2023, pode-se inferir que se gerou cerca 15826 GWh de eletricidade em Portugal Continental, dos quais 74,3% tiveram origem renovável. (APREN, Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental em 2023, 2023).

3.2 SISTEMAS SOLAR TÉRMICO

O princípio de funcionamento do sistema solar térmico é bastante simples: a radiação solar que incide sobre a cobertura de vidro, que compõe a parte superior do painel solar, transfere-se sob a forma de calor para o fluido circulante no interior dos tubos que constituem o painel. Esse fluido, após o seu aquecimento, circula em circuito fechado e transfere o calor através da serpentina do depósito para a água aí acumulada, aquecendo-a. A circulação do fluido é gerida e controlada pelo regulador solar e pelo grupo de circulação, em função das temperaturas registadas na medição.

Apresenta-se, na Figura 16, um diagrama que traduz um funcionamento-tipo de sistemas solar térmico.

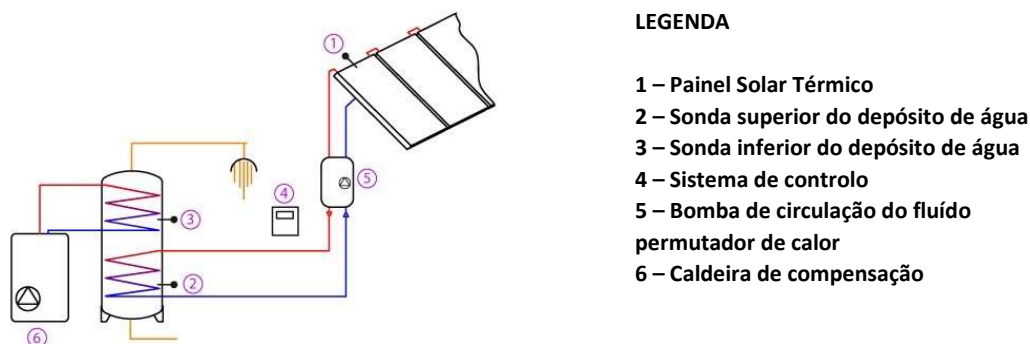


Figura 16 - Diagrama de funcionamento de um sistema coletor solar térmico (consultada em <https://www.portal-energia.com/funciona-instalacao-solar-termica/>)

Em Portugal, algumas das marcas mais utilizadas para sistemas solares térmicos são as seguintes:

- Vulcano;
- Roca;
- Junkers;
- Ariston;
- Fagor;
- DELPASSO.

Assim como para quaisquer sistemas de energia renovável, existem vantagens e desvantagens para a utilização de sistemas coletores solares térmicos:

Vantagens:

1. **Economia de energia e redução de custos:** Os sistemas solares térmicos podem reduzir significativamente os custos de energia, uma vez que utilizam a energia gratuita do sol para aquecer água ou ar. Isso pode resultar em diminuições significativas nas contas de energia;
2. **Baixa necessidade de manutenção:** Em geral, os sistemas solares térmicos são de baixa manutenção e têm uma vida útil longa. Eles exigem pouca manutenção e as partes que precisam de reparação são facilmente acessíveis;
3. **Baixas emissões de carbono:** Os sistemas solares térmicos não emitem carbono ou outros poluentes, reduzindo a pegada de carbono do sistema de aquecimento e ajudando a proteger o meio ambiente;
4. **Flexibilidade de instalação:** Os sistemas solares térmicos podem ser instalados em diferentes tipos de edifícios e ambientes, como residências, edifícios comerciais, instituições, indústrias, entre outros;
5. **Valorização imobiliária:** A instalação de sistemas solares térmicos pode aumentar o valor de um imóvel, tornando-o mais atraente para os compradores.

Desvantagens:

1. **Investimento inicial elevado:** A instalação de um sistema solar térmico pode ser relativamente oneroso, devido aos custos dos equipamentos e da instalação;
2. **Dependência da luz solar:** Os sistemas solares térmicos são menos eficazes em condições de pouca luz solar ou durante períodos nublados. Isso pode resultar em uma redução na quantidade de energia gerada;
3. **Ocupação de espaço:** Os sistemas solares térmicos podem ocupar um espaço considerável, dependendo do tamanho do sistema necessário para fornecer a quantidade de água quente ou ar aquecido necessária;
4. **Complexidade do sistema:** Os sistemas solares térmicos são relativamente complexos e exigem conhecimentos técnicos para instalação, manutenção e reparação;
5. **Falta de eficácia em locais de baixa irradiação solar:** Em áreas com pouca incidência de radiação solar, os sistemas solares térmicos podem não ser tão eficazes, o que pode resultar em uma menor economia de energia e menor redução de custos.

3.3 SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO

O sistema solar fotovoltaico constitui uma tecnologia de aproveitamento de radiação solar para produção de energia elétrica de forma descentralizada. A produção de energia surge da conversão da energia solar incidente em materiais semicondutores através do efeito fotoelétrico nas células fotovoltaicas. Existem diferentes tipos de células fotovoltaicas, dependendo da natureza e características dos materiais utilizados. Normalmente utilizam-se células monocristalinas ou policristalinas.

A eletricidade produzida pelos painéis solares gera uma corrente contínua (DC) que não é compatível com os aparelhos eletrônicos utilizados em edifícios de habitação. Assim sendo, esta corrente contínua necessita de ser convertida para corrente alternada (AC), através de um inversor. Deste modo, a eletricidade pode ser utilizada pelos aparelhos domésticos, possivelmente armazenada em baterias para utilização posterior (o sistema pode incluir ou não baterias) ou, em alguns casos, ser vendida à rede elétrica. A configuração do próprio sistema fotovoltaico determina o nível de tensão e a potência dos inversores.

Uma vez que cada célula produz uma corrente contínua de intensidade relativamente fraca, procede-se à sua associação de forma a obter, após encapsulamento, um conjunto de células designado por módulo fotovoltaico. O agrupamento de módulos, colocados numa mesma estrutura de suporte, forma um painel.

Apresenta-se, na Figura 17, um diagrama que traduz um funcionamento-tipo de sistemas solar fotovoltaico:

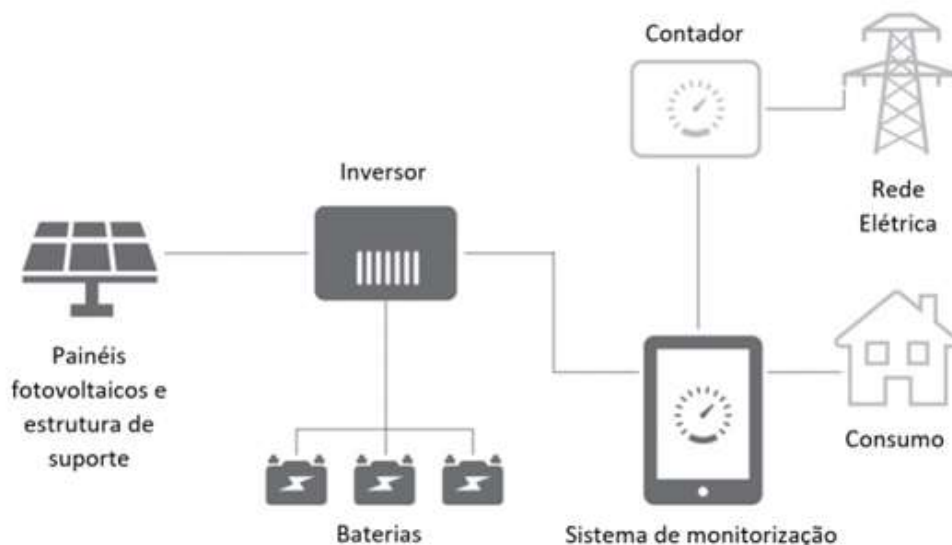


Figura 17 - Diagrama de funcionamento de um sistema solar fotovoltaico (adaptada de www.energiasmadeira.pt/como-funciona/)

Em Portugal, algumas das marcas mais utilizadas para sistemas de painéis fotovoltaicos são as seguintes:

- SunPower;
- Canadian Solar;
- JA Solar;
- LG Solar;
- ERA.

Assim como para quaisquer sistemas de energias renováveis, existem vantagens e desvantagens para a utilização de sistemas solares fotovoltaicos:

Vantagens:

1. **Energia limpa e renovável:** Os sistemas solares fotovoltaicos não emitem poluentes ou gases de efeito estufa durante a geração de eletricidade, contribuindo para a redução das emissões de carbono e ajudando a combater a mudança climática;
2. **Economia de energia e redução de custos:** Os sistemas solares fotovoltaicos podem reduzir significativamente os custos de energia elétrica a longo prazo, uma vez que utilizam a energia gratuita do sol para gerar eletricidade. Isso pode resultar em poupanças significativas nas contas de energia elétrica;
3. **Valorização imobiliária:** A instalação de um sistema solar fotovoltaico pode aumentar o valor de uma propriedade, tornando-a mais atraente para os compradores, especialmente em regiões onde a energia solar é valorizada;
4. **Fonte de energia confiável:** O sol é uma fonte de energia abundante e confiável na maioria das regiões do mundo, o que significa que os sistemas solares fotovoltaicos podem fornecer eletricidade de forma consistente, mesmo em áreas com acesso limitado à rede elétrica;

5. **Longa vida útil e baixa manutenção:** Os sistemas solares fotovoltaicos têm uma vida útil longa, geralmente com garantias de 25 anos ou mais, e requerem pouca manutenção além de limpeza regular dos painéis solares.

Desvantagens:

1. **Investimento inicial elevado:** A instalação de um sistema solar fotovoltaico pode ter um custo inicial significativo, incluindo os painéis solares, inversores e custos de instalação. No entanto, os custos têm diminuído ao longo dos anos e os incentivos governamentais e financeiros podem ajudar a reduzir o investimento inicial;
2. **Dependência da luz solar:** Os sistemas solares fotovoltaicos dependem da disponibilidade de luz solar para gerar eletricidade. Em dias nublados, a produção de energia pode ser reduzida, embora os avanços na tecnologia de armazenamento de energia possam ajudar a mitigar esse problema;
3. **Espaço necessário:** Os sistemas solares fotovoltaicos geralmente requerem uma área significativa de espaço para a instalação dos painéis solares, o que pode ser um desafio em propriedades com espaço limitado ou restrições de zoneamento;
4. **Complexidade do sistema:** Os sistemas solares fotovoltaicos são relativamente complexos e requerem conhecimentos técnicos para o projeto, instalação, manutenção e monitoramento adequados;
5. **Integração com a rede elétrica:** A integração de sistemas solares fotovoltaicos à rede elétrica pode envolver regulamentações e requisitos específicos, como a necessidade de um medidor bidirecional e acordos de interconexão com a concessionária de energia local.

3.4 SISTEMAS DE BIOMASSA

Tal como foi referido anteriormente, a biomassa é uma matéria orgânica que pode ser usada como fonte de energia para o aquecimento, sendo a madeira (lenha) a forma mais difundida e as caldeiras de biomassa a forma mais eficiente para utilizar a madeira para fins de aquecimento. Todos os anos, 40% da madeira produzida de forma sustentável na Europa é utilizada para o aquecimento de edifícios residenciais e de serviços.

A biomassa pode ser utilizada para águas quentes e sanitárias e/ou para climatização. No entanto, em Portugal, é normalmente usada para o aquecimento central de edifícios.

Os *pellets* são um combustível orgânico sólido de biomassa, de preço bastante reduzido e armazenamento fácil. A combustão dos *pellets* ou outras formas de biomassa para produção de energia na forma de calor é efetuado em caldeiras, salamandras e/ou recuperadores de calor localizados no interior dos edifícios. Estes sistemas contribuem para o aquecimento de águas sanitárias e/ou ambientes interiores, mas nunca para arrefecimento, devido à natureza do processo e dos equipamentos. Esta tecnologia pode atingir eficiências ao nível da energia primária de 75 a 105%, utilizando, como mencionado anteriormente, *pellets* ou outros derivados de madeira.

De seguida, apresenta-se um esquema de funcionamento de um sistema a biomassa na Figura 18.

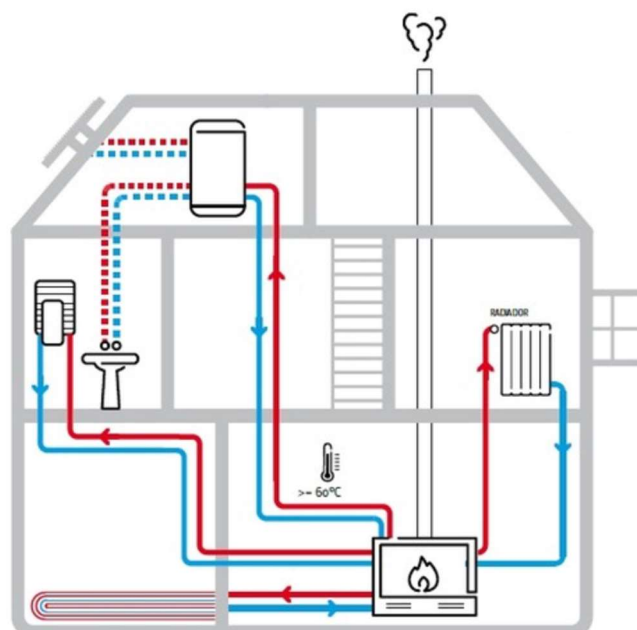


Figura 18 - Diagrama de funcionamento de um sistema a biomassa

Em Portugal, algumas das marcas mais utilizadas para sistemas a biomassa são as seguintes:

- KWB;
- Extraflame;
- Edilkamin;
- PROTEU.

Assim como para quaisquer sistemas de energias renováveis, existem vantagens e desvantagens para a utilização de sistemas a biomassa:

Vantagens:

1. Utilização eficiente de recursos renováveis;
2. Possível combinação com o solar térmico;
3. Combustível neutro em carbono;
4. Utilização recursos florestais locais;
5. Fácil adaptação a diversas necessidades de aquecimento.

Desvantagens

1. Necessidade de espaço para a instalação e para armazenar o combustível (lenha/*pellet*/briquetes);
2. Necessidade de alguma manutenção regular, mesmo as mais modernas que incluem sistemas de autolimpeza;
3. Emissão de partículas que podem causar poluição atmosférica, mas que podem ser minimizadas com a utilização de sistemas de filtragem.

3.5 SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR

Uma bomba de calor é um equipamento utilizado para permutar energia térmica de um ambiente a baixa temperatura e ceder a energia, em forma de calor, para outro ambiente a uma temperatura mais elevada, e vice-versa. Estes equipamentos utilizam a eletricidade apenas para transportar a energia.

As bombas de calor são normalmente compostas por um circuito frigorífico com um compressor, um evaporador, um condensador e uma válvula de expansão. Os quatro elementos formam um circuito frigorífico onde circula um gás que, nas operações de compressão e expansão (mudanças de fase), absorve e liberta energia. A direção de funcionamento do ciclo determina de onde a energia é retirada e para onde é libertada.

As bombas de calor podem ser classificadas mediante a origem da energia e as relações entre a fonte de calor e fluido de permuta de calor.

No que toca à energia proveniente e ao fluido de permuta de calor, podem ser:

- Solo (geotermia);
- Água;
- Ar.

No entanto, para efeitos desta dissertação, serão apenas utilizadas bombas de calor ar-água (fonte de calor – fluido de permuta).

Apresenta-se, na Figura 19, um diagrama que traduz um funcionamento tipo de sistemas de bombas de calor:

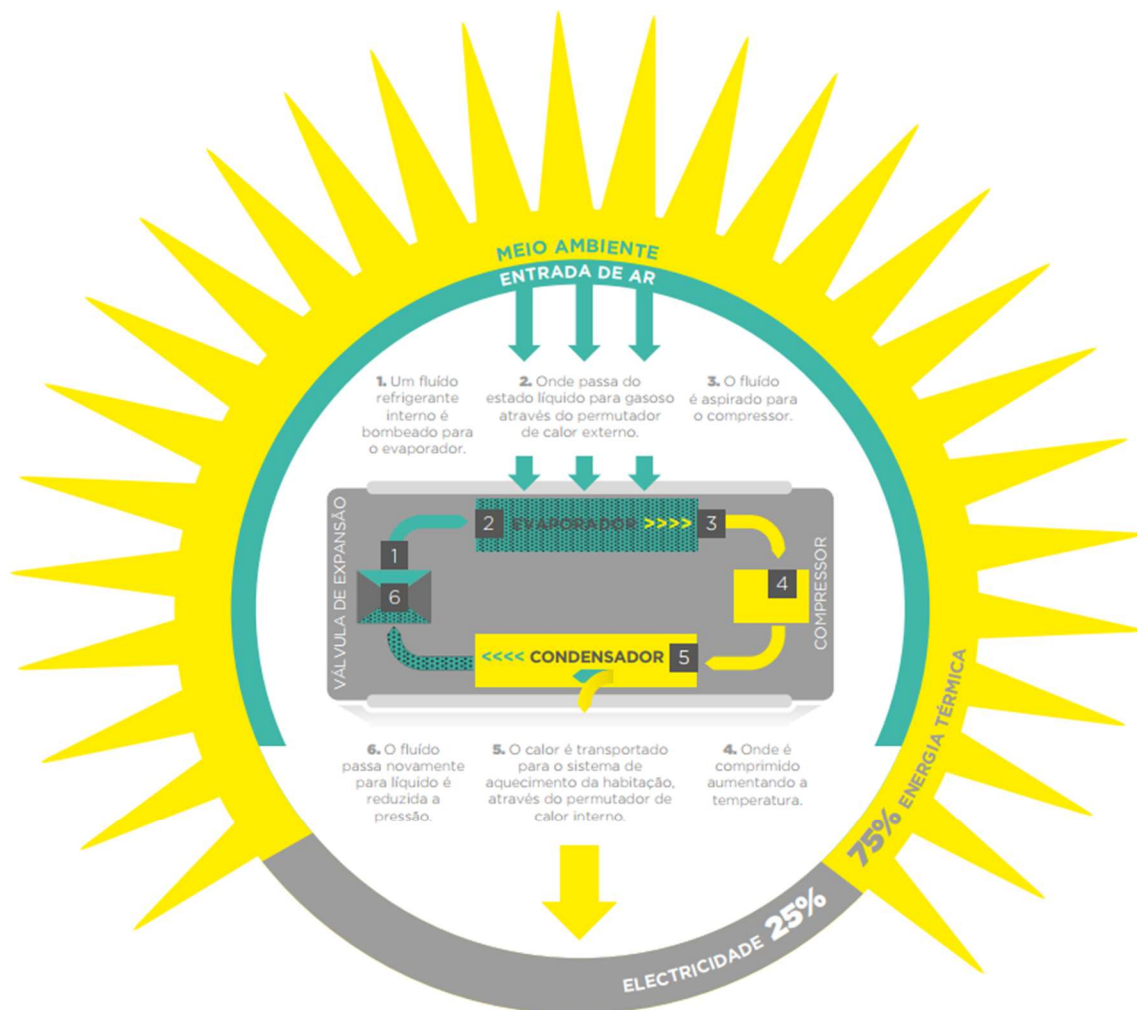


Figura 19 - Diagrama de funcionamento de um sistema a bomba de calor

Em Portugal, algumas das marcas mais utilizadas para sistemas de bombas de calor são as seguintes:

- Daikin;
- Panasonic;
- ENERGIE;
- Vaillant;
- PROTEU.

Assim como para quaisquer sistemas de energias renováveis, existem vantagens e desvantagens para a utilização de sistemas de bombas de calor.

Vantagens:

1. **Eficiência energética:** As bombas de calor são altamente eficientes, pois transferem calor de uma fonte de baixa temperatura para uma fonte de alta temperatura. Isso resulta numa redução significativa no consumo de energia elétrica, em comparação com os sistemas convencionais de aquecimento e arrefecimento;
2. **Versatilidade:** As bombas de calor podem ser utilizadas tanto para aquecer como para arrefecer um ambiente, tornando-se uma opção de aquecimento e arrefecimento bastante versátil;
3. **Baixa manutenção:** As bombas de calor possuem poucas peças móveis, o que resulta em uma necessidade reduzida de manutenção em comparação com outros sistemas de aquecimento e arrefecimento;
4. **Durabilidade:** As bombas de calor são construídas com materiais duradouros, o que resulta em uma vida útil mais longa;
5. **Redução de carbono:** As bombas de calor são uma opção mais limpa e sustentável em termos de emissões de carbono.

