

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA EDIFÍCIOS NZEB

BRUNO MANUEL QUEIRÓS TEIXEIRA

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



Orientador: Professor Doutor Maria Helena Corvacho

JANEIRO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

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

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

À minha família

Nós, para os outros, apenas criamos pontos de partida.

Simone de Beauvoir

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Deste modo, gostaria de expressar toda a minha gratidão e apreço àqueles que tornaram possível a concretização desta etapa da minha vida.

Primeiramente, como não poderia deixar de ser, quero agradecer às pessoas, que para além de me incentivarem, fizeram muitos sacrifícios para que esta fase da minha vida, que culmina com esta dissertação, fosse concluída com sucesso. Um muito obrigado à minha esposa, Ângela, e à minha mãe.

Em seguida queria agradecer aos mais novos que, mesmo sem saber, me deram a inspiração e resiliência que tão foram necessárias ao longo da elaboração deste trabalho. Um muito obrigado à minha filha, Maria Inês, e ao Francisco.

Tenho também muito para agradecer ao meu pai e ao meu irmão, que fazem parte das pessoas mais importantes da minha vida, todo o esforço que fizeram desde o início desta maratona. Também, aos meus avós, por toda a bondade, amor e carinho que expressam por mim, sou e serei, eternamente grato.

À Professora Doutora Maria Helena Corvacho, agradeço imensamente todo o esforço e dedicação com que abraçou este trabalho. Agradeço toda flexibilidade que teve de forma tornar possível a realização de um trabalho que correspondesse aos meus interesses. Por toda a orientação, disponibilidade e delicadeza que dedicou ao presente trabalho estou-lhe muitíssimo grato. Sem a sua dedicação e saber, nada disto seria possível.

Muito obrigado a todos os mencionados e também aos que não foram mencionados, mas fizeram parte deste percurso.

RESUMO

O presente documento aborda as exigências regulamentares aplicadas, a partir do primeiro dia de 2021, a todos os edifícios novos licenciados em Portugal – exigências para os edifícios com necessidades quase nulas de energia, nZEB.

Este documento pretende contribuir para uma caracterização detalhada da Portaria n.º 98/2019, legislação mais recente em Portugal no que toca à construção nova nZEB. Tendo em conta o valor dos indicadores energéticos de diversas simulações realizadas, pretende-se entender quais as implicações que a nova legislação tem sobre a construção de edifícios novos em Portugal e quais as soluções construtivas e sistemas de AQS, aquecimento e arrefecimento que mais facilmente cumprem as exigências impostas pela legislação portuguesa à edificação nZEB, em cada localidade abordada (Albufeira, Chaves, Penafiel e Seia).

As exigências nZEB afetam os edifícios a dois níveis: envolvente e sistemas técnicos. Face a isso, este trabalho analisa quer as necessidades nominais anuais de energia útil (aquecimento e arrefecimento), dado que, estão intrinsecamente ligadas à envolvente, quer as necessidades nominais anuais de energia primária, que para além das necessidades nominais anuais de energia útil, contempla variadas características dos sistemas técnicos responsáveis por as suprir.

Neste estudo, a análise à envolvente foi efetuada em duas fases: primeiramente, através da variação da área envidraçada e do fator solar do vidro, analisou-se qual a combinação (área envidraçada + fator solar do vidro) que otimiza o balanço entre as necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento e as de arrefecimento, posteriormente, variou-se a espessura de isolamento térmico a colocar na envolvente do edifício.

Devido ao facto do território nacional estar dividido em zonas climáticas de inverno e de verão, consoante a severidade das estações de aquecimento e arrefecimento, o estudo para ser mais abrangente e significativo, analisou as implicações que as singularidades climáticas associadas a cada uma das quatro localizações abordadas introduziam nos edifícios nZEB.

De forma a responder ao principal objetivo deste trabalho, analisar o custo do ciclo de vida de soluções construtivas finais nZEB, calculou-se o custo de investimento inicial, o custo de manutenção e o custo da energia de todas as soluções finais (envolvente + sistemas técnicos) que cumprem os requisitos nZEB. Para perceber o impacto monetário que a legislação nZEB poderá ter em Portugal, comparou-se o custo de investimento inicial e o custo do ciclo de vida entre as soluções finais nZEB e uma solução construtiva possível, e frequentemente usada, antes das exigências nZEB.

PALAVRAS-CHAVE: nZEB, envolvente, sistemas técnicos, necessidades energéticas, custo do ciclo de vida

ABSTRACT

This document addresses the regulatory requirements applied, from the first day of 2021, to all new buildings licensed in Portugal - requirements for nearly zero energy buildings, nZEB.

This document intends to contribute to a detailed characterization of decree n.º 98/2019, the most recent legislation in Portugal with regard to new construction nZEB. Based on the value of energy indicators of the various simulations carried out to understand that implications of the new legislation are for the construction of new buildings in Portugal, and understand which construction solutions and DHW, heating and cooling systems that most easily fulfill the requirements imposed by Portuguese legislation on the nZEB buildings, in each location analyzed (Albufeira, Chaves, Penafiel and Seia).

The nZEB requirements affect buildings at two levels: building envelope and technical systems. Therefore, this paper analyzes both the nominal annual needs for useful energy (heating and cooling), given that they are intrinsically linked to the building envelope, and the nominal annual needs for primary energy, which in addition to the nominal annual needs for useful energy, includes various characteristics of the technical systems responsible for supplying them.

In this study, the analysis of the building envelope was carried out in two phases: firstly, through the variation of the glazed area and the solar factor of the glass, it was analyzed which combination (glazed area + solar factor of the glass) that optimizes the balance between heating energy needs and cooling energy needs values, thereafter, the thickness of thermal insulation to be placed in the building envelope was varied.

Due to the fact that the national territory is divided into winter and summer climatic zones, depending on the severity of the heating and cooling seasons, the study to be more comprehensive and significant, analyzed the implications that the climatic singularities associated with each of the four locations addressed introduced into nZEB buildings.

In order to answer the main objective of this work, to analyze the life cycle cost of nZEB final construction solutions, were calculated the initial investment cost, the maintenance cost and the energy cost of all final solutions (building envelope + technical systems) that meet the nZEB requirements. In order to understand the monetary impact that the nZEB legislation may have in Portugal, the initial investment cost and the life cycle cost were compared between the final nZEB solutions and a possible and often used constructive solution, before the nZEB requirements.