Desvantagens:

1. **Custo inicial:** O custo inicial de instalação de uma bomba de calor pode ser mais elevado em comparação com outros sistemas de aquecimento e arrefecimento;
2. **Dependência de temperatura externa:** A eficiência das bombas de calor depende da temperatura externa. Em temperaturas muito baixas, a eficiência pode ser reduzida e pode ser necessário utilizar um sistema secundário de aquecimento;
3. **Ruído:** Algumas bombas de calor podem ser mais ruidosas;
4. **Espaço necessário:** A instalação de uma bomba de calor pode exigir um espaço adequado de forma a acomodar a unidade externa e as tubagens necessárias para a transferência de calor;
5. **Dependência de eletricidade:** As bombas de calor são alimentadas por eletricidade, o que pode resultar em custos adicionais de energia elétrica. Além disso, em caso de falha de energia elétrica, a bomba de calor não pode ser utilizada.

3.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi efetuada uma análise geral às fontes de energia renováveis utilizadas em edifícios de habitação. Para além das fontes de energia renováveis mencionadas neste capítulo, existem ainda as fontes de energia hídrica, eólica e geotermia. No entanto, não é frequente a aplicação destas fontes de energia em edifícios de habitação.

Este capítulo foi elaborado de forma a sistematizar de forma mais simplificada possível o funcionamento de cada um dos equipamentos de produção de energia renovável utilizados em edifícios de habitação, servindo também como ponte para o próximo capítulo, onde serão explorados vários cenários de combinações de sistemas de produção de energia de fonte renovável, aplicadas a uma moradia unifamiliar.

4

SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES – CASO DE ESTUDO

4.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Uma forma de avaliar os novos requisitos para edifícios definida no SCE, em que há uma obrigatoriedade de energias renováveis (NZEB) será através da análise de um caso de estudo real, analisando os resultados e retirando conclusões. Para quantificar estas novas exigências regulamentares, selecionou-se uma moradia, destinada exclusivamente a habitação, construída no Norte de Portugal.

Com este caso de estudo, foram avaliadas as seguintes situações:

- O desempenho de um edifício, localizado na Póvoa de Varzim (pela avaliação do valor de N_{ic} e N_{ve});
- Quais as soluções mínimas regulamentares de energia renovável para uma moradia tipo (pela avaliação do valor da classe energética e E_{ren}).

Poderiam ser considerados diversos outros aspetos como o enquadramento (zona urbana ou zona rural), a existência de edifícios adjacentes ou não, alteração da tipologia, envolvente e da orientação, todos eles aspetos interessantes, embora não tenham sido considerados neste estudo. No entanto, de forma a simplificar e tornar mais objetiva a aplicação das novas medidas NZEB, foram selecionados os dois principais fatores intervenientes nos resultados, como é o caso da zona climática e os sistemas de energia renováveis aplicados.

Este capítulo iniciar-se-á com uma apresentação e descrição da moradia base para este estudo, através da identificação de todos os parâmetros, direta ou indiretamente relevantes para o cumprimento das exigências NZEB. Logo após a descrição da moradia, serão apresentados os resultados obtidos (através dos softwares ITECONS e SCE.ER) e as diversas soluções encontradas, culminando na análise dos resultados obtidos.

4.2 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A moradia em estudo destina-se a habitação unifamiliar, tipologia T3, com uma ocupação usual de 4 habitantes. Esta moradia, isolada, situa-se numa zona pouco urbanizada, algo distante do centro da cidade da Póvoa de Varzim, com zonamento climático I1/V2.

Considera-se que o projeto do edifício está elaborado de acordo com os padrões para edificação nova desde 1 de julho de 2021.

O edifício em estudo é composto por 2 pisos, Rés do Chão e Andar, com pé-direito livre de 2,50m.

A ocupação funcional prevista é a seguinte:

- Piso 0 – Rés do Chão (entrada principal, hall e sala de estar com casa de banho, cozinha e lavandaria);
- Piso 1 – Andar (hall de acesso aos quartos, 3 quartos, uma casa de banho privada num dos quartos, uma casa de banho comum aos outros dois quartos, quarto de vestir, duas varandas).

Anexada ao edifício encontra-se uma garagem, com espaço para dois automóveis.

Na figura seguinte, apresenta-se a planta do R/C e Andar da moradia em estudo. O projeto de arquitetura pode ser consultado no Anexo I desta dissertação.



Figura 20 – Planta do R/C e Andar da moradia em estudo

4.2.1 LEVANTAMENTO DIMENSIONAL DA MORADIA EM ESTUDO

De forma a ser possível quantificar as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento deste edifício, foi necessário proceder ao levantamento dimensional das suas compartimentações interiores (Quadro 13), informação fundamental para o cálculo de ganhos térmicos afetos a todo o edifício.

Quadro 13 - Áreas dos pavimentos interiores da moradia do caso de estudo
(retirado do software do ITECONS)

Divisão	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Sala comum	49,31	2,50	34,6	123,28
Cozinha	12,81	2,50	9,0	32,03
Hall de entrada	12,09	2,50	8,5	30,23
WC serviço	2,41	2,50	1,7	6,03
Desvão escadas	4,90	1,34	3,4	6,57
Escadas	5,50	3,87	3,9	21,29
Quarto 1	12,13	2,50	8,5	30,33
WC privado	4,81	2,50	3,4	12,03
Vestiário	3,52	2,50	2,5	8,80
Quarto 2	12,93	2,50	9,1	32,33
Quarto 3	12,72	2,50	8,9	31,80
WC principal	4,44	2,50	3,1	11,10
Hall distribuição	4,95	2,50	3,5	12,38
TOTAL	142,52	2,513	100,0	358,15

Além dos compartimentos, serão também descritos os elementos opacos exteriores e respetivas pontes térmicas planas, coberturas existentes e respetivas pontes térmicas planas, elementos opacos interiores e respetivas pontes térmicas planas, pavimento em contacto com o solo e vãos envidraçados.

Em anexo encontram-se sintetizados os dados de cada um dos elementos estruturais envolvidos.

4.2.1.1 QUANTIFICAÇÃO DE DESEMPENHO DOS ELEMENTOS OPACOS

Foi necessário implementar soluções para a envolvente opaca, de forma que estas se encontrem em conformidade com os valores regulamentares do coeficiente de transmissão térmica (U), discutidas no capítulo anterior.

Em anexo, apresentam-se as características específicas de cada elemento opaco desta habitação.

No entanto, encontra-se no Quadro 14 uma síntese dos valores de U obtidos de cada solução construtiva e respetivos limites regulamentares.

Quadro 14 - Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) dos elementos opacos da moradia em estudo

Identificação do elemento opaco	U (W/m ² .°C)
PDE1	0,40
PDE2	0,40
PTPPDE1/2	0,49
PTPPDE3	0,50
PTPPDE4	0,86
COB1	0,31/0,29
COB2	0,38/0,35
PTPCBE1	0,40/0,37
PTPCBE2	0,41/0,39
PI1	0,43
PTPPDI1	0,55
VOI1	2,17

4.2.1.2 QUANTIFICAÇÃO DE DESEMPENHO DO ELEMENTO EM CONTACTO COM O SOLO

Tal como os elementos opacos, foi também necessário implementar uma solução para o elemento em contacto com o solo, de forma que estas se encontrem em conformidade com os valores regulamentares do coeficiente de transmissão térmica (U).

Em anexo, apresentam-se as características específicas do elemento em contacto com o solo desta habitação.

Assim, encontra-se no Quadro 15 uma síntese dos valores de U obtidos da solução construtiva utilizada.

Quadro 15 - Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) do elemento em contacto com o solo da moradia em estudo

Identificação do elemento em contacto com o solo	U _{bf} (W/m ² .°C)
PVT1	0,39

4.2.1.3 QUANTIFICAÇÃO DE DESEMPENHO DOS ELEMENTOS ENVIDRAÇADOS

No presente caso de estudo, face à existência de uma grande área de envidraçados, e de forma a cumprir com os requisitos térmicos associados, foi necessário adotar dois tipos de vãos envidraçados de desempenho melhorado, já que a utilização da solução base de vãos envidraçados, segundo a folha de cálculo do ITECONS, não permite cumprir as restrições regulamentares do fator solar.

Assim sendo, foram implementadas duas soluções de vãos envidraçados:

- Os vãos envidraçados situados no rés-do-chão deste edifício são constituídos por caixilharia em alumínio com corte térmico, sem quadrícula, com vidro duplo incolor + incolor (6 + 5 mm), com caixa de ar de 16 mm e proteção exterior em persianas de régua metálica a cor clara com baixa permeabilidade ao ar. Apresenta-se no Quadro 16 as características principais deste vão envidraçado;

Quadro 16 - Características da solução de vão envidraçado VE1

Designação do Tipo de Solução	U_{wdn} (W/m ² .°C)	$g_{\perp,vi}$	g_{tot}	FS Global Prot. Perm. $G_{\text{tot,p}}$	Tipo de Vidro	Fração Envidraçada F_g	Área (m ²)
VE1	2,50	0,75	0,04	0,75	Duplo	0,70	26,07

- Os envidraçados situados no piso superior são constituídos por caixilharia em alumínio com corte térmico, sem quadrícula, com vidro duplo incolor + incolor (6 + 5 mm), com caixa de ar de 16 mm e proteção interior em persianas de régua de plástico a cor clara com baixa permeabilidade ao ar. Apresenta-se no Quadro 17 as características principais deste vão envidraçado.

Quadro 17 - Características da solução de vão envidraçado VE2

Designação do Tipo de Solução	U_{wdn} (W/m ² .°C)	$g_{\perp,vi}$	g_{tot}	FS Global Prot. Perm. $G_{\text{tot,p}}$	Tipo de Vidro	Fração Envidraçada F_g	Área (m ²)
VE2	2,50	0,75	0,40	0,75	Duplo	0,70	22,07

Em anexo são apresentados quadros retirados do software do ITECONS para o cálculo térmicos dos vãos envidraçados.

4.3 EXIGÊNCIAS E PARÂMETROS REGULAMENTARES

De seguida serão retratadas as restrições regulamentares aplicadas a cada elemento da envolvente da moradia em estudo. Esta secção será iniciada com uma sistematização regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica, seguido dos coeficientes de transmissão térmica linear.

Após a explanação destes limites regulamentares, seguir-se-á uma verificação das exigências regulamentares para cada elemento da envolvente da moradia.

4.3.1 COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA – U

Segundo a Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho, o coeficiente de transmissão térmica (U) refere-se ao valor característico de um elemento da envolvente que traduz a quantidade de calor que atravessa uma superfície de área unitária deste por unidade de tempo e por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que este separa.

Esta mesma portaria apresenta valores regulamentares máximos para o coeficiente U da envolvente dos edifícios, dependendo da zona climática, localização do edifício em questão (Portugal Continental, Região Autónoma da Madeira ou Região Autónoma dos Açores) e da utilização do edifício (habitação ou comércio e serviços). Nenhum elemento da envolvente ou vão envidraçado pode assumir valores superiores aos regulamentados.

Apresentam-se nos Quadros 18 e 19 os valores regulamentares para os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos para edifícios de habitação em Portugal Continental e dos elementos da envolvente envidraçada, respetivamente.

Quadro 18 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação — Portugal Continental, $U_{\max}$ [W/(m².°C)]

Portugal Continental			Zona Climática		
Tipo de elemento		Condição Fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	0,50	0,40	0,35
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	2,00	2,00	1,90
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	0,40	0,35	0,30
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	1,65	1,30	1,20
Zona da PTP	Verticais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{ztu} > 0,7$	1,75	1,60	1,45
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	2,00	2,00	1,90
	Horizontais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{ztu} > 0,7$	1,25	1,00	0,90
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	1,65	1,30	1,20
Elementos em contacto com o solo			0,50		

Quadro 19 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,máx}$ [W/(m².°C)]

	Zona climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30

4.3.2 COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR – Ψ

O Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho define coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) como a concentração de fluxo de calor que ocorre nas ligações entre elementos construtivos com diferente geometria ou diferentes propriedades térmicas, sendo a diminuição do seu impacto relevante para evitar a ocorrência de condensações superficiais e o aparecimento de patologias no interior dos edifícios.

Na caracterização das pontes térmicas lineares (PTL) deve-se ter em conta algumas regras:

- Não se contabilizam PTL em paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços interiores não úteis;
- Não se contabilizam PTL em paredes em contacto com o solo;
- Não se contabilizam PTL em paredes interiores separando um espaço interior útil de um espaço interior não útil ou de um edifício adjacente, desde que $b_{ztu} \leq 0,7$.

Assim sendo, apresentam-se, no Quadro 20, os valores para o coeficiente de transmissão térmica linear tendo em conta o tipo de ligação e a localização do isolamento na parede, situados na Tabela 33 do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho, embora não haja requisitos mínimos.

Quadro 20 - Coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ)

Tipo de ligação		Ψ [W/(m.°C)]		
		Isolamento da parede		
		Interior	Exterior	Outro (*)
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou espaço interior não útil	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento a nível intermédio (**)		0,60	0,15 (***)	0,50 (****)
Fachada com varanda (**)		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 (*****)	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,00	0,80	1,00
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	Isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	Isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona de caixa de estores		0,30	0,30	0,30

Em que:

(*) Isolamento repartido ou na caixa-de-ar de parede dupla

(**) Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação

(***) (****) (*****) Majorar quando existe um teto falso em: (***) 25%; (****) 50%; (*****) 70%

4.3.3 FATOR SOLAR

A Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho define fator solar como o valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior de um espaço, através de um vão envidraçado, e a radiação solar nele incidente.

O processo de cálculo do fator solar difere, dependendo se é calculado para a estação de arrefecimento ou para a estação de aquecimento. Estas diferenças serão expostas em anexo.

No entanto, apresenta-se no Quadro 21 os valores máximos admissíveis do fator solar de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares. É importante referir que estes valores dependem do tipo de edifício, da zona climática de verão onde se insere e da classe de inércia térmica do edifício. Estes valores encontram-se na Tabela 8 da Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho.

Quadro 21 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, $g_{\text{tot,máx}}$

Tipo de edifício	Inércia térmica do espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
	Fraca	0,15	0,10	0,10
Edifício de habitação	Média ou forte	0,56	0,56	0,50
Edifício de comércio e serviços	Fraca, média ou forte	0,56	0,56	0,50

4.3.4 VERIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

Nesta secção serão sintetizados nos Quadros 22, 23 e 24 os coeficientes anteriormente referidos, procedendo a uma comparação com as exigências regulamentares para este tipo de moradia localizada na zona climática I1/V2 (Póvoa de Varzim).

Quadro 22 - Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos opacos

Identificação do elemento opaco	U (W/m ² .°C)	U _{máx} (W/m ² .°C)	OK/KO
PDE1	0,40	0,50	OK
PDE2	0,40	0,50	OK
PTPPDE1/2	0,49	0,90	OK
PTPPDE3	0,50	0,90	OK
PTPPDE4	0,86	0,90	OK
COB1	0,31/0,29	0,40	OK
COB2	0,38/0,35	0,40	OK
PTPCBE1	0,40/0,37	0,90	OK
PTPCBE2	0,41/0,39	0,90	OK
PI1	0,43	0,50	OK
PTPPDI1	0,55	1,75	OK
VOI1	2,17	-	OK

Quadro 23 - Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica do elemento em contacto com o solo

Identificação do elemento em contacto com o solo	U_{bf} (W/m ² .°C)	U_{REF} (W/m ² .°C)	OK/KO
PVT1	0,39	0,50	OK

Quadro 24 - Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos envidraçados

Designação do Tipo de Solução	U_{wdn} (W/m ² .°C)	$U_{wdn,máx}$ (W/m ² .°C)	g_{tot}	$g_{tot,máx}$	OK/KO
VE1	2,50	2,80	0,04	0,56	OK
VE2	2,50	2,80	0,40	0,56	OK

4.3.5 INÉRCIA TÉRMICA

Segundo o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho, a inércia térmica (I_t) interior traduz a capacidade de armazenamento de calor que os elementos construtivos apresentam e varia em função da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento.

A inércia térmica é calculada pela seguinte equação:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} * r_i * S_i}{A_p} \quad (10)$$

Em que:

- I_t - Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento [kg/m²];
- M_{si} - Massa superficial útil do elemento i [kg/m²];
- r_i - Fator de redução da massa superficial útil do elemento i ;
- S_i - Área da superfície interior do elemento i [m²];
- A_p - Área interior útil de pavimento [m²].

A massa superficial útil (M_{si}) de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial. Algumas massas superficiais úteis foram diretamente retiradas de alguns catálogos de materiais de construção, outras foram calculadas recorrendo ao ITE50, multiplicando a massa volúmica aparente seca pela espessura do material em questão.

O fator de redução da massa superficial útil de um elemento i (r_i) permite avaliar de que forma o tipo de revestimento influencia a capacidade de absorção de calor dos materiais que compõem esse elemento. Assim, o r_i depende das características do material aplicado como revestimento, nomeadamente da sua resistência térmica. Quanto maior a resistência térmica do material de revestimento, maior a obstrução à transmissão térmica e, conseqüentemente, menor a capacidade de armazenamento e restituição de calor do elemento.

Apresenta-se, no Quadro 25, os valores do fator de redução de massa superficial de um elemento.

Quadro 25 - Fator de redução de massa superficial útil

Resistência do revestimento [(m².°C)/W]	r_i
R < 0,14	1
0,14 ≤ R ≤ 0,30	0,5
R > 0,30	0

O cálculo da inércia térmica do edifício em estudo foi efetuado através do software do ITECONS, cálculo esse que se encontra em anexo desta dissertação. Apenas de referir que a inércia térmica pode ser avaliada como fraca, média ou forte, dependendo do valor resultante da equação acima mencionada. Apresentam-se, no Quadro 26, estes intervalos de determinação da classe de inércia térmica.

Quadro 26 - Classes de inércia térmica

Classe de Inércia Térmica	I_t [kg/m²]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Através da folha de cálculo do ITECONS, foi obtido um resultado de $I_t = 424,05$, que corresponde à classe de inércia forte.

4.3.6 VENTILAÇÃO

Para o edifício em estudo, admitiu-se um sistema de ventilação, onde se prevê a admissão de ar pelas fachadas, com aberturas fixas ou reguláveis manualmente, sem ventilação mecânica, conforme a função do espaço ventilado.

Recorrendo ao calculador de ventilação da folha de cálculo do ITECONS, obtiveram-se as taxas de renovação horária apresentadas no Quadro 27:

Quadro 27 - Verificação regulamentar da taxa de renovação horária da moradia em estudo

Localização	Rph mínimo (h-1)	Rph,i (h-1)	Rph,v (h-1)	OK/KO
Póvoa de Varzim	0,50	1,34	1,34	OK

4.3.7 QUANTIFICAÇÃO DO N_{ic} E DO N_{vc} DA MORADIA

Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), bem como das necessidades globais de energia primária (N_{ic}).

Como já foi referido anteriormente, o valor de N_{ic} , irá depender do valor das energias renováveis (E_{ren}). Visto que um dos fatores a variar nas simulações é E_{ren} , o valor das N_{ic} irá variar conforme os equipamentos que forem instalados nas diferentes simulações.

Todos os processos de cálculo destes índices térmicos foram descritos no capítulo 2 desta dissertação. Assim sendo, e para efeitos práticos, estes índices foram calculados de forma automática através da folha de cálculo do ITECONS, gerando os valores apresentados no Quadro 28:

Quadro 28 - Resultado final de balanço energético antes da implementação de sistemas técnicos

Local	N_{ic} KWh/(m ² ·ano)	N_i kWh/(m ² ·ano)	N_{ic}/N_i [%]	N_{ic}/N_i MÁX [%]	N_{vc} kWh/(m ² ·ano)	N_v kWh/(m ² ·ano)	N_{vc}/N_v [%]	N_{vc}/N_v MÁX [%]
Póvoa de Varzim	41,82	58,04	72	≤ 75	6,04	9,13	66	≤ 100

Através da análise do quadro anterior, chega-se à conclusão de que esta moradia cumpre os requisitos de conforto térmico de um edifício de habitação novo numa zona climática II.

4.4 DESCRIÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Para os cenários de simulação descritos de seguida, foi efetuada uma pesquisa de alguns exemplos reais para cada equipamento/sistema de energia renovável. Apresentam-se, no Quadro 29, os sistemas utilizados, seguidos da marca utilizada nas simulações.

Quadro 29 - Equipamentos de energia renovável utilizadas no caso de estudo

Sistema de energia renovável	Marca do equipamento	Princípio de funcionamento
Coletor solar térmico	DPS VSH2200 + Depósito TS 150/200/300L OP-V6	Solar
Solar fotovoltaico	Painel Solar 160W 12V Policristalino ERA	Solar
Bomba de calor	ENERGIE 200I (Apenas AQS) ENERGIE AQUAPURA 12 INVERTER R 8-12 (Climatização + AQS)	Eletricidade
Biomassa	Recuperador de calor PROTEU Miami	Combustão

Foram utilizados dois sistemas de apoio, apresentados no Quadro 30.

Quadro 30 - Equipamentos de apoio utilizados no caso de estudo

Sistema de apoio	Marca do equipamento	Princípio de funcionamento
Termoacumulador	VULCANO ES 010 5 1500W VU M2R-KNWVB	Eletricidade
Caldeira	BOSCH GC2300iW 24/30 C 23	Gás Natural

É também necessário mencionar que a folha de cálculo do ITECONS utiliza sistemas por defeito de forma a colmatar as necessidades das situações em que não são especificados equipamentos para climatização e/ou preparação de AQS. Estes sistemas por defeito serão apresentados no Quadro 31:

Quadro 31 - Sistemas por defeito adotados pela folha de cálculo do ITECONS

Necessidade	Fonte de energia	$f_i/f_v/f_a$	$\eta_i/\eta_v/\eta_a$	$F_{pui}/F_{puv}/F_{pua}$
Aquecimento	Eletricidade	$f_i = 1,00$	$\eta_i = 1,00$	$F_{pui} = 2,5$
Arrefecimento	Eletricidade	$f_v = 1,00$	$\eta_v = 3,00$	$F_{puv} = 2,5$
AQS	Gás Natural	$f_a = 1,00$	$\eta_a = 0,89$	$F_{pua} = 1,0$

4.4.1 COLETOR SOLAR TÉRMICO

Neste caso, foi variada a área de coletores solares térmicos da marca DELPASO VSH2200 com apoio de um depósito TS 150/200/300L OP-V6, dependendo da área de coletor solar. Cada coletor solar possui uma área de 2,23 m², aumentando-se, sucessivamente, o número de painéis solares térmicos, até a um máximo de 4 painéis solares térmicos.

A montagem é fixa, com orientação de 0° em azimuth e inclinação de 35°. O armazenamento é central, feito num único depósito numa posição vertical. Para o sistema de apoio, efetuaram-se simulações com sistemas do tipo elétrico com rendimento de 100% e do tipo térmico com rendimento de 99% a gás natural, com montagem ao depósito e controlo temporizado. O sistema pode funcionar para preparação de AQS ou aquecimento, exclusivamente. Apresentam-se, no Quadro 32, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do SCE.ER.

Quadro 32 – Energia renovável produzida pelos coletores solares térmicos obtidos com recurso ao SCE.ER

Coletores solares térmicos	E_{ren} (AQS) (kWh/ano)	E_{ren} (aquecimento) (kWh/ano)	Depósito (L)
Área (m²)			
2,23	1393,5	1243,8	150
4,46	1863,4	1764,6	200
6,69	2052,6	1964,8	300
8,92	2112,5	1968,8	300

4.4.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para o caso dos painéis fotovoltaicos, foi utilizado um Paine Solar 160W 12V Policristalino da marca ERA com área de cerca de 1 m², aumentando-se, sucessivamente, o número de painéis fotovoltaicos, até a um máximo de 8 painéis fotovoltaicos.

A montagem é fixa, com orientação de 0° em azimuth e inclinação de 35°. Foi selecionado um bloco inversor típico A+ com eficiência de 97%. Foram consideradas perdas de eficiência PV por variação espectral de 0,5%, perdas por problemas de limpeza dos painéis de 0,5%, perdas em interconexões de 1% e outras perdas resistivas gerais de 0,7%. Considerou-se, também, um autoconsumo de 3kWh em ventiladores e não foram incluídas baterias para armazenamento de energia neste sistema, pelo que o excesso é devolvido à rede. Apresentam-se, no Quadro 33, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do SCE.ER

Quadro 33 - Parâmetros dos sistemas de painéis fotovoltaicos obtidos com recurso ao SCE.ER

Painéis fotovoltaicos	Potência Nominal (kW)	E_{ren} (kWh/ano)
Área (m²)		
2,00	0,3	409
4,01	0,6	946
6,01	1,0	1455
8,01	1,3	1957

4.4.3 SISTEMA A BIOMASSA

Para os cenários de simulação de um sistema a biomassa, foi utilizado um recuperador de calor da marca PROTEU da gama Miami. Neste caso, apenas se efetuou uma simulação de produtividade diretamente através da folha de cálculo do ITECONS, para climatização (aquecimento), com uma caldeira a gás natural como sistema para assegurar a preparação de AQS. Este recuperador de calor possui uma produtividade total de energia de 5960,82 kWh/ano.

4.4.4 SISTEMA DE BOMBA DE CALOR

Para o sistema de bomba de calor, foi utilizada uma bomba de calor AQUAPURA 12 Inverter R 8-12 da marca ENERGIE. Esta bomba de calor foi utilizada para climatização e preparação de AQS, sendo uma bomba de calor muito bem equipada para uma habitação. No entanto, foi utilizada uma outra bomba de calor, com menor potência consumida, nos cenários em que será necessário cumprir apenas as necessidades de preparação de AQS. Para isso, utilizou-se uma bomba de calor 200I da marca ENERGIE. Apresentam-se, o Quadro 34, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS

Quadro 34 - Parâmetros dos sistemas de bomba de calor

Bomba de calor		Potência Nominal (kW)	E _{ren} (kWh/ano)	Consumo de energia final (kWh/ano)
COP				
ENERGIE AQUAPURA 12 INVERTER R 8-12	4,87	8,25	6608,2	1729,9
ENERGIE 200I	3,65	7,01		

4.5 NECESSIDADES MÍNIMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

O edifício em estudo tem tanto necessidades de preparação de AQS como de climatização. Os valores de energia primária necessários para satisfazer estas necessidades, de forma a cumprir os índices mínimos exigidos, dependem largamente das características do edifício: a preparação de AQS depende essencialmente do número de ocupantes do edifício e dos dias de utilização ao ano, enquanto que a climatização depende largamente da envolvente do edifício e das suas soluções arquitetónicas (exemplo disso são os vãos envidraçados, espaços úteis dentro do edifício, entre outros). Assim sendo, as características do edifício irão ter uma grande influência nos resultados e na escolha dos sistemas de energias renováveis.

Para efeitos dos cenários de simulação, foram alterados os seguintes parâmetros:

- Número de painéis solares térmicos e/ou de painéis fotovoltaicos, aumentando a sua área;
- Instalação de apenas um sistema de energia renovável ou efetuar combinações de vários sistemas.

Os aspetos a avaliar foram:

- Necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc});
- Requisito de energia renovável (Ren_{hab}).

Todos os cálculos referentes a este estudo foram efetuados com o auxílio das folhas de cálculo do ITECONS e do SCE.ER, onde é possível alterar todos os parâmetros necessários ao estudo de sensibilidade e calcular com precisão os diversos resultados para as soluções simuladas. Os resultados serão apresentados através de um quadro e respetivo gráfico, de forma a sintetizar os dados de um modo mais intuitivo, tal como as variações e tendências dos valores obtidos. As simulações foram efetuadas para a zona climática II. Começar-se-á com a exposição de resultados apenas para efeitos de preparação de AQS, e depois apenas para efeitos de climatização.

Apresentam-se, no Quadro 35, informação acerca dos cenários analisados nesta secção.

Quadro 35 - Listagem dos cenários estudados neste caso de estudo

Nº do cenário	Equipamento para Arrefecimento	Equipamento para Aquecimento	Equipamento para AQS
1	Sistema por defeito (Eletricidade)	Sistema por defeito (Eletricidade)	Coletores Solares Térmicos com apoio térmico a gás natural
2	Sistema por defeito (Eletricidade)	Sistema por defeito (Eletricidade)	Coletores Solares Térmicos com apoio elétrico
3	Sistema por defeito (Eletricidade)	Caldeira a gás natural	Coletores Solares Térmicos com apoio térmico a gás natural
4	Sistema por defeito (Eletricidade)	Caldeira a gás natural	Coletores Solares Térmicos com apoio elétrico
5	Sistema por defeito (Eletricidade)	Caldeira a gás natural	Coletores Solares Térmicos com apoio de uma bomba de calor ar-água
6	Sistema por defeito (Eletricidade)	Bomba de calor ar-água	Coletores Solares Térmicos com apoio de uma bomba de calor ar-água
7	Sistema por defeito (Eletricidade)	Bomba de calor ar-água	Coletores Solares Térmicos com apoio elétrico
8	Sistema por defeito (Eletricidade)	Bomba de calor ar-água	Coletores Solares Térmicos com apoio térmico a gás natural
9	Sistema por defeito (Eletricidade)	Sistema por defeito (Eletricidade)	Painéis Fotovoltaicos
10	Sistema por defeito (Eletricidade)	Caldeira a gás natural	Painéis Fotovoltaicos
11	Sistema por defeito (Eletricidade)	Bomba de calor ar-água	Bomba de calor ar-água
12	Sistema por defeito (Eletricidade)	Coletores Solares Térmicos com apoio elétrico	Sistema por defeito (Gás natural)
13	Sistema por defeito (Eletricidade)	Coletores Solares Térmicos com apoio de uma bomba de calor ar-água	Sistema por defeito (Gás natural)
14	Sistema por defeito (Eletricidade)	Coletores Solares Térmicos com apoio de uma bomba de calor ar-água	Bomba de calor ar-água
15	Sistema por defeito (Eletricidade)	Painéis Fotovoltaicos	Sistema por defeito (Gás natural)
16	Sistema por defeito (Eletricidade)	Painéis Fotovoltaicos + Caldeira a gás natural	Sistema por defeito (Gás natural)
17	Sistema por defeito (Eletricidade)	Recuperador de calor	Caldeira a gás natural

4.5.1 1º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + GÁS NATURAL (AQS)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio térmico a gás natural com rendimento de 98,6%, para efeitos de aquecimento de Águas Quentes e Sanitárias. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de climatização. Apresentam-se, no Quadro 36, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 21.

Quadro 36 – Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 1

Área de Coletores (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2,23	58,37	0,64
4,46	78,21	0,62
6,69	86,22	0,61
8,92	88,76	0,61

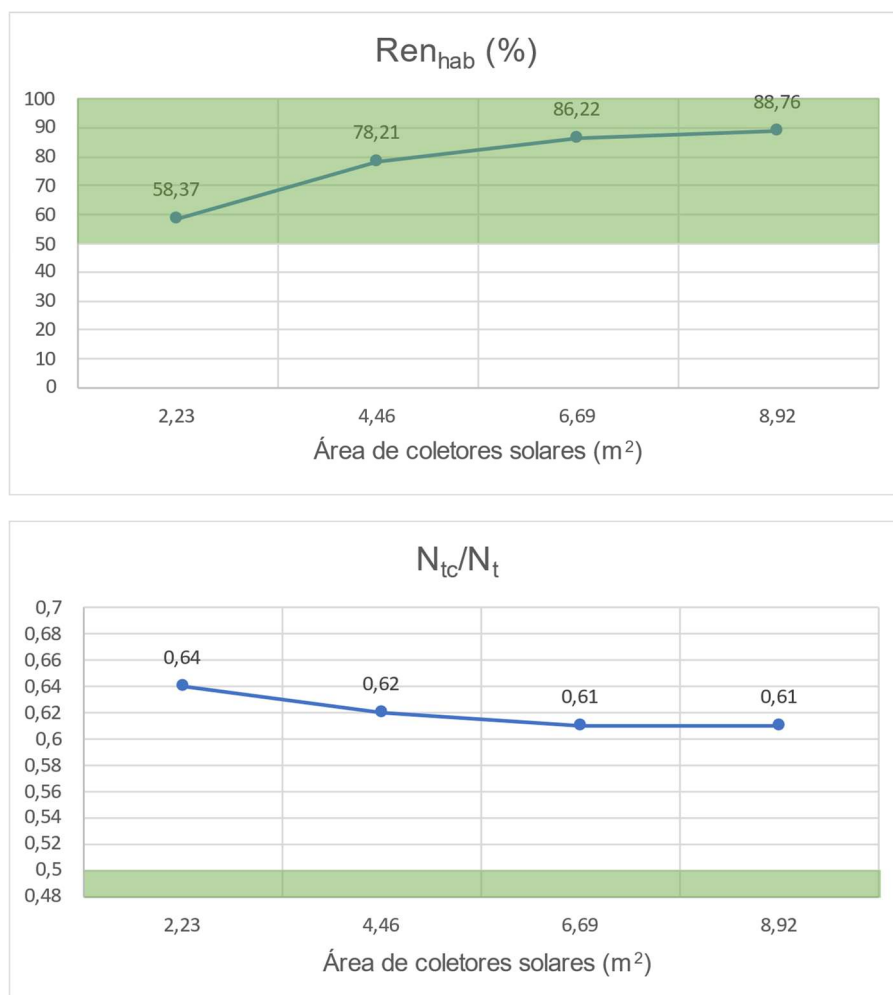


Figura 21 - Resultados obtidos do cenário 1

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que, a partir de uma certa área de coletores, torna-se desnecessário o aumento do seu número, uma vez que os valores de N_{tc}/N_t e Ren_{hab} , segundo os gráficos acima apresentados, tendem a estabilizar a partir da colocação de 4 coletores solares térmicos. É necessário ter ainda atenção ao facto de que a área de cobertura a utilizar para a instalação dos coletores solares térmicos é finita, não sendo possível dimensionar áreas de coletores demasiado elevadas, dado tornar difícil a sua integração na habitação.

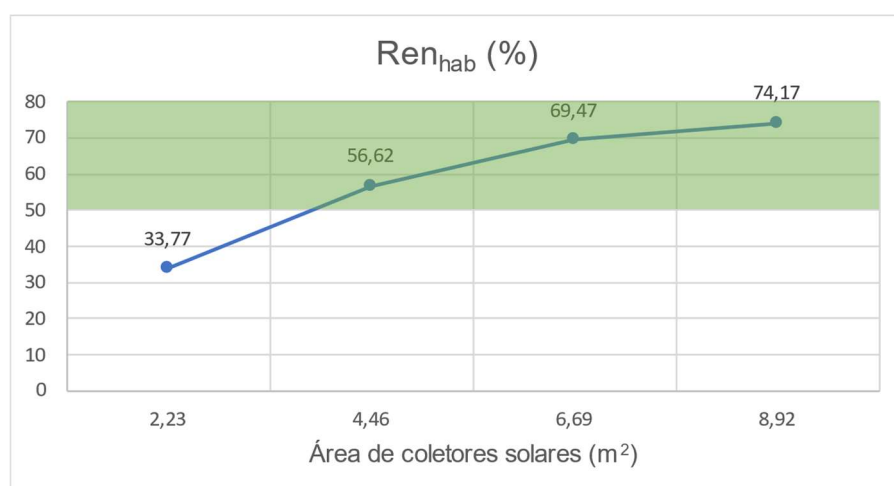
Assim sendo, neste cenário de simulação, e devido à natureza logarítmica dos resultados, deduz-se que, realisticamente, esta solução nunca iria atingir o valor de $N_{tc}/N_t < 0,50$, embora cumpra os requisitos de $Ren_{hab} \geq 50\%$ facilmente, não cumprindo as necessidades da habitação.

4.5.2 2º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQS)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio elétrico com rendimento de 100%, para efeitos de aquecimento de Águas Quentes e Sanitárias. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de climatização. Apresentam-se, no Quadro 37, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 22.

Quadro 37 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 2

Área de Coletores (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2,23	33,77	0,62
4,46	56,62	0,57
6,69	69,47	0,56
8,92	74,17	0,55



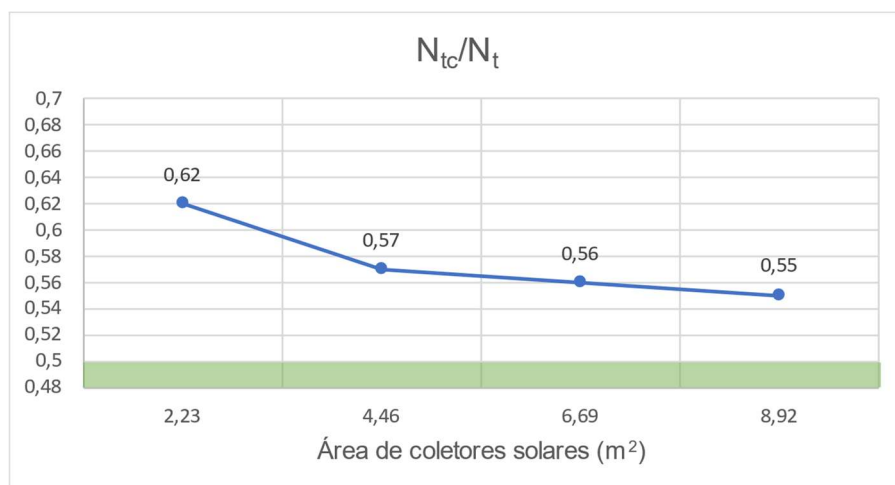


Figura 22 - Resultados obtidos do cenário 2

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que, à semelhança do cenário anterior, a partir de uma certa área de coletores, torna-se desnecessário o aumento do seu número. No entanto, infere-se que a implementação de um equipamento elétrico para sistema de apoio dos coletores solares térmicos, embora apresente valores de Ren_{hab} inferiores à implementação de uma caldeira a gás natural, em que a utilização de apenas um painel solar térmico resulta no não cumprimento dos dois índices, origina, contudo, valores de N_{tc}/N_t mais próximos do valor regulamentar de 0,50.

Ainda assim, neste cenário de simulação, verifica-se que, realisticamente, esta solução nunca iria atingir o valor de $N_{tc}/N_t \leq 0,50$, embora cumpra os requisitos de Ren_{hab} facilmente, não cumprindo as necessidades da habitação.

De seguida, serão efetuados cenários idênticos aos anteriores, mas com a inserção de um equipamento de apoio para colmatar as necessidades de aquecimento da habitação em estudo.

4.5.3 3º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + GÁS NATURAL (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio térmico a gás natural com rendimento de 98,6%, para efeitos de aquecimento de Águas Quentes e Sanitárias, sendo que este sistema de apoio também irá satisfazer as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 38, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 23.

Quadro 38 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 3

Área de Coletores (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2,23	58,37	0,53
4,46	78,21	0,49
6,69	86,22	0,48
8,92	88,76	0,47

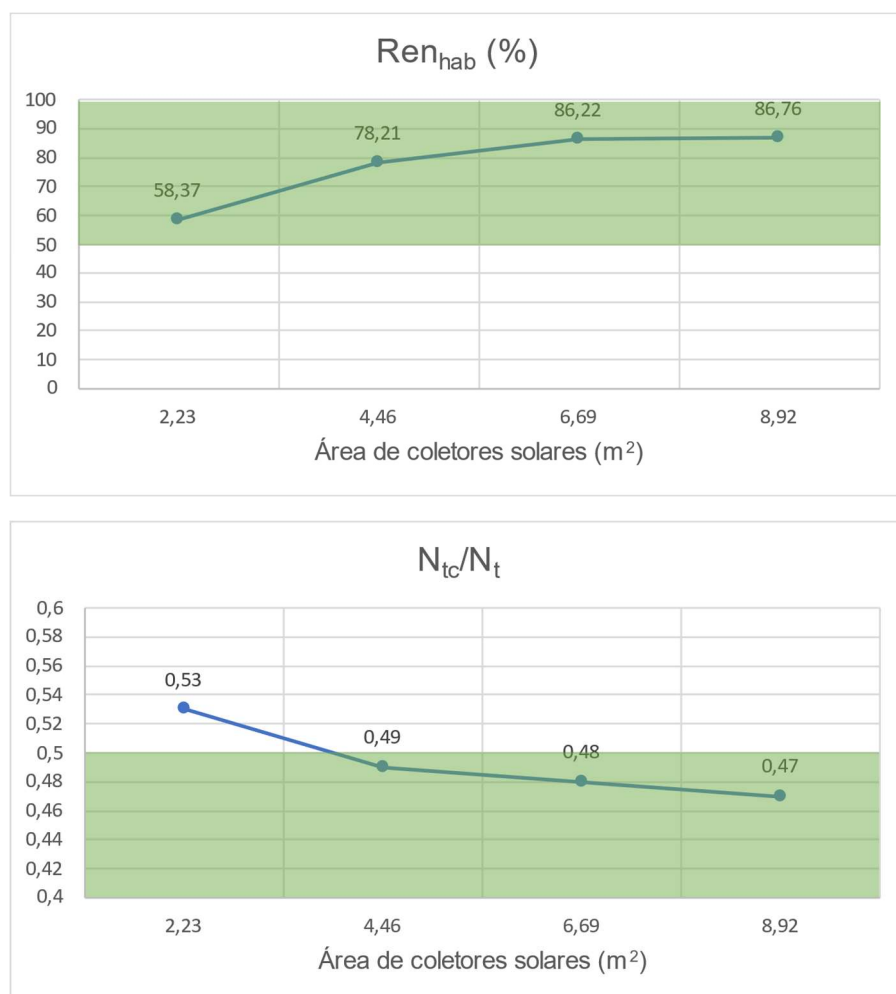


Figura 23 - Resultados obtidos do cenário 3

Analisando os resultados obtidos, verifica-se mais uma vez que, a partir de uma certa área de coletores, torna-se desnecessário o aumento do seu número. Neste cenário de simulação, é possível constatar que a partir da colocação de dois painéis solares térmicos, todas as necessidades energéticas da habitação são cumpridas. O valor de Ren_{hab} não se altera, pois, este índice tem apenas em conta as necessidades de preparação de AQS. Por sua vez, o valor de N_{tc}/N_t diminui com a implementação de um equipamento de aquecimento, já que este índice tem em conta todas energias renováveis, sejam elas para climatização ou para preparação de AQS.