KEY-WORDS: nZEB, building envelope, technical systems, energetic needs, life cycle cost

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE	2
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. CONCEITO NZEB	5
2.2. DIRETIVAS EUROPEIAS E LEGISLAÇÃO NACIONAL	5
2.2.1. DIRETIVAS EUROPEIAS	5
2.2.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL	6
2.2.2.1. Evolução Até À Portaria Nº 98/2019	6
2.2.2.2. Portaria nº 98/2019	8
2.3. ENVOLVENTE EXTERIOR	9
2.3.1. CARATERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE EXTERIOR	9
2.3.2. ENVOLVENTE VERTICAL	9
2.3.2.1. Evolução Da Zona Opaca Ao Longo Do Tempo	9
2.3.2.2. Parede Dupla	11
2.3.2.3. Parede Simples Isolada Pelo Exterior	12
2.3.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS	16
2.3.4. ENVOLVENTE HORIZONTAL	18
2.3.4.1. Coberturas	18
2.3.4.2. Pavimento Térreo	21
2.4. SISTEMAS TÉCNICOS	21
2.4.1. QUANTIFICAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL	21
2.4.2. AQS E CLIMATIZAÇÃO	22

2.4.2.1. Sistema De Solar Térmico	22
2.4.2.2. Caldeira a Biomassa	24
2.4.2.3. Bomba de Calor	25
2.4.2.4. Sistemas Solares Fotovoltaicos	27
2.4.3. REQUISITOS GERAIS DE SISTEMAS TÉCNICOS	28
3. METODOLOGIA ADOTADA NO CASO DE ESTUDO	31
3.1. PLANO DA ANÁLISE REALIZADA	31
3.2. JUSTIFICAÇÃO DE ALGUMAS OPÇÕES	35
3.3. APRESENTAÇÃO DA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR TIPO	36
4. ENVOLVENTE	39
4.1. ESTUDO PRÉVIO AOS VÃOS ENVIDRAÇADOS	39
4.2. ANÁLISE TÉCNICA ENVOLVENTE DA HABITAÇÃO TIPO	41
4.2.1. ALBUFEIRA	41
4.2.2. CHAVES	45
4.2.3. PENAFIEL	48
4.2.4. SEIA	52
5. ENVOLVENTE E SISTEMAS TÉCNICOS	55
5.1. DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	55
5.2. RÁCIO NTC/NT EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	56
5.3. INFLUÊNCIA DA ENVOLVENTE E DOS SISTEMAS TÉCNICOS NO VALOR DE NTC/NT	57
5.4. ALTERAÇÕES QUE TORNARAM A SOLUÇÃO PENS11C6 NUM NZEB	63
5.5. ANÁLISE ÀS SOLUÇÕES FINAIS QUE UTILIZAM A BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA (BC2)	64
6. CUSTOS	67
6.1. CUSTOS DO CICLO DE VIDA	67
6.2. CONSIDERAÇÕES A TER EM CONTA NA ENVOLVENTE	68
6.3. CONSIDERAÇÃO A TER EM CONTA NOS SISTEMAS TÉCNICOS	73
6.4. INVESTIMENTO INICIAL VS CUSTO DO CICLO DE VIDA	76

6.4.1. ALBUFEIRA	76
6.4.2. CHAVES	80
6.4.3. PENAFIEL	82
6.4.4. SEIA	85
6.5. LCC NZEB VS NÃO NZEB	87
7. CONCLUSÕES	93
7.1. CONCLUSÕES GERAIS	93
7.2. POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1. - Estratégia para obtenção de edifícios nZEB	5
Fig.2.2. - Evolução da legislação portuguesa de acordo com a publicação das diretivas europeias	7
Fig.2.3. - Prazos estabelecidos pela Portaria n.º 98/2019 para a implementação da construção nova nZEB em Portugal	8
Fig.2.4. - Resumo das exigências nZEB estabelecidas pela Portaria n.º 98/2019 de acordo com o zoneamento climático	9
Fig.2.5. - Evolução da envolvente vertical opaca ao longo do tempo	10
Fig.2.6. - Parede dupla tipo	12
Fig.2.7. - Composição esquemática dos sistemas ETICS	13
Fig.2.8. - Pormenor construtivo fachada	14
Fig.2.9. - Corte vertical e horizontal fachada ventilada	15
Fig.2.10. - Partição da energia incidente no vão envidraçado	16
Fig.2.11. - Tipos de cobertura em Portugal até 2015	18
Fig.2.12. - Constituição cobertura inclinada	19
Fig.2.13. - Pormenor construtivo tipo de uma cobertura plana tradicional	20
Fig.2.14. - Pormenor construtivo tipo de uma cobertura plana invertida	20
Fig.2.15. - Corte esquemático pavimento térreo	21
Fig.2.16. - Programa de cálculo do SCE.ER	22
Fig.2.17. - Subsistemas sistema solar térmico	23
Fig.2.18. - Caldeira a pellets	24
Fig.2.19. - Combinação entre a caldeira a pellets e o sistema solar térmico central	25
Fig.2.20. - Ciclo de compressão e expansão da bomba de calor	26
Fig. 2.21. - COP bomba de calor	26
Fig.2.22.- Sistema solar fotovoltaico	28
Fig.2.23. - Espessuras mínimas de isolamento de tubagens	28
Fig.2.24. - Espessuras mínimas de isolamento para condutas e acessórios	29
Fig.2.25. - Espessuras mínimas de isolamento para equipamentos e depósitos	29
Fig.2.26. - Classe de eficiência mínima	29
Fig.2.27. - Classe de eficiência mínima de caldeiras	29
Fig.3.1. - Esquema representativo das variações entre as diferentes soluções de envolvente	33

Fig.3.2. - Distribuição dos fogos licenciados por tipologia (2014 e 2019)	35
Fig.3.3. - Distribuição dos fogos concluídos por tipologia (2014 e 2019)	35
Fig.3.4. - Perspetiva da habitação familiar tipo feita no Revit 2020	36
Fig.3.5. - Levantamento dimensional da habitação unifamiliar tipo	36
Fig.3.6. - Planta da habitação unifamiliar tipo	37
Fig.4.1. - Estudo vãos envidraçados Penafiel	40
Fig.4.2. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, e aquecimento, Nic, quando a habitação tipo é analisada em Albufeira	42
Fig.4.3. - Rácio entre Nic e Ni quando a habitação tipo se localiza em Albufeira	42
Fig.4.4. - Variação de Nic e Nvc em Albufeira	43
Fig.4.5. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, e aquecimento Nic quando a habitação tipo é analisada em Chaves	45
Fig.4.6. - Rácio entre Nic e Ni quando a habitação tipo se localiza em Chaves	46
Fig.4.7. - Variação de Nic e Nvc em Chaves	46
Fig.4.8. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc e aquecimento Nic quando habitação tipo é analisada em Penafiel	48
Fig.4.9. - Rácio entre Nic e Ni quando a moraria se localiza em Penafiel	49
Fig.4.10. - Variação de Nic e Nvc em Penafiel	50
Fig.4.11. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc e aquecimento Nic quando a habitação tipo é analisada em Seia	52
Fig.4.12. - Rácio entre Nic e Ni quando a habitação tipo se localiza em Seia	53
Fig.4.13. - Variação de Nic e Nvc em Seia	53
Fig.5.1. - Energia contabilizada nos cálculos de Ntc e de Nt	55
Fig.5.2. - Resultados para a solução 6 em Albufeira para as diferentes combinações	58
Fig.5.3. - Resultados para a solução 11 em Albufeira para as diferentes combinações	58
Fig.5.4. - Rácio entre Ntc e Nt nas soluções finais com a combinação 12	59
Fig.5.5. - Rácio entre Ntc e Nt nas soluções finais com Combinação 1 em Chaves	60
Fig.5.6. - Balanço energético da solução final ChaS8C1	60
Fig.5.7. - Balanço energético da solução final ChaS11C1	61
Fig.5.8. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais com a combinação 4	61
Fig.5.9. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais com a combinação 6	62
Fig.5.10. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais com a combinação 13	62
Fig.5.11. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais de Penafiel com a combinação 6	63
Fig.6.1. - Preço por m ² da cobertura plana sem incluir a laje, o chapisco e reboco do teto	69
Fig.6.2. - Preço por m ² de 100 mm de XPS para cobertura plana, incluindo mão-de-obra	69

Fig.6.3. - Preço por m ² de impermeabilização e colocação de geotêxtil no pavimento térreo, incluindo mão-de-obra	70
Fig.6.4. - Preço por m ² de 60 mm de XPS para pavimento térreo, incluindo mão-de-obra	70
Fig.6.5. - Preço por m ² do pano exterior da parede dupla, sem reboco	70
Fig.6.6. - Preço por m ² do pano interior da parede dupla, sem reboco	71
Fig.6.7. - Vidro adotado nos vãos envidraçados de Penafiel, Seia e Chaves	71
Fig.6.8. - Vidro adotado nos vãos envidraçados de Albufeira	72
Fig.6.9. - Preço Caixilharia em PVC 1800x1200 mm usada na habitação tipo de Albufeira e Penafiel	72
Fig.6.10. - Caixilharia em PVC usada nas moradias tipo de Chaves e Seia	72
Fig.6.11. - Tabela resumo coeficiente de térmico Rointe	74
Fig.6.12. - Preço do pavimento radiante/m ²	74
Fig.6.13. - Custo investimento inicial das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	76
Fig.6.14. - Custo investimento inicial das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos de sistemas técnicos 8, 9 e 11	77
Fig.6.15. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	77
Fig.6.16. -Custo do ciclo de vida das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 8, 9 e 11	78
Fig.6.17. - Custo investimento inicial das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	80
Fig.6.18. - Custo investimento inicial das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12	80
Fig.6.19. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	81
Fig.6.20. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12	81
Fig.6.21. - Custo investimento inicial das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	82
Fig.6.22. - Custo investimento inicial das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12	83
Fig.6.23. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	83
Fig.6.24. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11, e 12	84
Fig.6.25. - Custo investimento inicial das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	85

Fig.6.26. - Custo investimento inicial das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12	86
Fig.6.27. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7	86
Fig.6.28. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11, e 12	86
Fig.6.29. - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Albufeira	88
Fig.6.30. - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Chaves	88
Fig.6.31 - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Penafiel	88
Fig.6.32 - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Seia.	89
Fig.6.33. - Custo do Ciclo de Vida da solução construtiva Combinação 13 + Solução base por localidade	89
Fig.6.34. - Custo do investimento inicial da solução construtiva Combinação 13 + Solução base por localidade	89
Fig.6.35. - Custo de investimento inicial da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC.	90
Fig.6.36. - Custo da manutenção anual da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC	90
Fig.3.67. - Custo anual da energia da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC	91
Fig.6.38. - Custo do Ciclo de Vida da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC	91
Fig.6.39. - Payback Solução nZEB com menor LCC em Albufeira	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. - Características isolamentos térmicos	11
Tabela 3.1. - Solução Base em cada localidade	32
Tabela 3.2. – Combinação dos sistemas técnicos	34
Tabela 4.1. - Vidros analisados no estudo	39
Tabela 4.2. - Valor de g_T para cada combinação vidro duplo-dispositivo de proteção móvel	40
Tabela 4.3. - Solução envidraçada fixa em cada localidade	41
Tabela 4.4. - Resumo das soluções construtivas quando a habitação tipo se localiza em Albufeira ..	44
Tabela 4.5. - Resumo das soluções construtivas quando a habitação tipo se localiza em Chaves	47
Tabela 4.6. - Resumo das soluções construtivas quando a moradia tipo se localiza em Penafiel	50
Tabela 4.7.- Resumo das soluções construtivas quando a moradia tipo se localiza em Seia	54
Tabela 5.1. - Caracterização dos sistemas técnicos analisados	57
Tabela 6.1. - Preço final da cobertura, sem contabilizar o preço da laje	69
Tabela 6.2 - Preço final do pavimento térreo, sem contabilizar o preço do massame de betão	70
Tabela 6.3 - Preço final da parede dupla	71
Tabela 6.4. - Custo dos vãos envidraçados em cada localidade	73
Tabela 6.5. - Preço inicial e de manutenção anual em Albufeira e Chaves, de cada combinação de sistemas técnicos	75
Tabela 6.6. - Preço inicial e de manutenção anual em Penafiel e Seia, de cada combinação de sistemas técnicos	75
Tabela 6.7. - Excerto Tabela de combinação de sistemas técnicos	79

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ADENE- Agência para a Energia

AQS - Águas Quentes Sanitárias

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CEE - Comunidade Económica Europeia

CO₂ - Dióxido de carbono

d - Taxa de atualização real

D - Taxa de juro bancário

COP - Coefficient of Performance

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

e - Taxa de crescimento do custo da energia

ε - Emissividade

EER – Energy Efficiency Ratio

EPBD - Energy performance of buildings directive

ETICS - External Thermal Insulation Composite System

EUA - Estados Unidos da América

Fig. - Figura

Fpu - Fator de conversão para energia primária

$g_{\perp,vi}$ - Fator Solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície

g_T - Fator Solar do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas

g_{Tmax} - Fator Solar Máximo

i - Taxa de inflação

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

INE - Instituto Nacional de Estatística

kWh- Quilowatt hora

LCC – Custo do Ciclo de Vida (do inglês Life Cycle Cost)

Nic - Necessidade Nominal Anual de Energia Útil para Aquecimento [kWh/(m².ano)]

Nvc - Necessidade Nominal Anual de Energia Útil para Arrefecimento [kWh/(m².ano)]

Ntc - Necessidade Nominal Anual de Energia Primária [kWh/(m².ano)]

nZEB - nearly Zero Energy Building

ONU - Organização das Nações Unidas

PCE - Pré-certificado energético

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

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

REH - Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

U - Coeficientes de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$]

U_f – Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia [$\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$]

U_w - Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados [$\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$]

UE - União Europeia

XPS - Poliestireno extrudido

η - Eficiência nominal

λ - Condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m}\text{°C})$]

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A sustentabilidade, o desenvolvimento sustentável e a pegada ecológica são termos muito presentes no dia-a-dia da sociedade atual.

Seja na nossa vida escolar, seja na televisão, rádio, internet ou jornais são muitas as notícias que nos pretendem alertar sobre o consumo desenfreado dos recursos naturais e nos apelam para mudar o nosso padrão de consumo.

Para uma melhor compreensão da forma como estamos a usar os recursos do nosso planeta podemos-nos basear no conceito de pegada ecológica. Este conceito refere-se à quantidade de terra e água, medida em *global hectares* [gha], que seria necessária para sustentar as gerações atuais, tendo em conta todos os recursos materiais e energéticos, gastos por uma determinada população [1].

Outro conceito acima mencionado é o conceito de desenvolvimento sustentável. Este conceito pode ser avaliado com o recurso a dois indicadores abrangentes: o Índice de Desenvolvimento Humano das Nações Unidas (IDH) e pegada ecológica por pessoa. O IDH mede a qualidade de vida analisando o país no que toca à longevidade da sua população, acesso à educação e rendimento [2].

Para as nações unidas um IDH superior a 0,7 é cotado como "alto desenvolvimento humano" e uma pegada ecológica menor do que 1,7 hectares globais por pessoa torna possível o uso dos recursos existentes no nosso planeta.

Avaliando a combinação entre o IDH e a pegada ecológica por pessoa podemos verificar quem/se alguém está a percorrer a direção correta no que diz respeito ao binómio, ter qualidade de vida - adequada utilização dos recursos do planeta, tendo assim um desenvolvimento sustentável. Verificamos que no mundo são poucos os países que aí se encontram. Os únicos países que satisfazem as duas exigências são a Jamaica, as Filipinas e o Sri Lanka. A média mundial no que toca à pegada ecológica por pessoa é de 2,7 gha e o IDH é 0,7- valor coincidente com o limite inferior do padrão "alto desenvolvimento humano" [3][4].