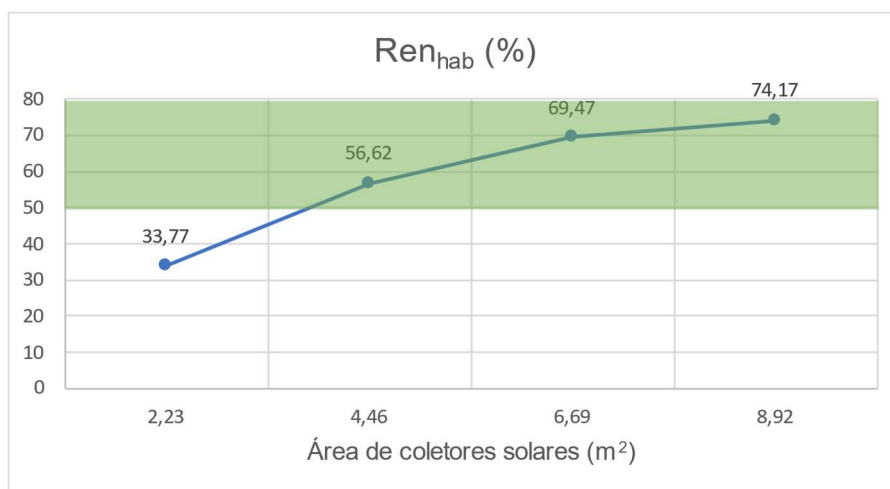
Assim sendo, neste cenário de simulação constata-se que, realisticamente, esta solução, a partir da implementação de 2 painéis solares térmicos, cumpre todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.4 4º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio elétrico com rendimento de 100%, para efeitos de aquecimento de Águas Quentes e Sanitárias, adicionando uma caldeira a gás natural de forma a satisfazer as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 39, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 24.

Quadro 39 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 4

Área de Coletores (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2,23	33,77	0,52
4,46	56,62	0,44
6,69	69,47	0,41
8,92	74,17	0,4



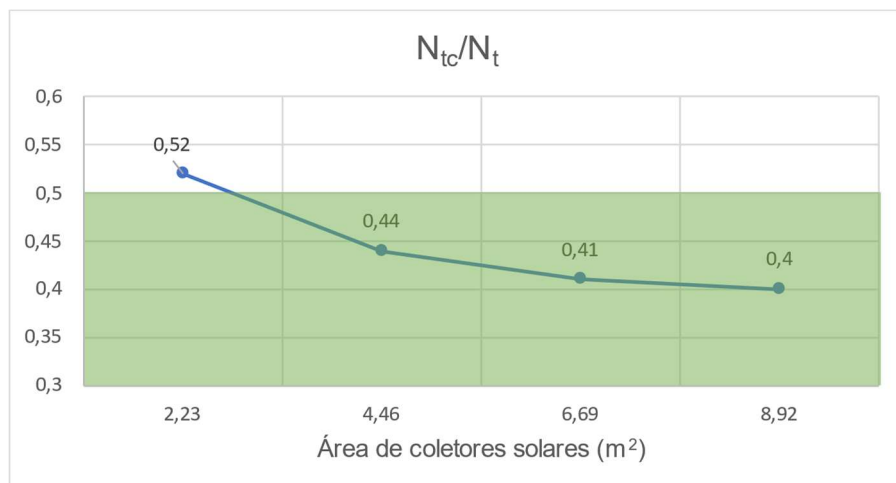


Figura 24 - Resultados obtidos do cenário 4

Analisando os resultados obtidos, constata-se mais uma vez que, a partir de uma certa área de coletores, torna-se desnecessário o aumento do seu número. No entanto, e à semelhança do cenário anterior, neste caso, é possível verificar que, a partir da colocação de dois painéis solares térmicos, todas as necessidades energéticas da habitação são cumpridas. O valor de Ren_{hab} não se altera, pois, este índice tem apenas em conta as necessidades de preparação de AQS. Por sua vez, o valor de N_{tc}/N_t diminui com a implementação de um equipamento de aquecimento, já que este índice tem em conta todas energias renováveis, sejam elas para climatização ou para preparação de AQS. Além disso, verifica-se que esta solução se traduz em valores de N_{tc}/N_t inferiores aos do cenário anterior. Isto pode dever-se ao facto de a eficiência do sistema elétrico, como sistema de apoio, ser superior ao da caldeira a gás natural, resultando numa contribuição de energia ao coletor solar térmico superior, traduzida numa diminuição deste rácio.

Assim sendo, neste cenário de simulação verifica-se que, realisticamente, esta solução, a partir da implementação de dois painéis solares térmicos, cumpre todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.5 5º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio de uma bomba de calor ENERGIE 200I, para efeitos de aquecimento de Águas Quentes e Sanitárias, possuindo uma caldeira a gás natural de forma a satisfazer as necessidades energéticas de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 40 os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 25.

Quadro 40 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 5

Bomba de calor		Área de coletores solares (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
Potência (kW)	COP			
1800	3,72	2,23	76,17	0,53
		4,46	86,64	0,5
		6,69	91,3	0,49
		8,92	92,84	0,49

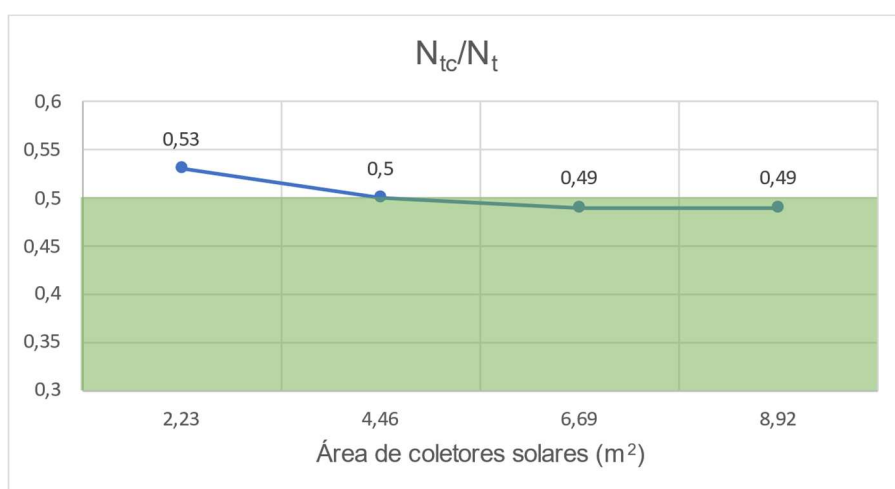
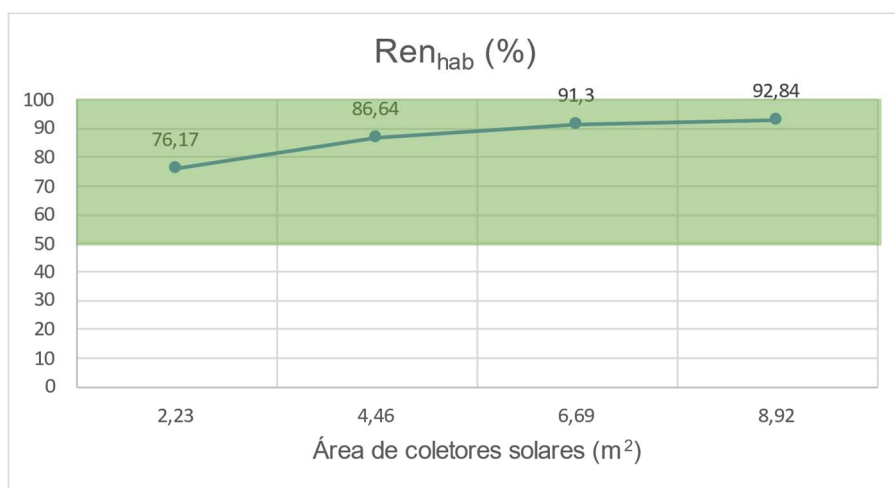


Figura 25 - Resultados obtidos do cenário 5

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que, à semelhança de cenários anteriores, a partir de uma certa área de coletores, torna-se desnecessário o aumento do seu número. No entanto, com a inserção de uma bomba de calor, os requisitos de Ren_{hab} da habitação são cumpridos com facilidade. Além disso, esta solução cumpre as necessidades de N_{tc}/N_t do edifício, a partir da utilização de dois painéis solares térmicos.

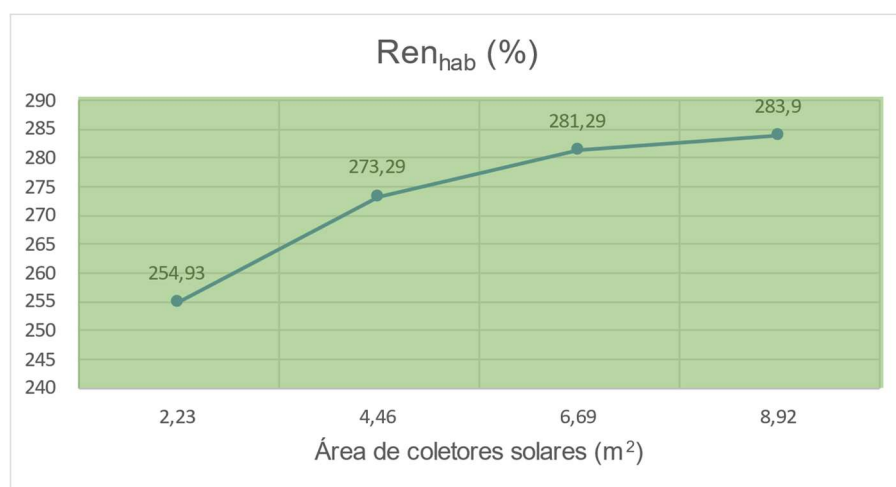
Assim sendo, neste cenário de simulação, e independentemente da natureza logarítmica dos resultados, constata-se que esta solução cumpre com relativa facilidade as necessidades de eficiência energética da habitação.

4.5.6 6º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQS) + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio de uma bomba de calor ENERGIE AQUAPURA 12 INVERTER R 8-12, para efeitos de preparação de Águas Quentes e Sanitárias, sendo que este sistema de apoio também conseguirá satisfazer as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 41, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 26.

Quadro 41 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 6

Bomba de calor		Área de coletores solares (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
Potência (kW)	COP	2,23	254,93	0,35
8250	4.82	4,46	273,29	0,32
		6,69	281,29	0,31
		8,92	283,9	0,31



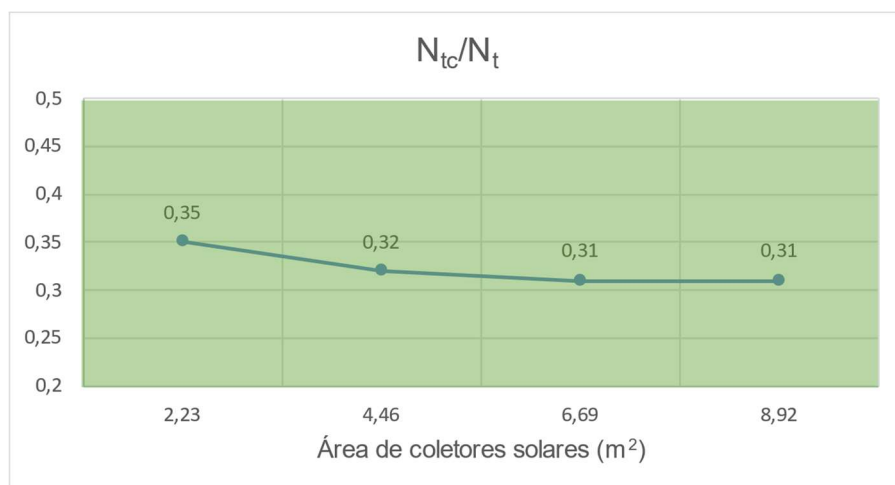


Figura 26 - Resultados obtidos do cenário 6

Analisando os resultados obtidos, constata-se uma situação diferente das anteriores, devido ao valor bastante elevado do índice Ren_{hab} . Embora, à primeira vista, este valor se demonstre impossível, devido ao facto de se verificarem percentagens acima de 100%, faz todo o sentido. Como o valor de Ren_{hab} se calcula através do quociente entre a energia primária total renovável para autoconsumo nos usos regulados do edifício e a energia primária total para a preparação de AQS, se existir energia de aquecimento produzida pela mesma bomba de calor, isso irá traduzir-se num valor de Ren_{hab} superior a 100%, já que o denominador apenas contabiliza a energia primária total para a preparação de AQS, e não para climatização. Para além do mais, sendo a bomba de calor um sistema que produz muito mais energia do que aquela que consome, o valor do rácio N_{tc}/N_t baixa consideravelmente.

Sendo assim, neste cenário de simulação, verifica-se que esta solução cumpre facilmente todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.7 7º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQS) + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio elétrico com rendimento de 100%, para efeitos de preparação de Águas Quentes e Sanitárias, utilizando-se uma bomba de calor da marca ENERGIE AQUAPURA 12 INVERTER R 8-12 de forma a satisfazer as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 42, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 27.

Quadro 42 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 7

Bomba de calor		Área de coletores solares (m^2)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
Potência (kW)	COP			
8250	4.82	2,23	146,65	0,4
		4,46	198,16	0,31
		6,69	227,12	0,27
		8,92	237,72	0,26

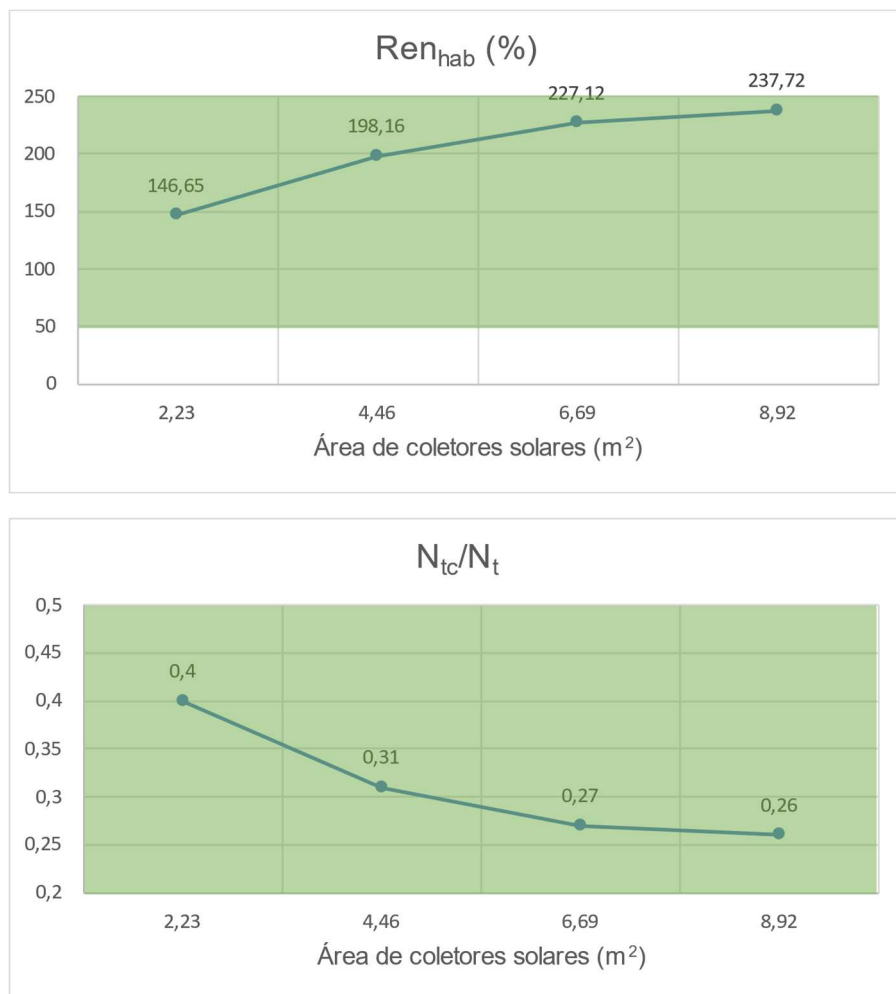


Figura 27 - Resultados obtidos do cenário 7

Analisando os resultados obtidos, verifica-se uma situação semelhante ao cenário anterior, devido ao valor muito elevado do índice Ren_{hab} , estando a diferença no sistema de apoio do sistema coletor solar térmico (sistema elétrico). Como se trata de um sistema de apoio com uma eficiência energética de produção/consumo de energia inferior ao do cenário anterior, o valor de N_{tc}/N_t aumenta inicialmente. No entanto, mesmo com este aumento inicial, este rácio mantém-se num intervalo de valores ainda regulamentarmente aceitáveis, sendo melhores que no cenário anterior a partir da utilização de 2 ou mais painéis solares térmicos.

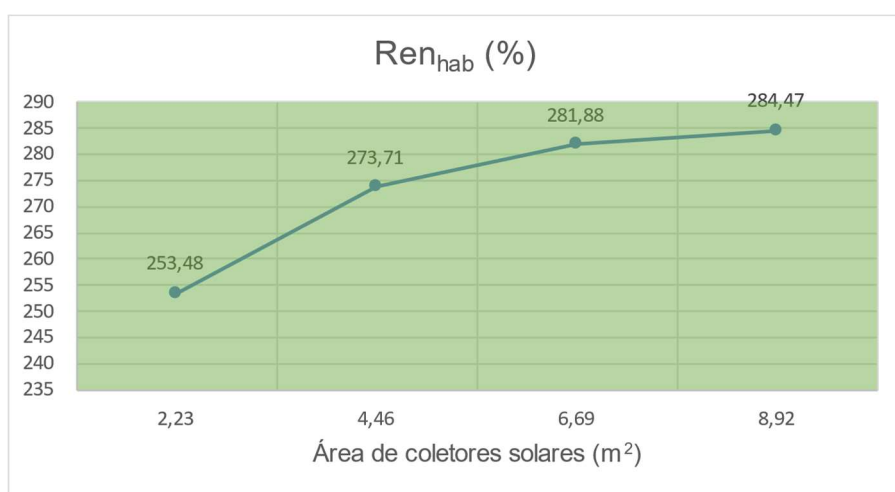
Assim sendo, neste cenário de simulação, constata-se que esta solução cumpre facilmente todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.8 8º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + GÁS NATURAL (AQS) + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de coletores solares térmicos com apoio térmico a gás natural com rendimento de 98,7%, para efeitos de preparação de Águas Quentes e Sanitárias, utilizando-se uma bomba de calor da marca ENERGIE AQUAPURA 12 INVERTER R 8-12 de forma a satisfazer as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 43, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 28.

Quadro 43 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 8

Bomba de calor		Área de coletores solares (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
Potência (kW)	COP	2,23	253,48	0,38
8250	4.82	4,46	273,71	0,33
		6,69	281,88	0,31
		8,92	284,47	0,31



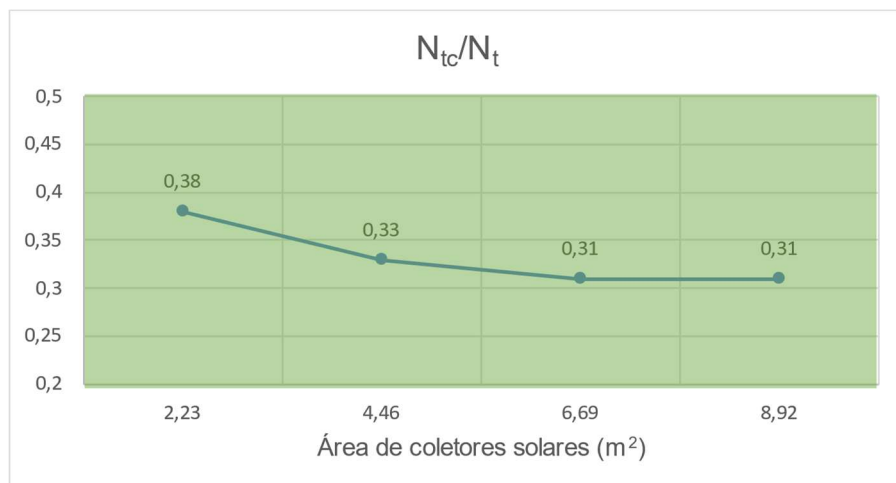


Figura 28 - Resultados obtidos do cenário 8

Analisando os resultados obtidos, verifica-se uma situação semelhante aos cenários 6 e 7, devido ao valor bastante elevado do índice Ren_{hab} , estando a diferença no sistema de apoio do sistema coletor solar térmico (sistema a gás natural). Contata-se um aumento no rácio de N_{tc}/N_t em comparação com o cenário 6, mas com um intervalo de valores mais restrito que o cenário 7. No entanto, mesmo com este aumento, este rácio mantém-se num intervalo de valores ainda regulamentarmente aceitáveis.