Um dos fatores que faz com que poucos sejam os países a ter um “desenvolvimento sustentável” é o excessivo uso dos combustíveis fósseis. Da queima do petróleo, do carvão e do gás natural resulta enormes emissões de dióxido de carbono. A matriz energética mundial atual é responsável pela maior parte das emissões de dióxido de carbono – 61% [5].

Como o setor da construção civil requer um grande consumo de energia, estima-se que cerca de um terço da energia primária total a nível mundial seja consumida pelos edifícios [6], a Comissão Europeia, com a necessidade de reduzir o consumo de energia dos edifícios, quer por razões ambientais, quer por razões económicas teve de redirecionar a forma de construir.

Foram definidas novas diretivas, e é na Diretiva nº 2010/31/EU (Energy Performance of Buildings Directive [EPBD]), mais propriamente no Artigo 9º, que surge o conceito - edifícios com necessidades quase nulas de energia, nZEB (nearly Zero Energy Buildings).

Como todos os edifícios novos com data de licenciamento ou autorização a partir de 31 de Dezembro de 2020 serão obrigados a obedecer às especificações nZEB, será pertinente fazer uma análise técnico-económica de soluções construtivas para edifícios nZEB, dado que, são exigências relativamente novas. Estes edifícios caracterizam-se por apresentarem um desempenho energético muito elevado, e terem as suas necessidades de energia cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, seja produzida no local ou nas proximidades [7].

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste documento é avaliar a interferência que diferentes sistemas técnicos e envolventes têm no custo ao longo do ciclo de vida de um edifício nZEB, ou seja, estando sempre dentro do parâmetro edifícios com necessidades energéticas quase nulas, e usufruindo das técnicas de construção para a conceção da envolvente e dos sistemas técnicos disponíveis no mercado para águas quentes sanitárias (AQS), aquecimento e arrefecimento do edifício, analisar o custo inicial total e o custo ao longo do ciclo de vida do edifício.

Os outros objetivos do documento são: analisar as alterações provocadas pelos nZEB na legislação portuguesa, analisando detalhadamente as medidas impostas pela Portaria n.º 98/2019 [8] e avaliar o impacto que a localização, a área envidraçada, o fator solar do vidro, o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado e a espessura de isolamento da envolvente vertical e horizontal têm na maior ou menor facilidade no cumprimento dessas medidas. Avaliar o impacto que os sistemas técnicos têm na edificação nZEB é outro objetivo deste estudo.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos. Neste primeiro capítulo é explicado o enquadramento do tema, os principais objetivos respondidos ao longo dos próximos capítulos e a organização do documento.

No segundo capítulo, estado da arte, são apresentadas, para além da evolução da legislação ao longo dos anos até chegar à legislação imposta aos edifícios nZEB, soluções para a envolvente e para sistemas técnicos que poderão satisfazer esses requisitos.

No terceiro capítulo é apresentada a habitação unifamiliar tipo, alvo de estudo neste documento, são justificadas algumas escolhas tidas em conta durante o mesmo e são indicadas as soluções construtivas e os sistemas técnicos que serão alvo de estudo neste documento.

No quarto capítulo é efetuado o estudo de sensibilidade sobre a solução envidraçada que melhor se adapta a cada uma das localizações estudadas. Neste capítulo também são testadas as soluções construtivas da envolvente da habitação tipo, em cada localidade, através da análise dos valores das necessidades nominais anuais de energia útil proporcionados por cada uma delas.

No quinto capítulo avalia-se as soluções finais (envolvente + sistemas técnicos), que respeitam todos os critérios impostos pela legislação portuguesa aos edifícios nZEB.

No sexto capítulo analisa-se os custos, quer de investimento, quer do ciclo de vida, que estavam associados a cada uma das soluções finais que originava um edifício nZEB.

No sétimo capítulo, serão expostas as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido e foram sugeridas algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

2.1. CONCEITO NZEB

A Comissão Europeia define os nZEB como um edifício com um desempenho energético muito elevado, e onde as necessidades energéticas são quase nulas ou muito baixas. O conceito nZEB tem a si associadas duas vertentes: uma que consiste em ter as necessidades energéticas muito reduzidas, através da adoção de sistemas passivos adequados (1º passo); e a outra é suprir grande parte ou mesmo a totalidade (neste caso torna-se Net ZEB) das necessidades energéticas através do uso de energia renovável produzida no local ou nas proximidades (2º passo);



Fig.2.1. - Estratégia para obtenção de edifícios nZEB (Adaptado de [9])

2.2. DIRETIVAS EUROPEIAS E LEGISLAÇÃO NACIONAL

2.2.1. DIRETIVAS EUROPEIAS

De modo a prevenir as alterações climáticas, que já à época eram esperadas, devido ao modelo de desenvolvimento industrial e ao modo de consumo, foi assinado em 1997, pelos países da Organização das Nações Unidas (ONU), o Protocolo de Quioto.

Para a Comissão Europeia o consumo energético dos edifícios tornou-se uma temática prioritária devido, como já vimos, ao elevado peso que os mesmos têm na emissão de gases efeito estufa. Com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos mesmos foram sendo criadas progressivamente várias diretivas.

No dia 16 de Dezembro de 2002, foi publicada a Diretiva Europeia 2002/91/EU (EPBD), com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da Comunidade, impondo-lhes requisitos mínimos [10].

Como a redução das emissões de CO₂ e de outros gases com efeito estufa, que era um dos objetivos delineados pelo Protocolo de Quioto, não se estava a verificar do modo como era previsível, o Parlamento Europeu publicou a Diretiva 2006/32/EU (EPBD), com o objetivo de incrementar a relação custo-eficácia na utilização final de energia. Para tal, promoveu a produção de energia a partir de fontes renováveis, havendo incentivos financeiros e jurídicos para eliminar as deficiências e obstáculos a uma utilização eficiente da energia [11].

Numa fase seguinte, devido ao facto de ter sido necessário introduzir alterações substanciais a Diretiva 2002/91/EU [10], por razões de clareza procedeu-se à sua reformulação. A reformulação da Diretiva 2002/91/EU [10], relativa ao desempenho energético dos edifícios, surge a 19 de maio de 2010 com a publicação da Diretiva 2010/31/EU. É nesta mesma Diretiva Europeia que surge, no Artigo 9º, o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB), que é definido como *“um edifício com um desempenho energético muito elevado em que as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”*. A Diretiva exigiu que os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia após 31 de Dezembro de 2018, e o mais tardar a partir de 31 de Dezembro de 2020 todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia [7].

Posteriormente, foi publicada a Diretiva 2012/27/EU [12] sobre a eficiência energética e a 30 de maio de 2018 foi publicada a nova Diretiva 2018/844/EU [13] que veio alterar a Diretiva 2010/31/EU [7], relativa ao desempenho energético dos edifícios. No Artigo 2.º desta diretiva é citado que cada Estado-Membro se compromete a reduzir ainda mais as emissões de gases com efeito de estufa entre 80% a 95% relativamente a 1990, aumentar a percentagem do consumo de energias renováveis, obter poupanças de energia e aumentar a segurança energética, a competitividade e a sustentabilidade. Ainda nesta diretiva, o Artigo 8.º reforça a necessidade de os Estados Membros apoiarem as melhorias do desempenho energético reforçando igualmente a importância de se incluírem sistemas técnicos e automação nos edifícios, para assim reduzir as necessidades de energia para AVAC e iluminação [14].

2.2.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL

2.2.2.1. Evolução até à Portaria nº98/2019

Mesmo antes da publicação da Diretiva 93/76/CEE [15], de 13 de Setembro de 1993, relativa à limitação das emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficácia energética, Portugal já tinha publicado em 1990 o Decreto-Lei n.º 40/90 [16] – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este regulamento, que foi o primeiro a impor requisitos mínimos na conceção dos edifícios novos, tinha como objetivo melhorar as condições de conforto térmico no interior dos edifícios, sem aumento dos consumos de energia e ao mesmo tempo minimizar as patologias, mais concretamente as relacionadas com as condensações.

O governo português face à transposição da Diretiva 2002/91/EU [10], já citada anteriormente, publicou três documentos legislativos: o Decreto-Lei nº78/2006 [17], designado por Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o Decreto-Lei nº79/2006 [18], revisão do existente Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

(RSECE), que implementava a diretriz de uma obrigatoriedade de inspeção regular de todos os equipamentos, e o Decreto-Lei 80/2006 [19], correspondente à reformulação do RCCTE.

Posteriormente, com a necessidade de transpor a Diretiva 2010/31/EU [17], para a legislação portuguesa, surge a aprovação do Decreto-Lei n.º 118/2013 [20]. O Decreto-Lei n.º 118/2013 [20], engloba o Sistema de Certificação Energética (SCE), o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS). Quer o REH, quer o RECS são indispensáveis para a obtenção do Sistema de Certificação Energética. Há diferenciação entre as imposições para edifícios habitacionais e edifícios de comércio e serviços, tal como há diferenças nos requisitos a serem respeitados, para edifícios novos, edifícios sujeitos a grandes intervenções e edifícios existentes.

Fazendo uma análise comparativa entre o que introduziu de novo o Decreto-Lei n.º 118/2013 [20], em relação ao pacote legislativo de 2006 podemos constatar que as diferenças que mais se destacam são as seguintes:

- Passa a existir uma separação clara de metodologias e regras dos edifícios de habitação (REH) e de serviços/comércio (RECS), uma vez que a anterior legislação agrupava os edifícios de habitação e os pequenos edifícios de serviços num só diploma;
- Mapa evolutivo de requisitos com horizonte temporal no limite até 2020 (nZEB e rentabilidade económica);
- Introdução de requisitos aos sistemas técnicos;
- Promoção de energias renováveis, com clarificação dos métodos de quantificação;
- Reconhecimento da obrigatoriedade do pré-certificado energético (PCE) e certificado energético (CE) como certificações técnicas [21].

Outro aspeto a salientar é o facto do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) sofrer constantes atualizações desde a sua génese, de forma a obrigar os edifícios a serem cada vez mais eficientes do ponto de vista energético. Em 2015 houve uma reestruturação do REH com o objetivo de diminuir de forma progressiva as necessidades energéticas, para tal, diminuiu-se de uma forma significativa os Coeficientes de transmissão térmica, U, das envolventes. Na Fig.2.2. encontra-se um cronograma que indica a localização temporal das Diretivas Europeias, relacionadas com o desempenho energético dos edifícios, os Decretos-Lei que responderam a essas exigências europeias e os que o governo português legislou de forma pioneira.

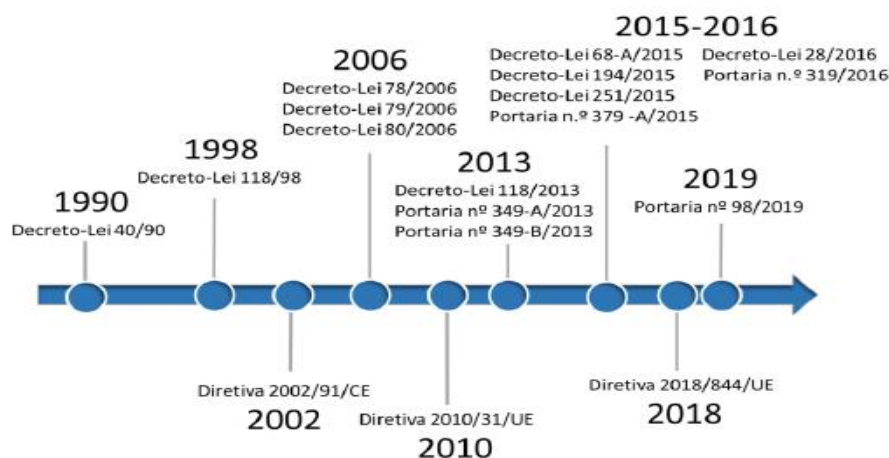


Fig.2.2. - Evolução da legislação portuguesa de acordo com a publicação das diretivas europeias

2.2.2.2. Portaria n.º 98/2019

A Portaria n.º 98/2019 [8], tendo por base as diretivas europeias que abordam o conceito nZEB, transpõe para legislação nacional o conceito nZEB. Nela são estipuladas as exigências e medidas para a construção de edifícios com necessidades quase nulas de energia em Portugal, adaptando as exigências e as medidas ao clima e às vicissitudes locais.

A Portaria n.º 98/2019 [8] exige, conforme se pode observar na Fig.2.3., que a todos os edifícios novos com início de licenciamento ou autorização de edificação a partir de 1 de Janeiro de 2021 sejam aplicadas as exigências para edifícios de necessidades quase nulas de energia.

Contexto	Aplicação das exigências para edifícios de necessidades quase nulas de energia a...	
	Edifícios na propriedade de uma entidade pública e a ser ocupados por uma entidade pública	Todos os edifícios abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto
Data do início de licenciamento ou autorização de edificação		
A partir de 1 de janeiro de 2019	✓	
A partir de 1 de janeiro de 2021		✓

Fig.2.3. - Prazos estabelecidos pela Portaria n.º 98/2019 para a implementação da construção nova nZEB em Portugal [8]

Atendendo ao que é disposto no Anexo 6 da Portaria n.º 98/2019 [8], que diz respeito aos edifícios de habitação de necessidades quase nulas de energia, verificamos que as exigências da legislação Nacional para os edifícios nZEB, para além dos requisitos já impostos pelo REH, centram-se em dois pontos: necessidades energéticas e aproveitamento de fontes de energia renovável.

No que diz respeito ao aproveitamento de fontes de energia renovável a Portaria n.º 98/2019, no seu ponto 6.2 diz que os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suprir pelo menos 50 % das necessidades anuais de energia primária.

Quanto as necessidades energéticas é obrigatório obedecer aos seguintes pontos:

1. O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 75 % do seu valor máximo (N_i).
2. O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (N_{tc}) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 50 % do seu valor máximo (N_t).
3. Para a zona climática I1, caso a relação N_{ic}/N_i seja inferior ou igual a 0,6 e o fator solar máximo (gT, max) dos vãos envidraçados seja inferior ou igual a 0,15, considera-se que o edifício tem apenas necessidades de aquecimento efetivas pontuais, pelo que o valor de N_{ic} , no cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária é nulo.