Assim sendo, neste cenário de simulação, conclui-se que esta solução cumpre facilmente todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.9 9º CENÁRIO – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (AQS)

Passa-se de seguida às combinações com painéis fotovoltaicos. Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de painéis fotovoltaicos. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 44, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 29.

Quadro 44 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 9

Nº de Módulos (Painel Solar 160W 12V Policristalino ERA)	Área (m²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2	2,00	15,48	0,72
4	4,01	35,81	0,67
6	6,01	55,08	0,63
8	8,01	74,09	0,58

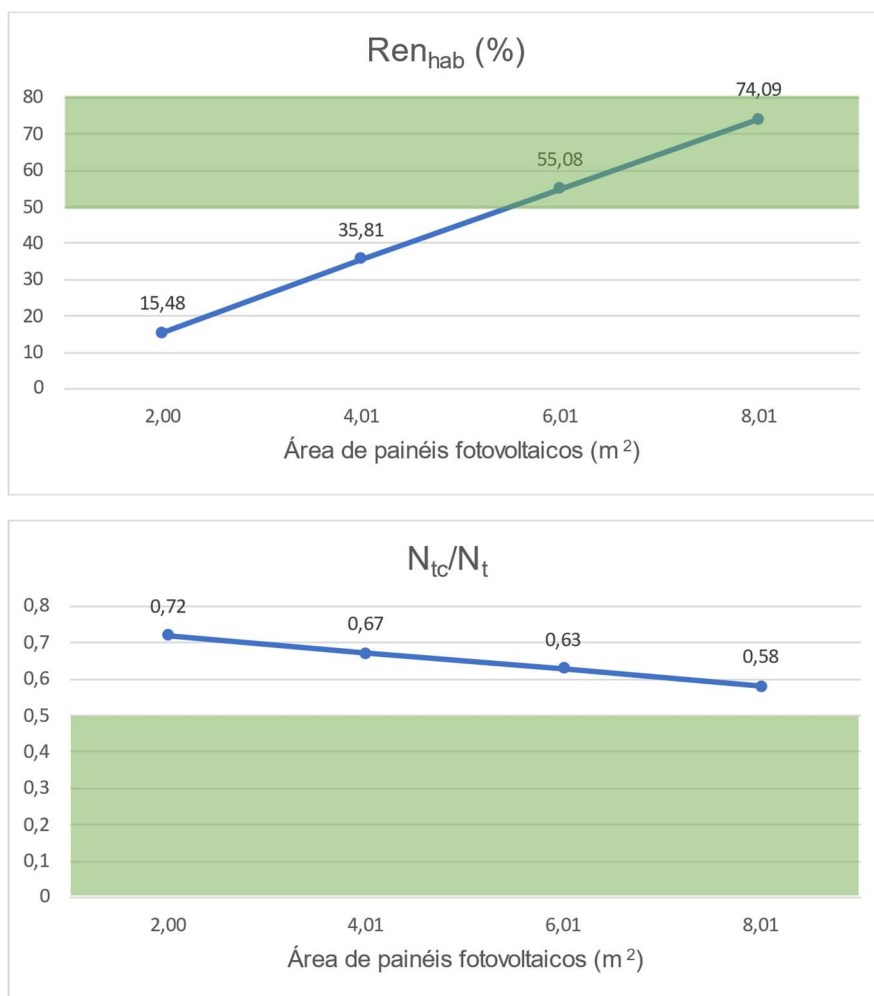


Figura 29 - Resultados obtidos do cenário 9

Ao contrário dos cenários anteriores, que envolviam coletores solares térmicos, os gráficos traduzem uma evolução de resultados praticamente linear. Assim sendo, é possível que, com um aumento do número de painéis fotovoltaicos, seja possível cumprir os requisitos de necessidades energéticas e de energia renovável. No entanto, é necessário prestar particular atenção ao número de painéis fotovoltaicos a adotar. Isto deve-se ao facto de, como referido anteriormente, a área de cobertura ser limitada. Além disso, é necessário perceber se a cobertura consegue suportar o número de painéis fotovoltaicos necessários para o cumprimento das restrições regulamentares impostas aos índices Ren_{hab} e N_{tc}/N_t.

Assim sendo, neste cenário de simulação, constata-se que esta solução conseguirá, com um maior número de painéis fotovoltaicos a instalar, cumprir todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.10 10º CENÁRIO – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (AQS) + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema de painéis fotovoltaicos, de forma a cumprir as necessidades de preparação de AQS, em combinação com uma caldeira a gás natural, de forma a cumprir as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 45, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 30.

Quadro 45 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 10

Nº de Módulos (Painel Solar 160W 12V Policristalino ERA)	Área (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2	2,00	15,48	0,69
4	4,01	35,81	0,61
6	6,01	55,08	0,53
8	8,01	74,09	0,46

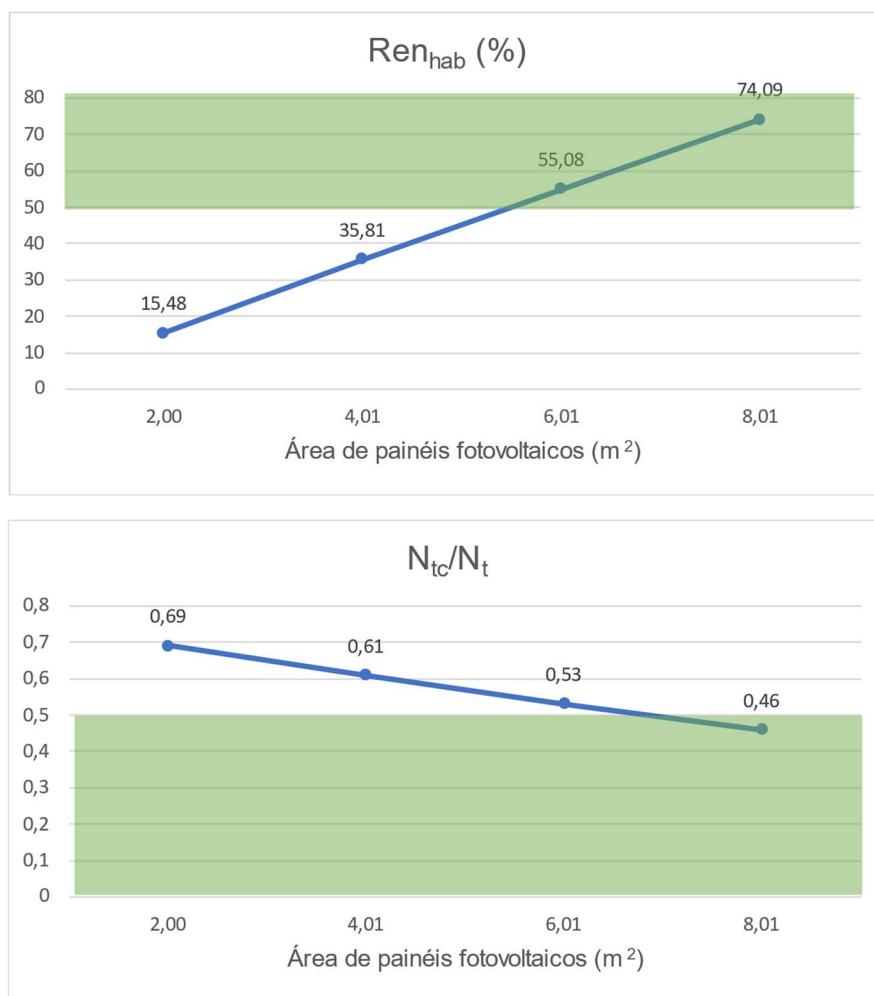


Figura 30 - Resultados obtidos do cenário 10

À semelhança do cenário anterior, os gráficos traduzem uma evolução de resultados praticamente linear. Assim sendo, é possível que, com um aumento de número de painéis fotovoltaicos, seja possível cumprir os requisitos de necessidades e energéticas e de energia renovável. No entanto, é necessário ter atenção ao número de painéis fotovoltaicos a adotar. Além disso, com a adição de uma caldeira a gás natural para colmatar as necessidades de energia para aquecimento, mostra-se possível de cumprir os requisitos de N_{tc}/N_t com um número inferior de painéis solares fotovoltaicos.

Assim sendo, neste cenário de simulação verifica-se que esta solução conseguirá, com um número mínimo de 8 painéis fotovoltaicos a instalar, cumprir todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.11 11º CENÁRIO – BOMBA DE CALOR (AQS E AQUECIMENTO)

Este cenário será exposto de forma diferente dos anteriores. Isto deve-se ao facto de a folha de cálculo do ITECONS, após a inserção de dados técnicos base das bombas de calor em equação, efetuar os cálculos de energia renovável produzida total (EREN) e de consumo de energia final, culminando no cálculo de Ren_{hab} e do N_{tc}/N_t .

Assim sendo, foi utilizado uma bomba de calor ENERGIE AQUAPURA 12 INVERTER R 8-12 que irá colmatar todas as necessidades de preparação de AQS e de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 46, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS.

Quadro 46 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 11

Necessidade	Potência (kW)	COP	E_{ren} (kwh/ano)	Consumo de energia final (kWh/ano)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
AQS	8.25	4,82	1884,07	493,21	212	0,43
Aquecimento			4724,13	1236,68		

Através dos dados sintetizados no quadro anterior, é possível constatar que a utilização da bomba de calor para todas as necessidades energética irá traduzir-se num valor de Ren_{hab} bastante elevado, devido ao facto deste índice considerar no numerador do seu quociente as necessidades de preparação de AQS e aquecimento e, no denominador, apenas as necessidades energéticas de preparação de AQS. Constatase também que o valor de N_{tc}/N_t se encontra dentro dos limites regulamentares, pois a bomba de calor produz energia quase 4 vezes superior à energia consumida.

Assim sendo, neste cenário de simulação verifica-se que esta solução cumpre facilmente todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

De seguida, serão apresentados os cenários de simulação predominantemente para aquecimento, tal como foi efetuado anteriormente para os sistemas de aquecimento de preparação de AQS.

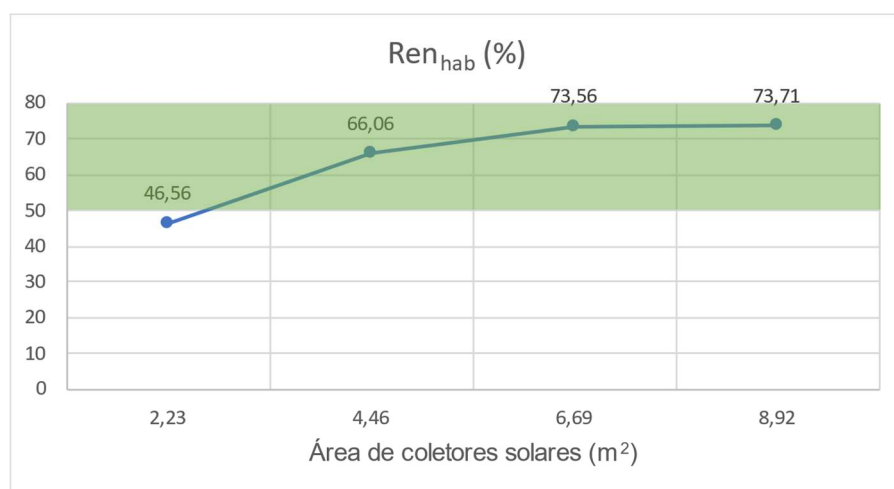
4.5.12 12º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + ELETRICIDADE (AQUECIMENTO)

Para a execução das simulações que contêm sistemas coletores solares térmicos, foi utilizada uma opção na folha de cálculo do SCE.ER diferente das utilizadas anteriormente. Enquanto que para as simulações de preparação de AQS, através de coletores solares térmicos, se utilizou o separador “Solar Térmico – AQS”, para efetuar as simulações de aquecimento ambiente foi utilizado o separador “Solar Térmico – AQS e Climatização”. Nesta opção, apenas é possível utilizar um sistema de apoio elétrico, o que resulta num menor número de simulações efetuadas.

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema coletor solar térmico em combinação com um termoacumulador, de forma a cumprir as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento e de preparação de AQS. Apresentam-se, no Quadro 47, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 31.

Quadro 47 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 12

Área de Coletores (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2,23	46,56	0,63
4,46	66,06	0,58
6,69	73,56	0,55
8,92	73,71	0,55



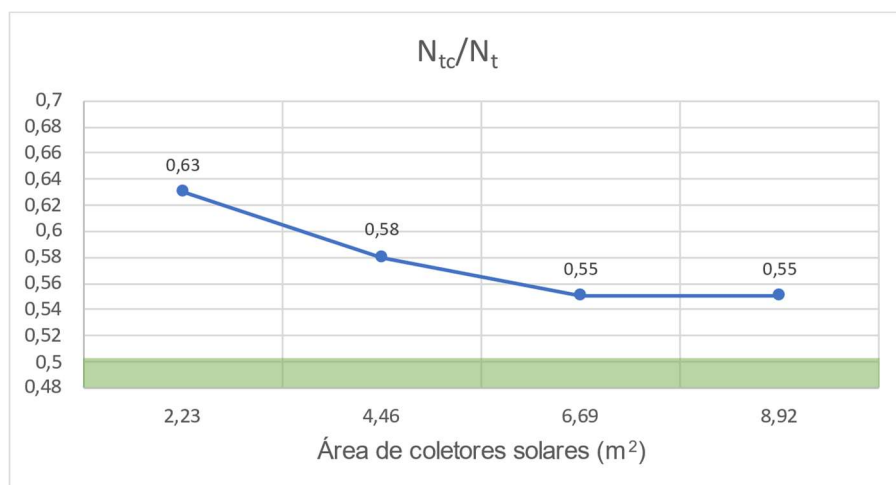


Figura 31 - Resultados obtidos do cenário 12

Semelhante aos cenários anteriores, que envolviam sistemas coletores solares térmicos, a partir de uma certa área de coletores torna-se desnecessário o aumento do seu número, pois ambos os índices apresentados nos gráficos anteriores estabilizam a partir da instalação do terceiro painel solar térmico. No entanto, devido à natureza logarítmica dos resultados deste cenário de simulação, constata-se que, realisticamente, esta solução nunca iria atingir o valor de $N_{tc}/N_t \leq 0,50$, embora cumpra os requisitos de Ren_{hab} de forma relativamente fácil, não cumprindo as necessidades da habitação.

4.5.13 13º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema coletor solar térmico em combinação com uma bomba de calor, de forma a cumprir as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento e preparação de AQS. Apresentam-se, no Quadro 48, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 32.

Quadro 48 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 13

Bomba de calor		Área de coletores solares (m²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
Potência (kW)	COP			
8250	4,82	2,23	183,57	0,48
		4,46	187,61	0,45
		6,69	189,16	0,44
		8,92	189,2	0,44

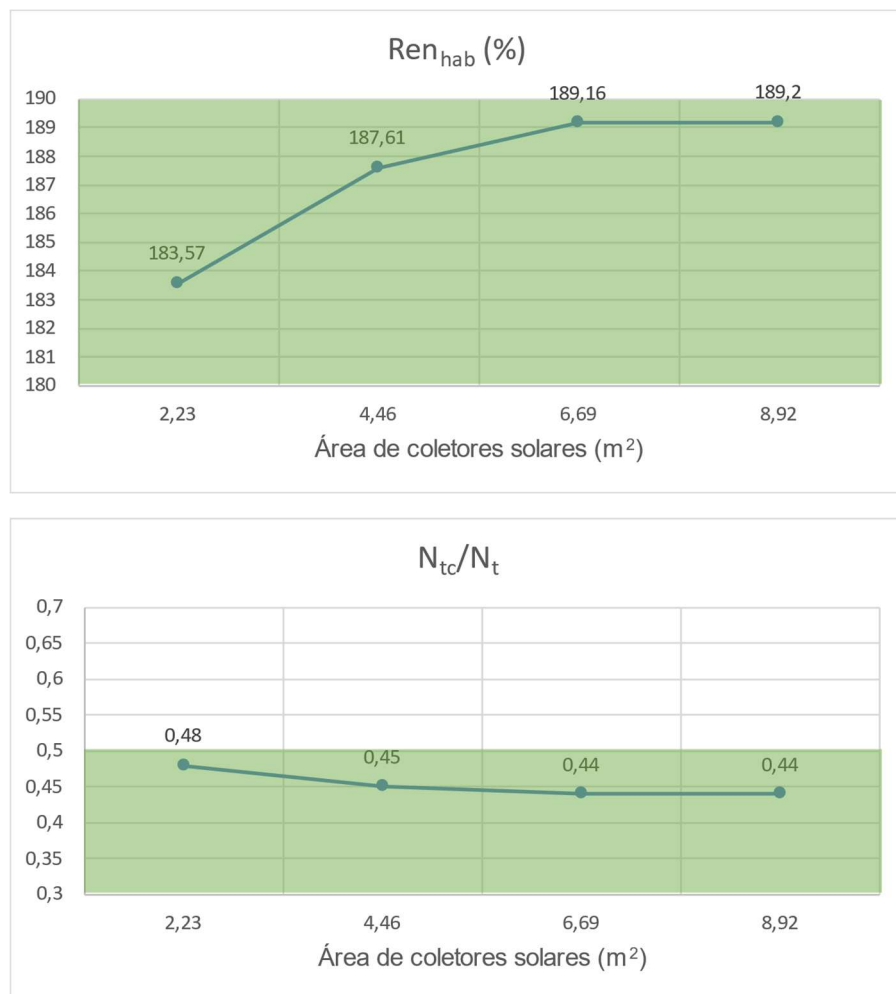


Figura 32 - Resultados obtidos do cenário 13

Novamente, e à semelhança dos cenários anteriores que envolvam sistemas coletores solares térmicos, a partir de uma certa área de coletores, torna-se desnecessário o aumento do seu número, pois ambos os índices apresentados nos gráficos anteriores estabilizam a partir da instalação do terceiro painel solar térmico. No entanto, ao contrário do cenário anterior, a utilização de uma bomba de calor, ao invés de um sistema elétrico menos eficiente, permite que o mesmo coletor solar térmico cumpra os requisitos regulamentares com uma área bastante inferior, necessitando apenas de um painel solar térmico. A notável eficiência da bomba de calor, cuja produção de energia supera em várias vezes a energia que consome, contrasta fortemente com o desempenho menos impressionante do sistema elétrico adotado anteriormente.

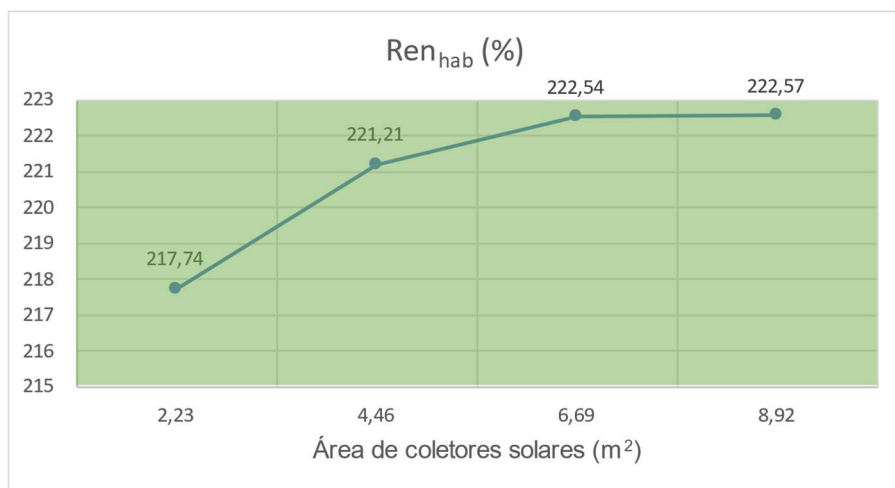
Assim sendo, neste cenário de simulação, constata-se que esta solução cumpre facilmente todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.5.14 14º CENÁRIO - COLETORES SOLARES + BOMBA DE CALOR (AQUECIMENTO) + BOMBA DE CALOR (AQS)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema coletor solar térmico em combinação com uma bomba de calor, de forma a cumprir as necessidades de aquecimento, em que a bomba de calor também contribui para a cumprimento das necessidades de preparação de AQS. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 49, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 33.

Quadro 49 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 14

Bomba de calor		Área de coletores solares (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
Potência (kW)	COP	2,23	217,74	0,36
8250	4,82	4,46	221,21	0,33
		6,69	222,54	0,32
		8,92	222,57	0,32



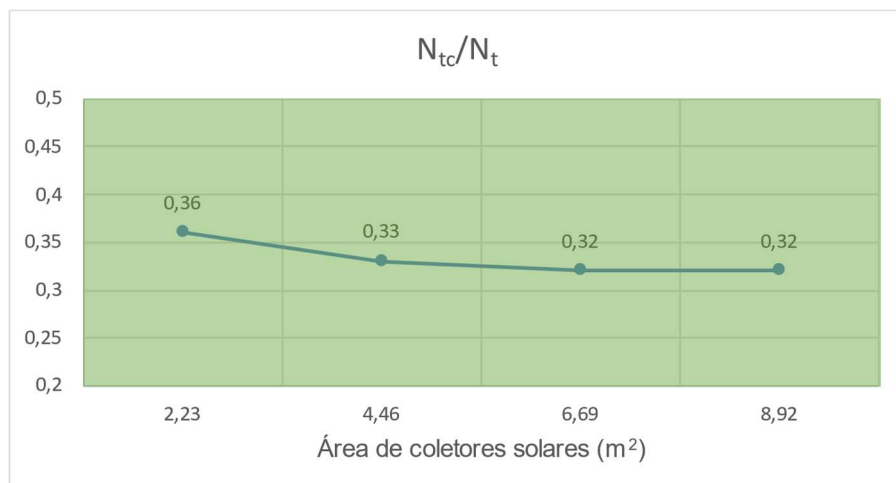


Figura 33 - Resultados obtidos do cenário 14

Tal como nos outros cenários anteriores que possuíam bombas de calor, verifica-se que esta combinação faz cumprir facilmente o valor de Ren_{hab} . Além disso, com a mesma bomba de calor a atuar para as necessidades de preparação de AQS e aquecimento, o valor de N_{tc}/N_t mostra-se bastante reduzido.

Assim sendo, neste cenário de simulação, constata-se que esta solução cumpre com facilidade as necessidades da habitação.

4.5.15 15º CENÁRIO – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (AQUECIMENTO)

De seguida, serão tratadas as simulações que contêm painéis fotovoltaicos. Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema solar fotovoltaico, de forma a cumprir as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de preparação de AQS e arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 50, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 34.

Quadro 50 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 15

Nº de Módulos (Painel Solar 160W 12V Policristalino ERA)	Área (m²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2	2,00	38,28	0,75
4	4,01	88,54	0,69
6	6,01	136,18	0,64
8	8,01	183,16	0,59

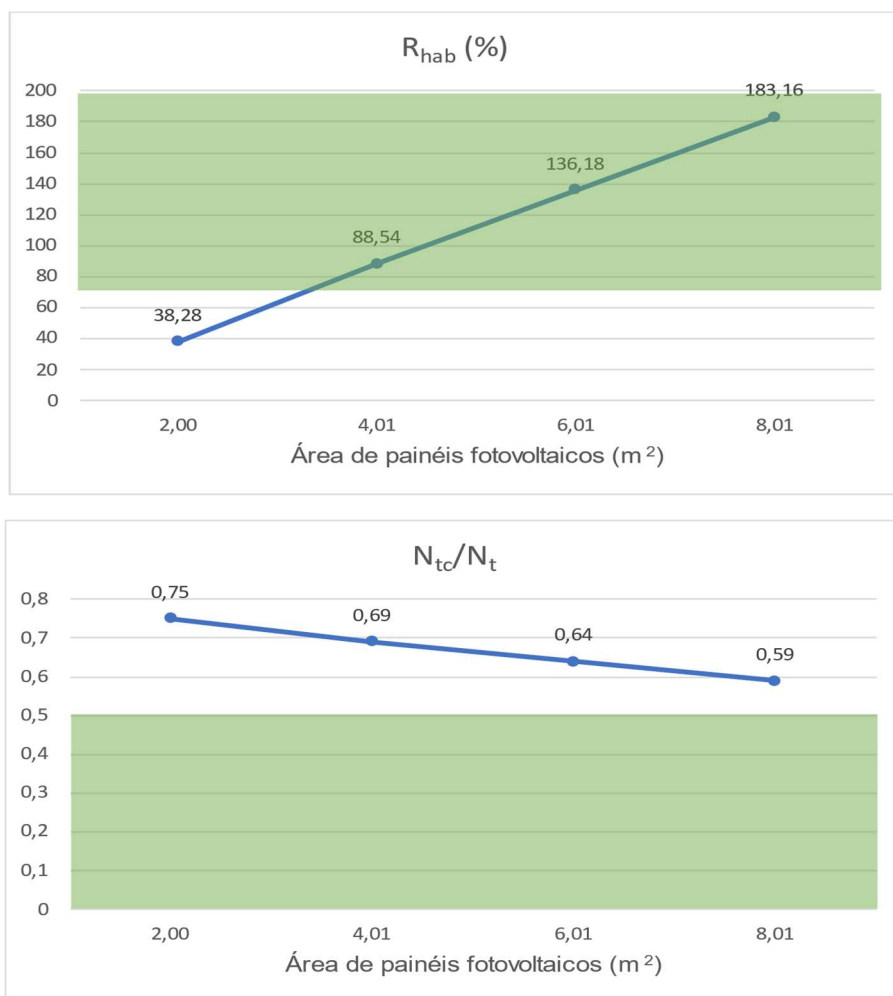


Figura 34 - Resultados obtidos do cenário 15

Tal como nos cenários que incluem painéis fotovoltaicos, os gráficos transmitem uma evolução praticamente linear. No entanto, ao contrário desses cenários, esta utilização de painéis fotovoltaicos mostra-se bastante superior no que se refere ao valor do índice Ren_{hab} . Isto pode dever-se ao facto de as necessidades de aquecimento serem bastante superiores às necessidades de preparação de AQS, e o índice Ren_{hab} apenas ter em conta, em denominador, as necessidades de preparação de AQS.

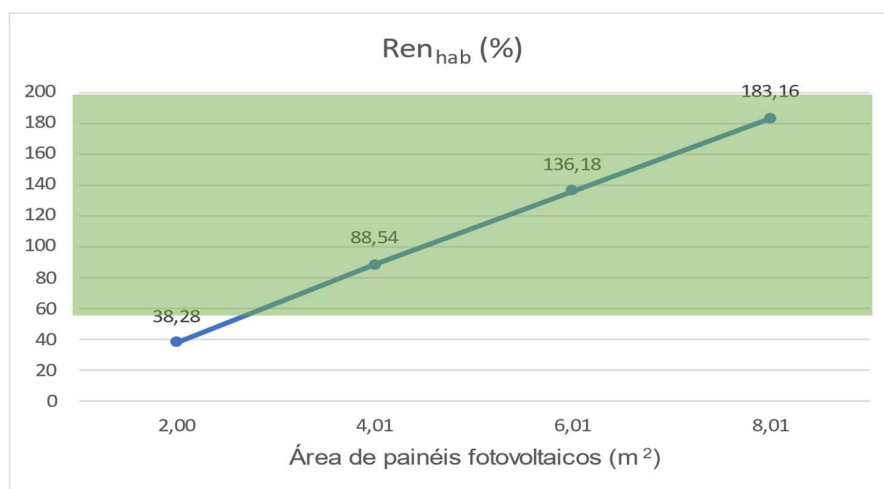
Ainda assim, este cenário não cumpre todos os requisitos com facilidade. Será possível que, com um número elevado de painéis fotovoltaicos, os valores regulamentares de N_{tc}/N_t sejam cumpridos.

4.5.16 16º CENÁRIO - PAINÉIS FOTOVOLTAICOS + GÁS NATURAL (AQUECIMENTO)

Os próximos quadros e gráficos apresentam os resultados obtidos para o sistema solar fotovoltaico em combinação com uma caldeira a gás natural de rendimento de 98,7%, de forma a cumprir as necessidades de aquecimento. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de preparação de AQS e arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 51, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS, e a sua representação gráfica na Figura 35.

Quadro 51 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 16

Nº de Módulos (Painel Solar 160W 12V Policristalino ERA)	Área (m ²)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
2	2,00	38,28	0,68
4	4,01	88,54	0,61
6	6,01	136,18	0,54
8	8,01	183,16	0,47



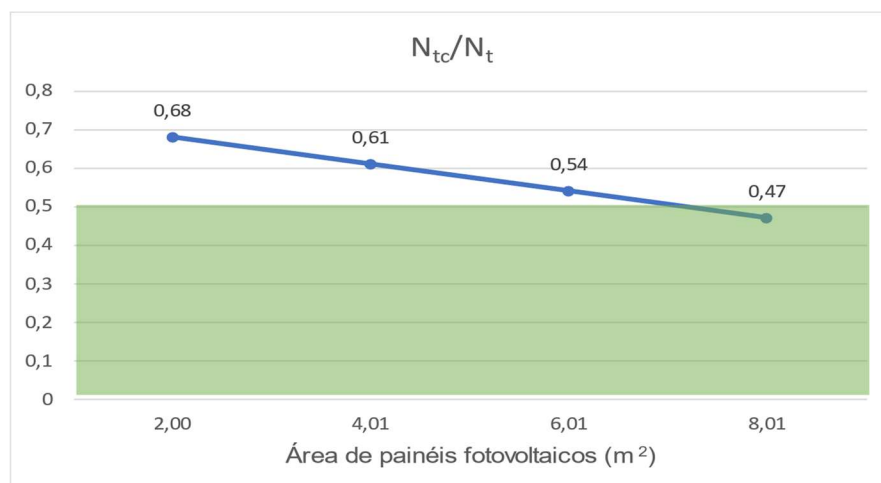


Figura 35 - Resultados obtidos do cenário 16

Este cenário assemelha-se bastante ao anterior, com a diferença a residir na introdução de uma caldeira a gás natural a auxiliar a produção de energia para aquecimento. Com a adição deste equipamento, será possível dimensionar uma combinação com um sistema solar fotovoltaico, utilizando um menor número de painéis, sendo necessários um mínimo de 8 painéis fotovoltaicos.

Sendo assim, este cenário cumpre todos os requisitos de Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t , caso a cobertura possua uma área útil suficiente para a instalação deste sistema e consiga suportar o número necessário de painéis fotovoltaicos.

4.5.17 17º CENÁRIO - BIOMASSA (AQUECIMENTO) + GÁS NATURAL (AQS)

Este cenário será exposto de forma semelhante ao cenário 11. Isto deve-se ao facto de a folha de cálculo do ITECONS, tal como acontece com as bombas de calor, após a inserção de dados técnicos base do recuperador de calor em equação, efetuar os cálculos de energia renovável produzida total (E_{ren}) e de consumo de energia final, culminando no cálculo de Ren_{hab} e do N_{tc}/N_t .

Assim sendo, foi utilizado um recuperador de calor tipo PROTEU Miami para colmatar as necessidades de aquecimento, com a combinação de uma caldeira a gás natural com rendimento de 98,7%, de forma a colmatar todas as necessidades de preparação de AQS. É utilizado um sistema por defeito definido pelo ITECONS para colmatar as necessidades de arrefecimento. Apresentam-se, no Quadro 52, os resultados obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo do ITECONS.

Quadro 52 - Valores Ren_{hab} e de N_{tc}/N_t do cenário 17

Necessidade	Equipamento	Potência (kW)	Rendimento	E_{ren} (kWh/ano)	Consumo de energia final (kWh/ano)	Ren_{hab} (%)	N_{tc}/N_t
AQS	Caldeira a gás natural	24	0,987	-	2401,3	283,05	0,18
Aquecimento	Biomassa	8,5	0,88	6796,83	6796,83		(A+)

Através dos dados sintetizados no quadro anterior, é possível verificar que, com apenas a utilização de um recuperador de calor para colmatar as necessidades energética de aquecimento, o valor de Ren_{hab} mostra-se bastante elevado, e o valor de N_{tc}/N_t dentro dos limites regulamentares, devido à produção elevada de energia por parte do recuperador de calor. Esta solução aparenta ser energeticamente a mais eficiente, devido a ser a única, até este momento da dissertação, a ser caracterizada com uma classe energética A+.

Assim sendo, neste cenário de simulação, constata-se que esta solução cumpre facilmente todas as necessidades de energia e eficiência energética da habitação.

4.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a apresentação dos resultados das simulações de todas as combinações descritas anteriormente, apresenta-se, de seguida, um quadro síntese, demonstrando a facilidade ou dificuldade de cumprimento das restrições regulamentares de necessidades de energia renovável e exigência de classe energética.

Quadro 53 - Análise heurística dos cenários estudados

CENÁRIO	F	C	NC
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

Em que:

- **F** – Cenário cumpre facilmente as necessidades de desempenho e eficiência energética da habitação em estudo;
- **C** - Cenário poderá cumprir as necessidades de desempenho e eficiência energética da habitação em estudo, dependendo de certas condições.
- **NC** – Cenário não cumpre realisticamente as necessidades de desempenho e eficiência energética da habitação em estudo.

4.7 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES A RETIRAR

Após uma análise detalhada dos cenários simulados para efeitos deste caso de estudo, foi possível retirar as seguintes conclusões:

1. Dos dezassete cenários simulados através das folhas de cálculo do SCE.ER e do ITECONS, 17,6% dos casos não cumprem, realisticamente, as necessidades de desempenho e eficiência energética da habitação em estudo, 41,2% dos cenários poderão cumprir as necessidades de desempenho e eficiência energética, mediante certas condições, e 41,2% das situações cumprem facilmente as necessidades de desempenho e eficiência energética da habitação em estudo;
2. As bombas de calor mostram-se mais eficazes, quanto maior é a necessidade de energia. Isto verifica-se, principalmente, no desempenho das bombas de calor utilizadas para preparação de AQS, cujas necessidades de energia são bastante inferiores às de climatização;
3. Os painéis fotovoltaicos revelam ser mais eficazes quando utilizados para aquecimento do que para preparação de AQS;
4. A implementação de soluções que introduzem recuperadores de calor resulta no fácil cumprimento das restrições de eficiência energética.

4.8 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Ainda que tivesse sido possível chegar a soluções bastante viáveis de forma a responder às necessidades energéticas da moradia, este estudo revela possuir certas limitações.

Primeiramente, em termos de simplificação das simulações dos diversos cenários estudados, foi adotada a solução por defeito do software do ITECONS para o equipamento que irá assegurar as necessidades energéticas de arrefecimento. Como a solução por defeito, implementada automaticamente pela folha de cálculo do ITECONS, se mostra pouco eficiente e com grande consumo de energia, será possível inferir que os resultados sofreriam alterações positivas se se aplicasse um equipamento que incorporasse uma solução mais eficiente e de consumo inferior ao considerado.

Além disso, foram utilizados exemplos de marcas de forma a ser possível obter os resultados acima mencionados. Em Portugal, encontram-se disponíveis várias marcas para cada sistema implementado nos cenários explorados. A mudança de marca e gama dos dispositivos influenciam os resultados obtidos. Encontrando-se um equipamento mais energeticamente eficiente, os resultados a obter apresentariam valores de desempenho superiores aos utilizados neste caso de estudo.

A localização e a tipologia da moradia em estudo (T3, localizada numa zona climática I1/V2) foram aspetos determinantes para os resultados obtidos nos diversos cenários.

No que se refere à localização, as restrições regulamentares diferem em cada zona climática, sendo mais ou menos severas dependendo da zona em que se insere. Paralelamente, com a alteração dos limites regulamentares face às zonas climáticas onde a moradia se pode localizar, a constituição dos seus elementos estruturais (elementos opacos, em contacto com o solo, envidraçados, entre outros) teria de ser alterada de forma a responder às novas limitações.

Adicionalmente, com a alteração da tipologia da moradia, o consumo de AQS seria também alterado, levando a uma maior ou menor necessidade energética, dependendo do aumento ou diminuição do número de ocupantes, respetivamente. Esta alteração de necessidade energética para preparação de AQS irá afetar os resultados dos cenários acima estudados.

5

CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÃO

Após a análise dos dados investigados, verifica-se que tanto Espanha como Portugal possuem exigências bem definidas, de forma a cumprir as metas definidas pela União Europeia, mesmo que sejam diferentes entre si. Um exemplo destas diferenças trata-se das abordagens diferentes de Portugal e Espanha no que se refere à produção da certificação energética dos edifícios, contabilizando de forma distinta os valores indicativos de eficiência energética.

No que toca ao cálculo dos parâmetros estudados neste capítulo e de forma a efetuar um estudo mais aprofundado do edifício, os softwares reconhecidos pela ADENE mostraram-se bastante intuitivos durante todo o trabalho de cálculo. A folha de cálculo do ITECONS possui a vantagem de se poder fazer variar aspetos do edifício, tal como a envolvente ou o tipo/número de equipamentos de energia renovável a utilizar, de forma a estudar a melhor solução como resposta às necessidades energéticas do edifício.

De seguida foi efetuada uma análise geral às fontes de energia renováveis utilizadas em edifícios de habitação. Verifica-se que a escolha da fonte de energia renovável mostra-se bastante flexível às necessidades da habitação.

Ao longo dos anos, Portugal tem evoluído o seu parque edificado de edifícios de habitação numa trajetória mais energeticamente eficiente, devido à imposição de requisitos de desempenho energético, tanto para novos edifícios, como para edifícios sujeitos a grandes renovações.

A moradia em estudo possui uma envolvente com um adequado desempenho energético, em linha com o cenário atual da construção em Portugal. Contudo, é importante referir que esta moradia, se localizada em zonas climáticas distintas da estudada, possivelmente não cumpriria alguns requisitos regulamentares, uma vez que estes dependem da zona climática onde o edifício se insere. Para dar cumprimento a estes requisitos regulamentares, seria necessário proceder a alterações na composição da sua envolvente.

Em suma, a aplicação de sistemas de energias renováveis é imperativa. Trata-se de uma forma bastante eficaz para a resposta das exigências de desempenho energético, uma vez que estes impactam significativamente as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{ic}). Além disso, estes sistemas são necessários para dar resposta à necessidade de 50% da energia primária total ser de origem renovável. A envolvente do edifício mostra-se também importante, devido ao facto de estar diretamente relacionada com as necessidades de energia primária para aquecimento (N_{ic}) e para arrefecimento (N_{vc}).