Zona Climática	Exigências NZEB
I1, I2 e I3	$N_{ic} \leq 0.75 N_i$
I1, I2 e I3	$N_{tc} \leq 0.50 N_t$
I1	Para $N_{ic}/N_i \leq 0.60$ e $gT_{max} \leq 0.15$ $N_{ic}=0$ no cálculo do N_{tc}
I1, I2 e I3	Energia renovável ≥ 0.50 Energia primária

Fig.2.4. - Resumo das exigências nZEB estabelecidas pela Portaria n.º 98/2019 de acordo com o zoneamento climático [14]

2.3. ENVOLVENTE EXTERIOR

2.3.1. CARATERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE EXTERIOR

A envolvente exterior dos edifícios é a barreira que separa os ambientes exterior e interior por forma a contribuir para um adequado nível de habitabilidade de acordo com a exigência de conforto e segurança do utilizador.

A envolvente exterior é constituída por elementos verticais e elementos horizontais. Fazem parte dos elementos verticais a zona opaca e os envidraçados, enquanto os pavimentos e coberturas constituem os elementos horizontais.

A envolvente exterior do edifício devido à sua exposição direta aos agentes externos é sua zona mais exposta. Assim sendo, para além de garantir estabilidade ao seu peso próprio e a durabilidade dos materiais constituintes deve formar uma barreira de proteção face ao vento, à chuva, ao fogo, à radiação solar, às variações hidrotérmicas e ao ruído.

2.3.2. ENVOLVENTE VERTICAL

2.3.2.1. Evolução da zona opaca ao longo do tempo

Hoje em dia, as soluções construtivas para edifícios novos mais usadas em Portugal são parede dupla de alvenaria de tijolo com caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico ou parede simples isolada pelo exterior.

Mas nem sempre foi assim. Foi a publicação, em 1990, do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e a consequente imposição de requisitos mínimos na conceção dos edifícios novos que despoletou a inclusão de isolamento térmico nos edifícios do nosso país. Mas como a maioria, aproximadamente 70%, dos edifícios do nosso parque edificado é anterior a 1990, a maior parte dos edifícios portugueses na sua conceção original não têm nenhum isolamento térmico.

A Fig.2.5. mostra-nos como as soluções construtivas foram evoluindo ao longo dos anos, a percentagem com que cada uma se encontra no edificado português e a espessura de isolamento associada a cada solução construtiva.

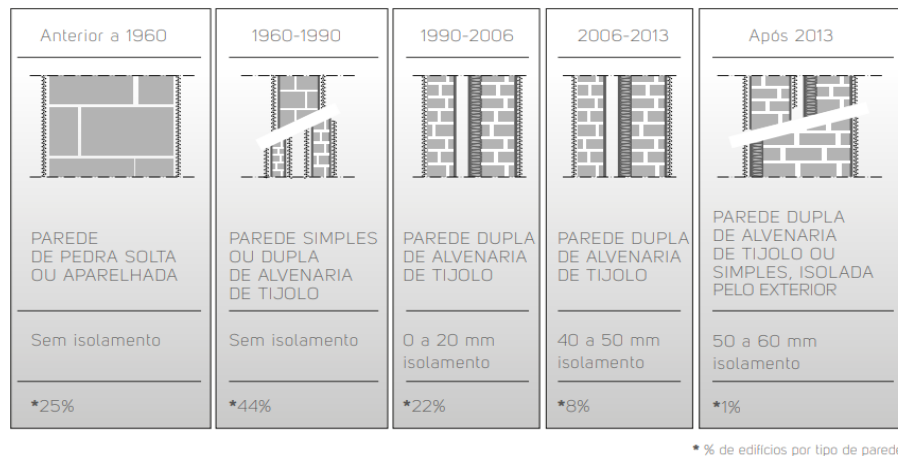


Fig.2.5. - Evolução da envolvente vertical opaca ao longo do tempo [22]

Atualmente, os requisitos térmicos para a zona opaca são extremamente exigentes, mas variam consoante a zona climática de inverno. Para a zona climática I1 o valor máximo do coeficiente de transmissão térmica, U , é de $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para a zona I2 é de $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, enquanto que na zona I3 é de $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Cumprir estes requisitos sem colocar isolamento térmico é algo utópico, daria origem a espessuras de parede surreais. Nas zonas climáticas mais agressivas a solução construtiva parede dupla de alvenaria de tijolo com caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico pode perfeitamente implicar uma espessura superior aos 60 mm de isolamento térmico indicados na Fig.2.5..

A eficiência térmica da envolvente dos edifícios, ou seja, a sua capacidade de reduzir as trocas de energia sob a forma de calor entre o interior e o exterior, deve-se predominantemente ao isolamento térmico. Comparativamente a estes, os outros materiais têm um peso muito reduzido na resistência térmica da solução construtiva.

A principal propriedade para classificar um material isolante é a condutibilidade térmica, λ . Um material com condutibilidade térmica menor do que $0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ pode ser classificado como material de isolamento térmico.

A baixa condutibilidade térmica e a baixa densidade são duas características comuns a todos os isolamentos térmicos, mas eles têm várias diferenças, tal como: a origem, o preço, a resistência mecânica, a resistência ao fogo, a forma, a permeabilidade à água, permeabilidade ao vapor, a estabilidade dimensional e a durabilidade. O facto de haver um leque de opções tão diferenciado de materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado, torna possível optar pelo material mais indicado, consoante as singularidades da solução em causa. A Tabela 2.1. mostra-nos os materiais mais utilizados como isolamentos térmicos e algumas particularidades de cada um deles.

Tabela 2.1. - Características isolamentos térmicos

Isolamentos térmicos	Massa Volúmica [Kg/m³]	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	Observações	
Sintéticos	Poliestireno extrudido (XPS)	25-40	0,037	Comercializado em placas, podendo conter encaixes e estrias. Baixa resistência ao fogo e baixa permeabilidade ao vapor de água.
	Poliestireno expandido (EPS)	15-20	0,040	Económico. Baixa resistência ao fogo
	Poliuretano (PUR)	20-50	0,042	Pode ser injetado ou projetado. Cobre com facilidade superfícies irregulares. Baixa resistência ao fogo.
Vegetais	Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	91-140	0,045	Baixa tolerância à água parada. Pode ser executado como acabamento à vista.
	Fibras celulósicas	28-35	0,040	Placas flexíveis. Baixa tolerância à água.
Minerais	Lã de Vidro	15-100	0,040	Bom desempenho acústico. Elevada resistência ao fogo.
	Lã de Rocha	35-100	0,040	

2.3.2.2. Parede dupla

A parede dupla é o sistema construtivo mais utilizado na construção portuguesa. Isso acontece porque esta solução tem uma elevada resistência mecânica, uma boa resistência ao fogo e um bom comportamento em termos térmicos e acústicos. O facto desta solução construtiva ser tão utilizada faz com que a mão-de-obra esteja familiarizada, diminuindo assim os erros e o tempo de execução.

As desvantagens associadas a esta solução construtiva advêm de o isolamento ser colocado no interior da caixa-de-ar. Quando, nesta solução construtiva, o isolamento térmico encontra pontos singulares como a ligação de vigas, lajes, pilares ou caixa de estores ocorre uma descontinuidade. Essa descontinuidade origina pontes térmicas, que têm de ser corrigidas de uma forma cuidada e pensadas em projeto, para uma execução correta em obra. Outro ponto menos positivo é o elevado peso destas paredes, que provoca cargas consideráveis na estrutura.