5.2 PERSPETIVAS FUTURAS

Ao longo dos anos, as restrições regulamentares de desempenho energético e de conforto térmico têm vindo a ser ajustadas, de forma a responder à realidade que o país e a União Europeia atravessa. Assim sendo, recomenda-se a realização de estudos de sensibilidade, semelhantes ao realizado, para outras tipologias de habitação e zonas climáticas. Tipologias de habitação e zonas climáticas diferentes iram traduzir-se em respostas às necessidades energéticas diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APREN. (2023). *Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental em 2023*. Obtido em 12 de Março de 2023, de <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- APREN. (2023). *Energias Renováveis*. Obtido em 13 de Março de 2023, de <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/destaques>
- Calificación de la eficiencia energética de los edificios*. (novembro de 2015). Obtido de Gobierno de España - Ministerio de Fomento: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Documentos/Reconocidos/normativamodelosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>
- Carneiro, J. (2010). *Electromagnetismo B Módulos Fotovoltaicos Características e associações*. Universidade do Minho, Departamento de Física, Minho.
- Casa Eficiente 2020. (2023). *Sobre o programa*. Obtido em 24 de Março de 2023, de <https://casaeficiente2020.pt/sobre-o-programa/>
- Cordeiro de Almeida, P. A. (2021). NZEB - Implicações da Portaria n.º 98/2019. (R. A. Porto, Ed.) Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/135132>
- DECO Pro Teste. (2021). *Como escolher o sistema solar térmico*. Obtido em 2023 de Março de 23, de <https://www.deco.proteste.pt/casa-energia/agua/guia-de-compras/como-escolher-sistema-solar-termico>
- Decreto-lei 251/2015, de 25 de Novembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (2015). *Diário da República: I Série, n.º 231*. Obtido de <https://dre.tretas.org/dre/2101134/decreto-lei-251-2015-de-25-de-novembro>
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, Presidência do Conselho de Ministros. (2020). *Diário da República: I série, n.º 237*.
- Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de Novembro da Presidência do Conselho de Ministros. (2021). *Diário da República: I série n.º 225*. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2021/11/22500/0000600015.pdf>
- Decreto-Lei n.º 118/2013. (2013). *Diário da República, 1.ª série, n.º 159*. Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/118-2013-499237>
- Decreto-Lei n.º 194/2015. (2015). *Diário da República: I série, N.º 179*. Obtido de <http://pl.proprietarios.pt/leis/arquivo/DLei194-14set2015.pdf>
- Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril. (2015). *Diário da República: 1º Suplemento: I Série, n.º 84*. Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2015-70852661-202277906>
- Decreto-Lei n.º 78/2006 do Ministério da Economia e da Inovação. (2006). *Diário da República: I Série-A*. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2006/04/067a00/24112415.pdf>

- Decreto-Lei n.º 79/2006 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2006). *Diário da República: I SÉRIE-A, n.º 67*. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2006/04/067a00/24162468.pdf>
- Decreto-Lei n.º 80/2006 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2006). *Diário da República: Série 1-A, n.º 67*. Obtido de <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2006/04/067a00/24682513.pdf>
- Despacho 6476-E/2021, de 1 de Julho Ambiente e Ação Climática - Direção-Geral de Energia e Geologia. (201). *Diário da República: 1º Suplemento, II Série, n.º 126*. Obtido de <https://dre.tretas.org/dre/4575139/despacho-6476-E-2021-de-1-de-julho>
- Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho, Ambiente e Ação Climática - Direção-Geral de Energia e Geologia. (2021). *Diário da República, 2.ª série, n.º 126*. Obtido de <https://files.dre.pt/2s/2021/07/126000002/0006600316.pdf>
- Direção Geral de Energia e Geologia. (2020). *Guia de utilização do software SCE.ER*. Obtido em 10 de Maio de 2023, de <https://www.dgeg.gov.pt/media/b5rppj3f/i017510.pdf>
- Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho. (2018). *Jornal Oficial da União Europeia*. Obtido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- Documento Básico HE Ahorro de energía. (2022). Obtido de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>
- EDP. (2020). *Como funciona um painel fotovoltaico?* Obtido de <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/>
- Energias Madeira. (2023). *O que é um sistema solar fotovoltaico*. Obtido em 20 de Abril de 2023, de <https://energiasmadeira.pt/como-funciona/#Kits>
- ENERGIE. (2023). *Produtos*. Obtido em 16 de Maio de 2023, de <https://energie.pt/produtos/>
- ERA Solar. (2019). *Panel Solar 160W 12V Policristalino ERA*. Obtido em 15 de Março de 2023, de https://cdn.autosolar.es/pdf/Datasheet_ESPMC160.pdf
- European Commission. (2018). *Energy performance of buildings directive*. Obtido em 3 de Março de 2023, de https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- European Commission. (2021). *Nearly zero-energy buildings*. Obtido em 4 de Março de 2023, de https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en
- EUROSTAT - Statistics Explained. (2022). *Energy use in households in 2020*. Obtido em 3 de Março de 2023, de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220617-1>
- Explained, EUROSTAT - Statistics. (2022). *Energy consumption in households*. Obtido em 3 de Março de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households#Energy_consumption_in_households_by_type_of_end-use

- Instalador. (2020). *Solar Térmico: sistemas e sua constituição*. Obtido de <https://www.oinstalador.com/Artigos/265418-Solar-Termico-sistemas-e-sua-constituicao.html>
- ITECONS. (2023). *Plataforma Para a Eficiência Energética de Edifícios*. Obtido de <https://www.itecons.uc.pt/p3e/index.php>
- Leroy Merlin. (2023). *Caldeira a gás VULCANO LIFE2 ZWA24-3K N*. Obtido em 20 de Abril de 2023, de <https://www.leroymerlin.pt/produtos/aquecimento-e-climatizacao/aquecimento-central/caldeiras/caldeiras-a-gas/caldeira-a-gas-vulcano-life2-zwa24-3k-n-82063331.html>
- Pina dos Santos , C. A., & Matias , L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios* (1ª ed.). LNEC. doi:9789724920658
- PORDATA - Estatísticas sobre Portugal e Europa. (2021). *O que são NUTS?* Obtido em 18 de Junho de 2023, de <https://www.pordata.pt/O+que+sao+NUTS>
- Portaria n.º 138/2021 de 1 de julho, Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação. (2021). *Diário da República: 1.ª Série, n.º126*. Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>
- Portaria n.º 97/2019, de 2 de Abril. (2019). *Diário da República, I série — N.º 65*. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2019/04/06500/0181601818.pdf>
- Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril, Ambiente e Transição Energética. (2019). *Diário da República: 1.ª Série, n.º 65*. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2019/04/06500/0181601818.pdf>
- PROTEU. (2023). *Recuperador de calor a lenha Miami*. Obtido em 3 de Abril de 2023, de <https://proteu.pt/produto/miami/#caracteristicas>
- Real Decreto 450/2022 do Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2022). *Boletín oficial del estado*. Obtido de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>
- Real Decreto 450/2022 do Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2022). *Boletín Oficial del Estado, n.º142*. Obtido de <https://www.boe.es/boe/dias/2022/06/15/pdfs/BOE-A-2022-9848.pdf>
- Real Decreto 56/2016 do Ministerio de Inustria, Energía y Turismo. (2016). *Boletín Oficial del Estado, n.º38*. Obtido de <https://www.boe.es/boe/dias/2016/02/13/pdfs/BOE-A-2016-1460.pdf>
- República Portuguesa - Secretaria-Geral do Ambiente. (2023). *Programa de Apoio a Condomínios Residenciais*. Obtido de <https://www.sgambiente.gov.pt/pt/programa-de-apoio-a-condominios-residenciais-04-c13-i01>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º53/2020, Presidências do Conselho de Ministros. (2020). *Diário da República: 1ª série, n.º133*. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2020/07/13300/0000200158.pdf>
- The Solar Keymark - CEN Keymark Scheme. (2021). *Database*. Obtido em 10 de Março de 2023, de <https://solarkeymark.eu/database/>

The Solar Keymark - CEN Keymark Scheme. (2021). *DELPASO SOLAR, S.L.* Obtido em 11 de Março de 2023, de http://www.solarkeymark.nl/DBF/PDF_Downloads/DS_2079.pdf

Vulcano. (2023). *Termoacumulador Elétrico NaturaAqua*. Obtido de <https://www.vulcano.pt/ocs/vulcano/termoacumulador-eletrico-naturaaqua-1098465-p/>

ANEXO I

PROJETO DE ARQUITETURA

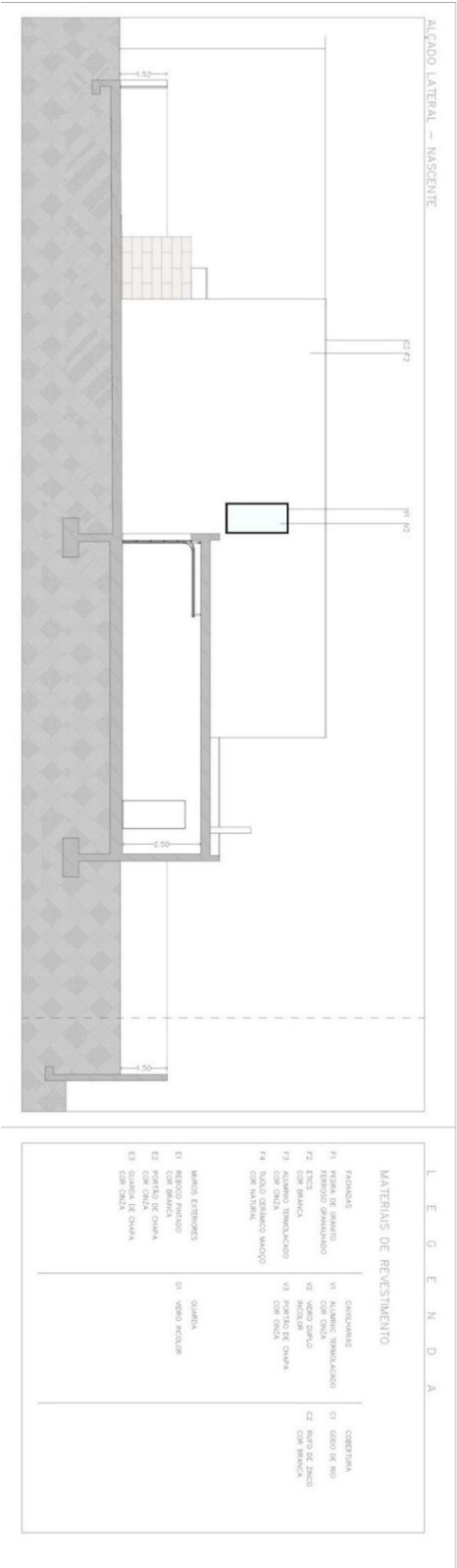


Figura 36 - Alçado Lateral - Nascente

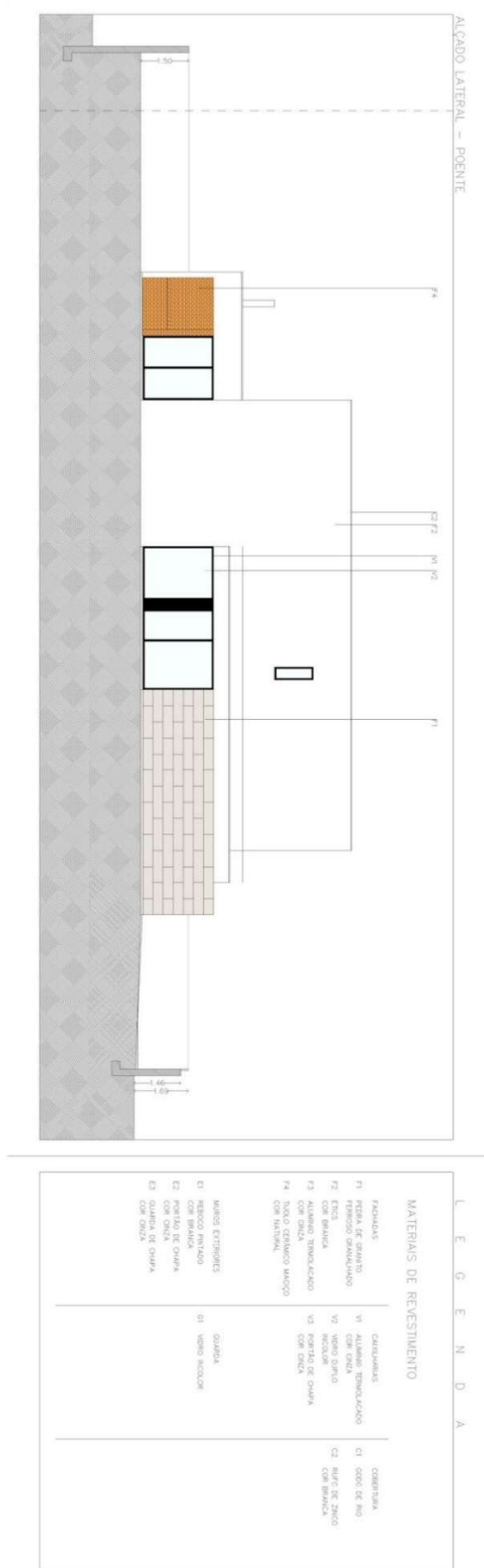


Figura 37 - Alçado Lateral - Poente

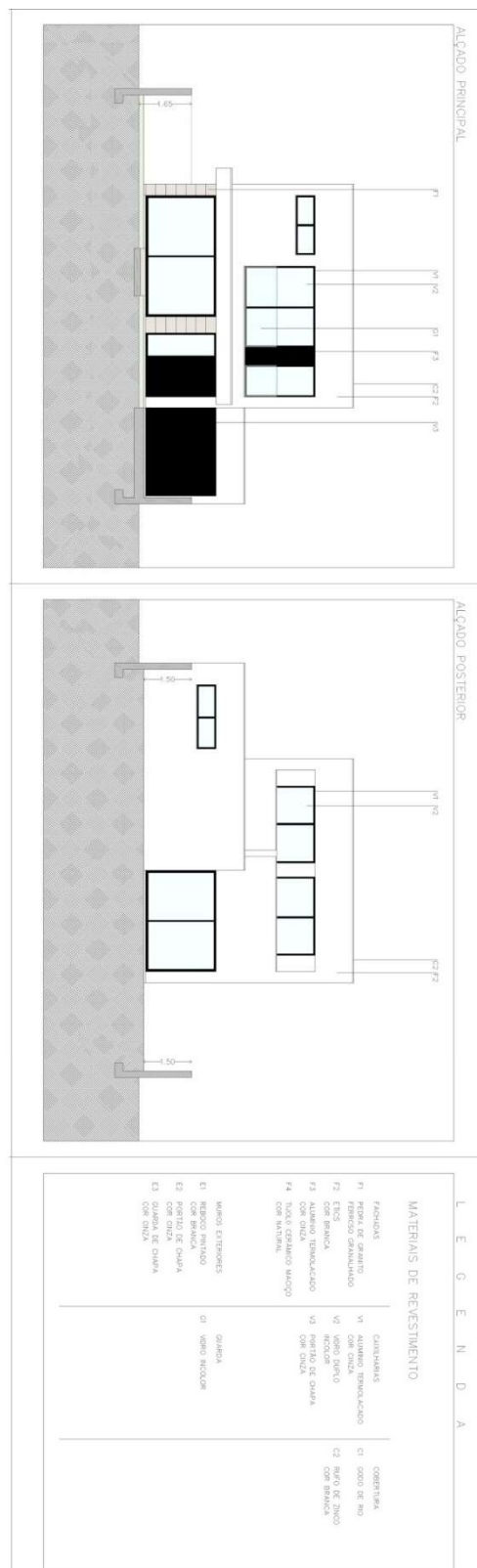


Figura 38 - Alçado Principal e Alçado Posterior

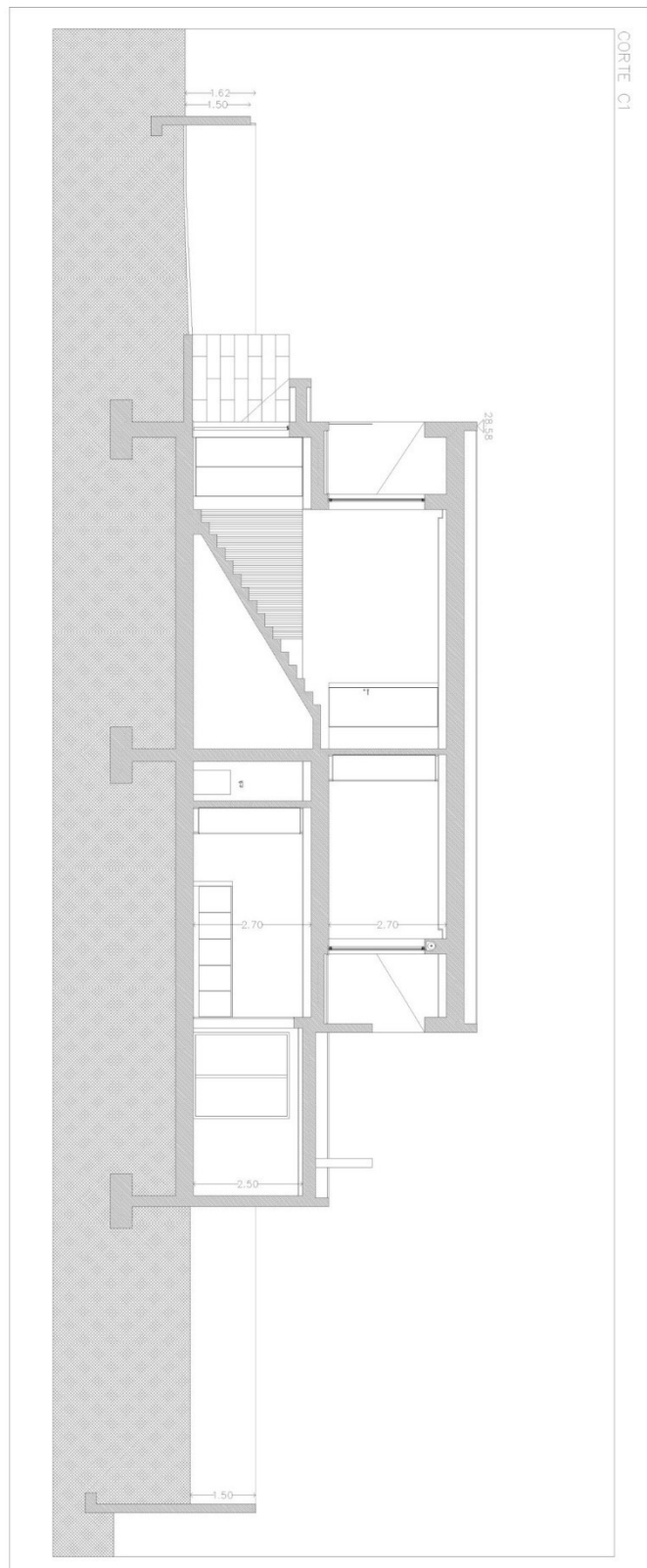


Figura 39 - Corte C1

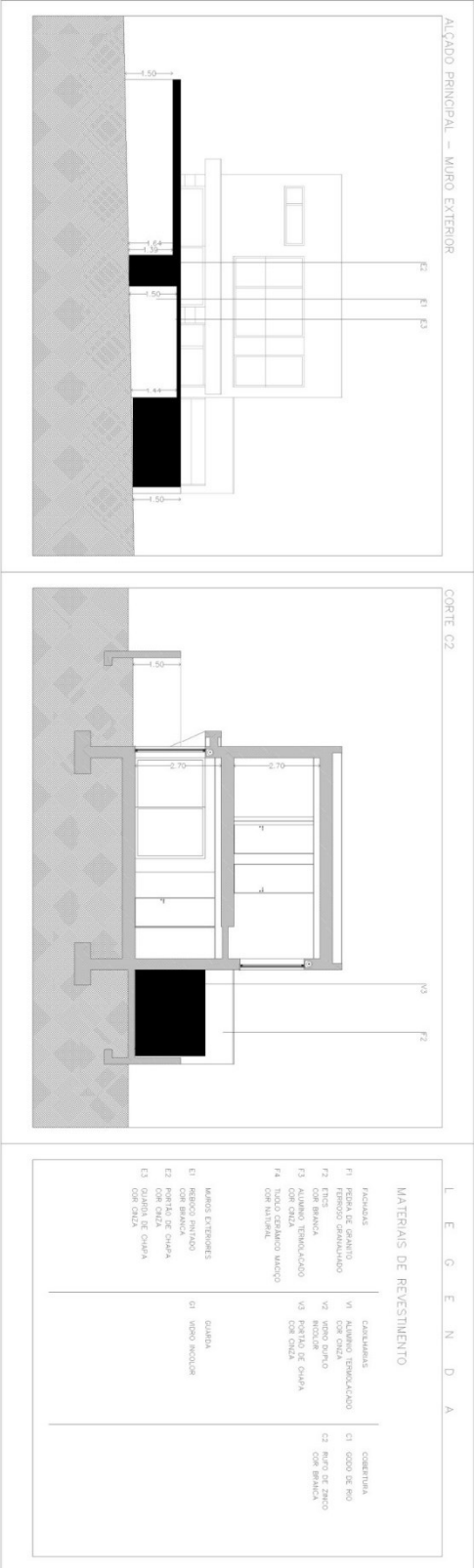


Figura 40 - Alçado Principal - Muro exterior e Corte C2

ANEXO II

COMPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE

PDE1 – Parede simples constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m de espessura, pano de alvenaria de bloco térmico com 0,25m, isolante térmico (*poliestireno extrudido - EPS*) com 0,06m de espessura, com revestimento exterior em pedra de granito com 0,02m de espessura, à cor natural.

Quadro 54 - Composição do elemento estrutural PDE1

PDE1 - PAREDE EXTERIOR	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Pano de alvenaria de bloco térmico	0,25	-	0,630
Poliestireno extrudido (EPS)	0,06	0,037	1,622
Pedra granito	0,02	2,80	0,007
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi	Exterior, Rse	
	0,13	0,04	
U = 1 / (Rse+ΣRj+Rsi)	0,40		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,50		

PDE2 – Parede simples constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m de espessura, pano de alvenaria de bloco térmico com 0,25m, com revestimento exterior em Capoto (*poliestireno extrudido - EPS*) com 0,06m de espessura, com acabamento final à cor clara.

Quadro 55 - Composição do elemento estrutural PDE2

PDE2 - PAREDE EXTERIOR	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Pano de alvenaria de bloco térmico	0,25	-	0,630
Poliestireno extrudido (EPS)	0,06	0,037	1,622
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi		Exterior, Rse
	0,13		0,04
U = 1 / (Rse+ΣRj+Rsi)	0,40		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,50		

PTPPDE1/2 PILAR + VIGA – PE1 – Ponte térmica plana constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m de espessura, pano de betão armado com 0,35m, isolante térmico (*poliestireno extrudido - EPS*) com 0,06m de espessura, com revestimento exterior em pedra de granito com 0,02m de espessura, à cor natural.

Quadro 56 - Composição do elemento estrutural PTPPDE1/2

PTPPDE1/2 PILAR +VIGA – PE1	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Pano de betão armado	0,35	2,00	0,175
Poliestireno extrudido (EPS)	0,06	0,037	1,622
Pedra granito	0,02	2,80	0,007
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi		Exterior, Rse
	0,13		0,04
U = 1 / (Rse+ΣRj+Rsi)	0,49		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,90		

PTPPDE3 PILAR – PE2 – Ponte térmica plana constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m de espessura, pano de betão armado com 0,25m, com revestimento exterior em Capoto (*poliestireno extrudido - EPS*) com 0,06m de espessura, com acabamento final à cor clara.

Quadro 57 - Composição do elemento estrutural PTPPDE3

PTPPDE3 PILAR – PE2	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Pano de betão armado	0,25	2,00	0,125
Poliestireno extrudido (EPS)	0,06	0,037	1,622
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi	Exterior, Rse	
	0,13	0,04	
U = 1 / (Rse+ΣRj+Rsi)	0,50		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,90		

PTPPDE4 CAIXA DE ESTORE – Ponte térmica plana constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m de espessura, caixa de estores em EPS, com revestimento exterior em Capoto (poliestireno extrudido - EPS) com 0,06m de espessura, com acabamento final à cor clara.

Quadro 58 - Composição do elemento estrutural PTPPDE4

PTPPDE4 CAIXA DE ESTORE	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Caixa de estores EPS	0,03	0,036	0,833
Caixa de ar	0,05	-	-
Caixa de estores EPS	0,03	0,036	-
Poliestireno extrudido (EPS)	0,06	0,037	-
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi		Interior, Rsi
	0,13		0,13
U = 1 / (Rsi+ΣRj+Rsi)	0,86		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,90		

Quadro 59 – Tabela síntese de dimensões e U's das paredes exteriores e pontes térmicas planas

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Área (m²)	Cor	Fachada Ventilada ?	U (W/m². °C)	Área Efetiva (m²)	U _{ref} (W/m². °C)	U _{máx} (W/m². °C)
PDE1	Sudeste	0,21	Clara	Não	0,40	0,21	0,50	0,50
PTPPDE1	Sudeste	0,50	Clara	Não	0,49	0,50	0,50	0,90
PTPPDE2	Sudeste	0,66	Clara	Não	0,49	0,66	0,50	0,90
PTPPDE4	Sudeste	1,37	Clara	Não	0,86	1,37	0,50	0,90
PDE1	Sudoeste	10,38	Clara	Não	0,40	10,38	0,50	0,50
PTPPDE1	Sudoeste	1,25	Clara	Não	0,49	1,25	0,50	0,90
PDE2	Noroeste	4,50	Clara	Não	0,40	4,50	0,50	0,50
PTPPDE3	Noroeste	0,50	Clara	Não	0,50	0,50	0,50	0,90
PTPPDE4	Noroeste	2,40	Clara	Não	0,86	2,40	0,50	0,90
PDE2	Nordeste	41,06	Clara	Não	0,40	41,06	0,50	0,50
PTPPDE3	Nordeste	2,89	Clara	Não	0,50	2,89	0,50	0,90
PTPPDE4	Nordeste	0,30	Clara	Não	0,86	0,30	0,50	0,90
PDE2	Sudeste	4,46	Clara	Não	0,40	4,46	0,50	0,50

PTPPDE4	Sudeste	1,62	Clara	Não	0,86	1,62	0,50	0,90
PDE2	Sudoeste	34,70	Clara	Não	0,40	34,70	0,50	0,50
PTPPDE3	Sudoeste	3,70	Clara	Não	0,50	3,70	0,50	0,90
PTPPDE4	Sudoeste	1,37	Clara	Não	0,86	1,37	0,50	0,90

COB.1 – Cobertura plana constituída por revestimento interior em placas de gesso cartonado com uma caixa de ar, sob uma laje aligeirada com 0,28m de espessura, blocos em betão leve com base maior que 30 e 2 fiadas de furos ($R_{asc}=0,30m2.°C/W$ e $R_{desc}=0,33m2.°C/W$), betonilha de regularização com 0,10m, isolante térmico (*poliestireno extrudido - XPS*) com 0,08m, membranas e geotêxtil, com revestimento exterior em godo com 0,10m de espessura, à cor natural.

Quadro 60 - Composição do elemento estrutural COB1

COB.1 – COBERTURA PLANA	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso cartonado interior	0,013	0,25	0,052
Caixa de ar	0,20	-	0,160 / 0,230
Laje aligeirada	0,28	-	0,300 / 0,330
Betonilha regularização	0,10	0,33	0,303
Poliestireno extrudido (XPS)	0,08	0,037	2,162
Membranas e geotêxtil	0,002	0,23	0,009
Camada de godô exterior	0,10	2,00	0,050
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Vertical ascendente	Interior, Rsi	Exterior, Rse	
	0,10 / 0,17	0,04	
U = 1 / (Rse+ΣRj+Rsi)	0,31 / 0,29		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,40		

COB.2 – Cobertura em terraço constituída por revestimento interior em placas de gesso cartonado com caixa de ar, sob uma laje aligeirada com 0,24m de espessura, blocos em betão leve com base maior que 30 e 2 fiadas de furos ($R_{asc}=0,30m^2 \cdot ^\circ C/W$ e $R_{desc}=0,33m^2 \cdot ^\circ C/W$), betonilha de regularização com 0,05m, isolante térmico (*poliestireno extrudido - XPS*) com 0,06m, membranas e geotêxtil, camada de enchimento com 0,05m de espessura, com revestimento exterior em deck de madeira, à cor natural.

Quadro 61 - Composição do elemento estrutural COB2

COB.2 – COBERTURA PLANA	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso cartonado interior	0,013	0,25	0,052
Caixa de ar	0,20	-	0,160 / 0,230
Laje aligeirada	0,24	-	0,300 / 0,330
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,152
Poliestireno extrudido (XPS)	0,06	0,037	1,622
Membranas e geotêxtil	0,002	0,23	0,009
Camada de enchimento	0,05	0,33	0,152
Deck de madeira exterior	-	-	-
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Vertical ascendente	Interior, Rsi	Interior, Rsi	
	0,10 / 0,17	0,10 / 0,17	
U = 1 / (Rsi+ΣRj+Rsi)	0,38 / 0,35		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,40		

PTPCBE1 VIGA 1 – COB:2 – Ponte térmica plana constituída por revestimento interior em placas de gesso cartonado com caixa de ar, sob um pano de betão armado com 0,35m, betonilha de regularização com 0,05m, isolante térmico (*poliestireno extrudido - XPS*) com 0,06m, membranas e geotêxtil, camada de enchimento com 0,05m de espessura, com revestimento exterior em deck de madeira, à cor natural.

Quadro 62 - Composição do elemento estrutural PTPCBE1

PTPCBE1 VIGA 1 – COB:2	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso cartonado interior	0,013	0,25	0,052
Caixa de ar	0,10	-	0,160 / 0,220
Pano de betão armado	0,35	2,00	0,175
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,152
Poliestireno extrudido (XPS)	0,06	0,037	1,622
Membranas e geotêxtil	0,002	0,23	0,009
Camada de enchimento	0,05	0,33	0,152
Deck de madeira exterior	-	-	-
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Vertical ascendente	Interior, Rsi	Interior, Rsi	
	0,10 / 0,17	0,10 / 0,17	
U = 1 / (Rsi+ΣRj+Rsi)	0,40 / 0,37		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,90		

PTPCBE2 VIGA 2 – COB:2 – Ponte térmica plana constituída por revestimento interior em placas de gesso cartonado, sob um pano de betão armado com 0,45m, betonilha de regularização com 0,05m, isolante térmico (*poliestireno extrudido - XPS*) com 0,06m, membranas e geotêxtil, membranas e geotêxtil, camada de enchimento com 0,05m de espessura, com revestimento exterior em deck de madeira, à cor natural.

Quadro 63 - Composição do elemento estrutural PTPCBE2

PTPCBE2 VIGA 2 – COB:2	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m²°C/W)
Gesso cartonado interior	0,013	0,25	0,052
Pano de betão armado	0,45	2,00	0,225
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,152
Poliestireno extrudido (XPS)	0,06	0,037	1,622
Membranas e geotêxtil	0,002	0,23	0,009
Camada de enchimento	0,05	0,33	0,152
Deck de madeira exterior	-	-	-
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m²°C/W)		
Vertical ascendente	Interior, Rsi		Interior, Rsi
	0,10 / 0,17		0,10 / 0,17
$U = 1 / (R_{si} + \sum R_j + R_{se})$	0,41 / 0,39		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (U _{máx})	0,90		

Quadro 64 - Tabela síntese de dimensões e U's das coberturas e pontes térmicas planas

Designação do Tipo de Solução	Área Total (m²)	Cor	U_{asc.} Solução (W/m².°C)	U_{desc.} Solução (W/m².°C)	U_{ref} (W/m².°C)	U_{máx} (W/m².°C)
CBE1	61,00	Clara	0,31	0,29	0,40	0,40
CBE2	13,65	Escura	0,38	0,35	0,40	0,40
PTPCBE1	0,33	Escura	0,40	0,37	0,40	0,90
PTPCBE2	0,36	Escura	0,41	0,39	0,40	0,90

PI1 – Parede interior em contacto com espaço não útil (*garagem – ENU1 e lavandaria – ENU2*), constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m, pano de alvenaria de bloco térmico com 0,25m, com revestimento exterior em Capoto (*poliestireno extrudido - EPS*) com 0,05m de espessura.

Quadro 65 - Composição do elemento estrutural PI1

PI1 - PAREDE INTERIOR	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Pano de alvenaria de bloco térmico	0,25	-	0,630
Poliestireno extrudido (EPS)	0,05	0,037	1,351
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi		Interior, Rsi
	0,13		0,13
U = 1 / (Rsi+ΣRj+Rsi)	0,43		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	0,50		

PTPPDI1 PILAR – PI1 – Ponte térmica plana constituída por revestimento interior em gesso projetado com 0,02m, pano de betão armado com 0,25m, com revestimento exterior em Capoto (*poliestireno extrudido - EPS*) com 0,05m de espessura

Quadro 66 - Composição do elemento estrutural PTPPDI1

PTPPDI PILAR – PI1	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m2°C/W)
Gesso projetado interior	0,02	0,30	0,067
Pano de betão armado	0,25	2,00	0,125
Poliestireno extrudido (EPS)	0,05	0,037	1,351
Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m2°C/W)		
Horizontal	Interior, Rsi	Interior, Rsi	
	0,13	0,13	
U = 1 / (Rsi+ΣRj+Rsi)	0,55		
Portaria n.º 138-I/2021 – Tabela 1 (Umáx)	1,75		

VOI1 - Porta constituída por dois panos de aglomerado de madeira com caixa de ar de 0,015m de espessura ($U_d = 2,17 \text{ W/ m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

Quadro 67 - Tabela síntese de dimensões e U's das paredes interiores, pontes térmicas planas e porta

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	Área (m ²)	b _{ztu}	U Solução (W/m ² .°C)	Área Efetiva (m ²)	URef (W/m ² .°C)	UMáx (W/m ² .°C)
PDI1	Lavandaria	3,18	1,00	0,43	3,18	0,50	0,50
VOI1	Lavandaria	2,07	1,00	2,17	2,07	0,50	-
PDI1	Garagem	13,62	1,00	0,43	13,62	0,50	0,50
PTPPDI1	Garagem	0,63	1,00	0,55	0,63	0,50	1,75

PVT1 - PAV.SOLO – Pavimento em contacto com o solo, constituído por revestimento interior em piso flutuante, massame de betão armado com 0,10m, isolante térmico (*espuma poliuretano*) com 0,04m e massame de betão com 0,10m de espessura.

Quadro 68 - Composição do elemento estrutural PVT1

PVT1 - PAV. SOLO	dj (m)	λ (W/m°C)	Rj (m ² °C/W)
Piso flutuante interior	0,02	-	0,200
Massame de betão armado	0,10	2,00	0,050
Espuma de poliuretano projetado	0,04	0,042	0,952
Massame de betão	0,10	2,00	0,050
Rf (m²°C/W)	1,25		
P (m)	38,3		
Ubf (W/ m²°C)	0,39		

Quadro 69 - Tabela síntese de dimensões e R do pavimento em contacto com o solo

Designação do Tipo de Solução	R _f m ² .°C/W	Perímetro Exposto P (m)	Espessura da parede exposta w (m)
PVT1	1,25	38,30	0,33

Apresentam-se de seguida as informações mais relevantes dos vãos envidraçados.

Quadro 70 - Localização, áreas e orientações dos vãos envidraçados da moradia do caso de estudo

ID vão	Divisão	Orientação	Área envidraçada (m ²)	g_{tot} corrigido	Área do compartimento que serve (m ²)	Aenv < 5% Apav
1	Sala comum	Noroeste	6,93	0,04	49,31	Não
2	Quarto 2	Noroeste	5,39	0,21	12,93	Sim
3	Quarto 3	Noroeste	5,28	0,25	12,72	Sim
4	Hall distribuição	Nordeste	2,00	0,36	4,95	Sim
5	Sala comum	Sudeste	8,36	0,02	49,31	Não
6	Hall de entrada	Sudeste	1,65	0,02	12,09	Não
7	WC privado	Sudeste	1,11	0,36	4,81	Não
8	Quarto 1	Sudeste	5,61	0,17	12,13	Não
9	Escadas	Sudeste	2,20	0,15	5,50	Não
10	Sala comum	Sudoeste	3,63	0,03	49,31	Não
11	Sala comum	Sudoeste	5,50	0,03	49,31	Não
12	WC principal	Sudoeste	0,48	0,36	4,44	Não

Um dos elementos que influenciam os aspetos térmicos desta moradia será a existência de palas verticais e horizontais, que limitam a incidência solar na fachada exterior e nos vãos envidraçados da moradia. Assume-se, em termos de simplificação, que o sombreamento na estação de arrefecimento é semelhante ao sombreamento na estação de aquecimento. Apresentam-se de seguida tabelas sintetizando os ângulos de sombreamento retirados da análise do projeto AUTOCAD da moradia e exposto no programa ITECONS.

Quadro 71 - Ângulos de sombreamento que afetam os vãos envidraçados

ID vão	Sombreamento Arrefecimento = Sombreamento Aquecimento?	ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO			
		Obstrução do Horizonte α°	Pala horizontal α°	Pala vertical à esquerda β_{esq}°	Pala vertical à direita β_{dir}°
1	Sim	20	0	0	69
2	Sim	20	60	48	23
3	Sim	20	60	22	48
4	Sim	20	0	0	0
5	Sim	20	45	0	48
6	Sim	20	45	0	25
7	Sim	20	0	0	0
8	Sim	20	58	32	54
9	Sim	20	58	74	26
10	Sim	20	29	0	0
11	Sim	20	29	0	0
12	Sim	20	0	0	0

ANEXO III

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO ADICIONAIS

1. FATOR SOLAR

1.1 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

Existem várias equações para calcular o fator solar durante a estação de arrefecimento, dependendo da existência e/ou natureza dos dispositivos de proteção solar. Estas equações serão expostas de seguida.

a) Dispositivos de proteção solar móveis encontram-se parte do tempo totalmente ativados

$$g_v = F_{mv} * g_{tot} + (1 - F_{mv}) * g_{tot,p} \quad (11)$$

b) Existência apenas de dispositivos de proteção solar permanentes

$$g_v = g_{tot,p} \quad (12)$$

c) Existência de dispositivos de proteção solar permanentes e móveis

$$g_v = F_{mv} * g_{tot} + (1 - F_{mv}) * g_{tot,p} \quad (13)$$

d) Existência apenas de dispositivos de proteção solar móveis

$$g_v = F_{mv} * g_{tot} + (1 - F_{mv}) * F_{w,v} * g_{\perp,vi} \quad (14)$$

e) Ausência de dispositivos de proteção solar

$$g_v = F_{w,v} * g_{\perp,vi} \quad (15)$$

Em que

- g_v - Fator solar de verão;
- $F_{m,v}$ - Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados, de acordo com o Quadro 72;
- $g_{tot,p}$ - Fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar totalmente ativados. Este valor é calculado pela seguinte fórmula $g_{tot} = g_{tot,vc,op} * \prod_i \frac{g_{tot,vc,op}}{0,75 \text{ (vidro simples) ou } 0,75 \text{ (vidro duplo)}}$;
- $F_{w,v}$ - Fator de correção da seletividade angular de verão, de acordo com a Quadro 73;
- $g_{\perp,vi}$ - Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado

Quadro 72 - Valores da fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados

Orientação do vão	N	NE/NO	S	SE/SO	E/O	H
$F_{m,v}$	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

Quadro 73 - Valores do fator de correção da seletividade angular de verão

Orientação do vão	$F_{w,v}$			
	N	NE/NO	S	SE/SO
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85

1.2 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Tal como para a estação de arrefecimento, existem duas equações para calcular o fator solar durante a estação de aquecimento, dependendo da existência e/ou natureza dos dispositivos de proteção solar. Estas equações serão expostas de seguida.

a) Existência de dispositivos de proteção solar permanentes

$$g_i = g_{tot,p} \quad (16)$$

b) Inexistência de dispositivos de proteção solar permanentes

$$g_i = F_{w,i} * g_{\perp,vi} = 0,90 * g_{\perp,vi} \quad (17)$$

Em que:

- g_v - Fator solar de verão;
- $g_{tot,p}$ - Fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar totalmente ativados. Este valor é calculado pela seguinte fórmula $g_{tot} = g_{tot,vc,op} * \prod_i \frac{g_{tot,vc,op}}{0,75 \text{ (vidro simples) ou } 0,75 \text{ (vidro duplo)}}$;
- $F_{w,v}$ - Fator de correção da seletividade angular de verão, que neste caso toma valor de 0,90.

2. COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE PERDAS – B_{ZTU}

A Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho define o coeficiente de redução de perdas (b_{ztu}) como o valor característico que traduz a transferência de calor por um elemento construtivo com condição fronteira interior.

Como a definição da temperatura de um espaço interior não útil não é imediata, deve seguir-se a abordagem prevista na Norma EN ISO 13789, através da determinação do coeficiente de redução de perdas pela seguinte equação:

$$b_{ztu} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (18)$$

Em que:

- θ_{int} – Temperatura interior (°C);
- θ_{enu} – Temperatura ambiente exterior (°C);
- θ_{ext} – Temperatura do espaço interior não útil (°C).

No entanto, por vezes torna-se impossível conhecer com precisão o valor da temperatura do espaço interior não útil. Assim sendo, o Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho sintetiza, numa tabela, valores por defeito para o coeficiente de redução de perdas. Apresenta-se, de seguida, um quadro com esses valores por defeito.

Quadro 74 - Coeficientes de redução de perdas

b_{ztu}	$V_{enu} < 50 \text{ m}^3$		$50 \text{ m}^3 < V_{enu} < 200 \text{ m}^3$		$V_{enu} > 200 \text{ m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,00					
$0,5 \leq A_i/A_u < 1,0$	0,70	0,90	0,80	1,00	0,90	1,00
$1,0 \leq A_i/A_u < 2,0$	0,60	0,80	0,70	0,90	0,80	1,00
$2,0 \leq A_i/A_u < 4,0$	0,40	0,70	0,50	0,90	0,60	0,90
$A_i/A_u \geq 4,0$	0,30	0,50	0,40	0,80	0,40	0,80

Em que:

- A_i - Somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação e comércio e serviços que separam os respetivos espaços interiores úteis do espaço interior não útil [m^2];
- A_u - Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior [m^2];
- V_{enu} - Volume do espaço interior não útil [m^3];
- f - Espaço interior não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;
- F - Espaço interior não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Quadro 75 - Características dos espaços não úteis (ENU)

Espaço não útil	A_i / A_u	VENU	Ventilação	BZTU
ENU 1 – Lavandaria	0,23	18,91	F	1,00
ENU 2 – Garagem	0,21	70,85	F	1,00