O mercado oferece-nos vários materiais que podem ser colocados nos dois panos de parede desta solução construtiva. As soluções de paredes duplas apresentadas neste documento serão todas constituídas por panos de tijolo de barro vermelho com furação horizontal.

Contudo veem-se soluções de paredes duplas como panos de tijolo maciço, tijolo com furação vertical, blocos de betão normal, blocos de betão leve de argila expandida ou blocos de betão celular autoclavado. A escolha recaiu no tijolo de barro vermelho com furação horizontal por este ser incombustível, ter bom comportamento higratérmico e acústico e de a tecnologia ser de forte tradição no mercado nacional. Por outro lado, os blocos de betão, de forma geral, têm um elevado grau de absorção de humidade e neles é

mais complicado abrir rasgos [23]. Já o tijolo maciço é termicamente menos eficiente do que o perfurado.

- 1-Reboco exterior com 1,5 cm de espessura
- 2-Tijolo cerâmico de 15 cm com furação horizontal
- 3-Caixa de ar com 3cm
- 4-Isolamento térmico
- 5- Tijolo cerâmico de 11 cm com furação horizontal
- 6- Reboco interior com 1,5 cm de espessura
- 7-Argamassa de assentamento

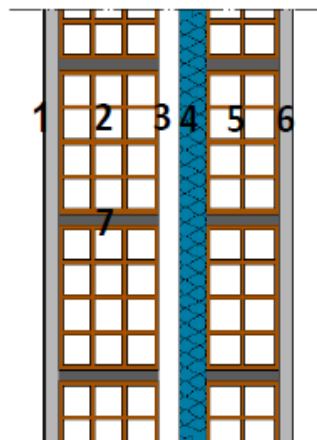


Fig.2.6. - Parede dupla tipo (Adaptado [23])

No que diz respeito ao isolamento térmico das paredes duplas do presente documento, as soluções apresentadas terão como isolamento térmico o poliestireno extrudido (XPS), que será colocado junto ao pano interior da parede dupla. A escolha recaiu neste material por ele ser comercializado em placas que contêm encaixes e estrias sendo assim mais fácil a sua colocação junto ao pano interior da parede. Esta facilidade permite uma maior produtividade em obra e menos erros de execução.

Um aspeto muito importante aquando da execução das paredes duplas é a colocação do isolamento térmico junto ao pano interior e a caixa-de-ar não ficar preenchida na sua totalidade, ficando assim um espaço de ar entre o isolamento térmico e o pano exterior da parede. Esse espaço de ar tem a função de contribuir para a secagem e a drenagem de humidade que possa surgir devido a condensações do fluxo de vapor interior-exterior, ou infiltrações pelo pano exterior. Para a solução estar bem executada a caixa-de-ar tem de ser drenada, ventilada e não pode conter qualquer tipo de detritos.

2.3.2.3. Parede simples isolada pelo exterior

Os sistemas correntes de isolamento pelo exterior de paredes são o ETICS e a fachada ventilada.

O sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System), apesar de já ser utilizado na Alemanha desde os anos 50, teve a sua utilização em grande escala nos EUA em meados dos anos 70. A crise energética provocada pelo embargo da distribuição de petróleo para os EUA, por parte dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo, deu origem a um aumento do preço do petróleo em mais de 400%. Tal acontecimento quebrou a resistência inicial face à utilização do sistema nos EUA aumentando o interesse pelos sistemas de isolamento térmico pelo exterior.

Em Portugal, só nos anos 90 se verificou uma implementação de forma abrangente dos sistemas ETICS.

O sistema ETICS desde a sua génese foi sofrendo alterações que aumentaram a sua eficiência. Atualmente na sua solução mais corrente é composto por um conjunto de camadas de diferente tipo de materiais com funções específicas. Sobre o suporte, que pode ser formado tijolo cerâmico, blocos de betão ou betão armado são fixadas mecanicamente ou por colagem as placas de isolamento térmico. As placas de isolamento térmico, que podem ser poliestireno expandido (EPS), aglomerado de cortiça

expandida (ICB) ou lã mineral, são revestidas com uma argamassa armada com fibra de vidro, disposta em diferentes camadas. Como acabamento podem ser aplicados diferentes revestimentos [24].

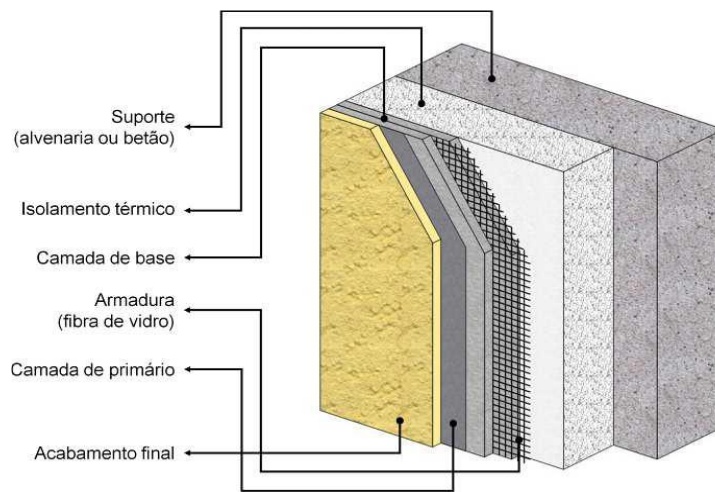


Fig.2.7 - Composição esquemática dos sistemas ETICS [25]

O sistema ETICS apresenta inúmeras vantagens, das quais se destacam:

- Aplicação contínua com redução ou eliminação de pontes térmicas;
- Diminuição do risco de condensações no interior das paredes envolventes ou à sua superfície, uma vez que a temperatura da superfície interior das paredes é mais elevada, mesmo nas que estão em contacto com vigas ou pilares, afastando-se da temperatura do ponto de orvalho;
- A temperatura da parede sempre próxima da temperatura interior;
- Potencia a inércia térmica interior;
- Diminuição na espessura das paredes exteriores;
- Aplicação em construção nova ou reabilitação;

As desvantagens associadas ao sistema ETICS estão relacionadas com o cuidado e pormenorização que tem de haver no processo construtivo, porque pequenos erros originam patologias a curto ou longo prazo. Para minorar as patologias tem de haver uma manutenção mais frequente do que a verificada nas paredes duplas.

Uma parte considerável das patologias verificadas devem-se à fissuração, que pode ter inúmeras origens das quais destaco: a dilatação térmica dos materiais, a ausência de colocação de armadura de reforço nos cantos dos vãos, a não sobreposição de camadas sucessivas de armadura ou a instabilidade do sistema devido à inadequada fixação ao suporte. Outro tipo de patologia associado são as infiltrações que podem ter origem na fissuração exterior, na deficiente ligação caixilharia/fachada e devido às fachadas com revestimento cerâmico, devido à sua impermeabilidade ao vapor. Outra desvantagem do sistema é a dificuldade em inspecionar eventuais fissuras nas paredes externas ou na estrutura no caso de abalos sísmicos [25].

A menor resistência mecânica do sistema ETICS, comparativamente à parede dupla, pode originar perfurações ou esmagamento do sistema devido a acidentes ou mesmo a ações de vandalismo. Para

reduzir o risco de perfuração e esmagamento deve-se, nas fachadas facilmente acessíveis, aplicar duas redes de fibra de vidro com 160 Kg/m³ [26].

A fachada ventilada é um método construtivo formado por duas partes principais: uma parte é a estrutura interior portante revestida e a outra parte é a camada exterior de proteção, entre elas é obrigatório a existência de uma câmara-de-ar circulante [27].

As primeiras fachadas ventiladas foram desenvolvidas de forma empírica, na Noruega durante a idade média. O seu objetivo era manter os estábulos mais isolados do ambiente externo protegendo os animais do frio intenso.

Os estudos mais aprofundados que permitiram chegar à conceção atual das fachadas ventiladas começaram na década de 40, do século XX. O sistema foi-se desenvolvendo com o intuito de proteger com maior eficácia os edifícios da chuva, do sol e do vento. Ao criar uma barreira física no paramento exterior, as fachadas ventiladas evitam que a humidade, oriunda da chuva, se infiltre nas paredes do edifício e minimiza a exposição direta destas ao sol e ao vento, evitando que as transferências caloríficas se processem de uma forma demasiado rápida, mantendo um equilíbrio térmico mais eficiente do que uma parede diretamente exposta às condições atmosféricas [28].

A caixa-de-ar permite uma ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito chaminé, o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior. Assim, são evitadas acumulações de humidade e condensações que são responsáveis por elevado número patologias.

Atualmente, os principais que constituem a fachada ventilada são:

- O revestimento exterior, tem como funções proteger a parede do edifício e dar-lhe uma componente estética;
- A caixa-de-ar, permite a ventilação natural da parede;
- A estrutura de fixação, pode ser de metal ou de madeira e tem como função dar estabilidade ao sistema para poder receber o revestimento, é através da estrutura de fixação que se consegue dar o afastamento necessário para criar a câmara-de-ar;
- Isolamento térmico, é aplicada na parede do edifício por colagem ou por fixação mecânica para garantir a sua estabilidade térmica;

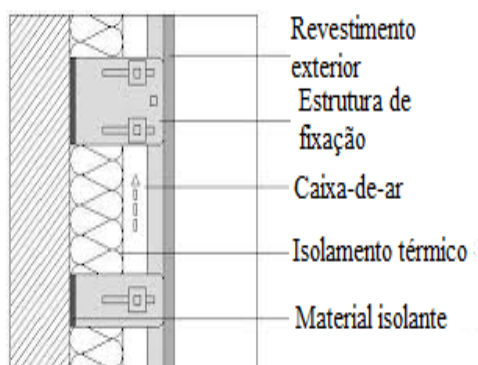


Fig.2.8. - Pormenor construtivo fachada ventilada (Adaptado de [28])

Para um detalhamento mais pormenorizado, podemos observar a Fig.2.9. que nos mostra num corte vertical e num horizontal as interações que os possíveis componentes de uma fachada ventilada têm entre si e as suas formas de fixação.

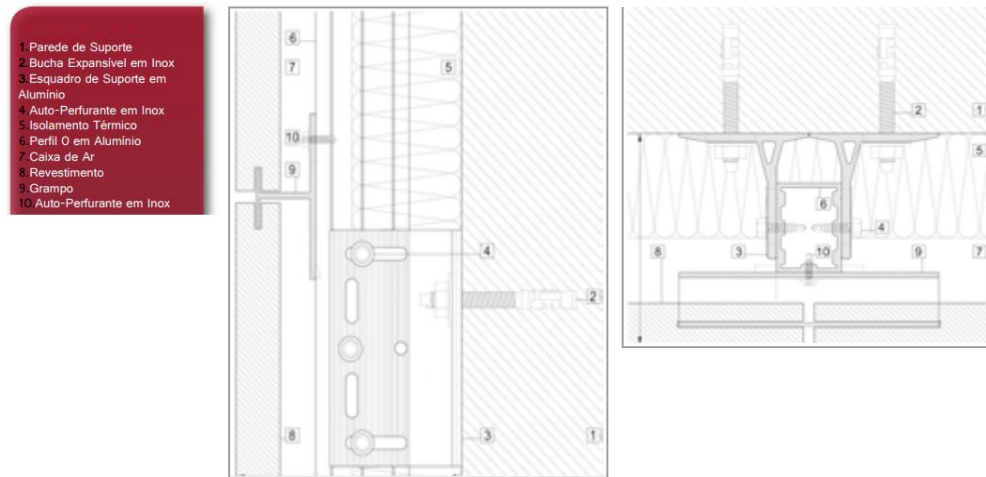


Fig.2.9. - Corte vertical e horizontal fachada ventilada [29]

As fachadas ventiladas podem ser classificadas quanto a tipo de material utilizado no seu revestimento. Segundo essa classificação, as fachadas ventiladas podem ser constituídas, por exemplo, por:

- Revestimentos de pedra natural;
- Revestimento em alumínio composto;
- Revestimentos em placas cerâmicas;
- Revestimento em betão polímero;
- Revestimentos com placas de fenólico;

Independentemente do revestimento utilizado, é crucial para um bom funcionamento da fachada ventilada ter em conta as especificidades de cada material, dado que, eles estarão em contacto ao longo de todo o tempo de vida com exposições climáticas e solicitações mecânicas muito diversas. Para tal, é indispensável ter em conta, por exemplo, no caso de revestimentos a pedra natural a massa volúmica, a absorção de água, a porosidade, o coeficiente de dilatação térmica e os módulos de flexão e elasticidade. No caso dos painéis cerâmicos são fatores muito importantes a ter em conta a pureza da matéria-prima, a relação com os aditivos, bem como o seu grau de cozimento. Neste revestimento, para evitar a rutura aquando do impacto de um objeto com força suficiente para tal, recomenda-se a aplicação de uma tela de fibra de vidro, colada no tardo da peça, para impedir a sua queda, evitando acidentes ou a ocorrência de maiores danos à fachada.

A fachada ventilada é uma opção muito válida para edificação nova, mas também para reabilitação, dado que, funciona como sistema de isolamento pelo exterior, daí maximizar a área interior do edifício e devido à sua ampla gama de revestimentos, é possível em alguns casos, reabilitar mesmo edifícios com valor patrimonial. Este ponto dá em muitos casos vantagens em relação ao ETICS.

Outras vantagens da fachada ventilada são:

- Manutenção da temperatura interna;
- Elimina pontes térmicas;
- Dilatação livre, protege o aparecimento de fissuras;

- Isolamento acústico;
- Proteção contra incêndios;
- Proteção contra raios solares;
- Proteção contra humidade;
- Diminuição do fabrico de resíduos em obra;

As desvantagens inerentes à fachada ventilada estão relacionadas com a qualidade da matéria-prima, com a má execução devido à falta de instrução, no que diz respeito à mão de obra, e também à fiscalização. O custo inicial superior aos outros sistemas construtivos aqui abordados pode ser uma desvantagem numa fase prévia. O sistema é comercializado como um pacote composto pela mão-de-obra e pelo material e para muitos isso é um inconveniente.

2.3.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são indispensáveis num edifício, uma vez que é através deles que se potencia a iluminação natural, que se ventila e que se interage visualmente com o exterior.

A procura de uma cada vez maior harmonização entre o espaço exterior e o interior, tem dado origem a um aumento da área envidraçada e consequente diminuição da zona opaca. Esse facto é vantajoso no que diz respeito à iluminação natural, à ventilação e aos ganhos solares no Inverno, mas, por outro lado, dá origem a uma envolvente exterior com uma maior quantidade de trocas térmica, com maior permeabilidade ao ar e com menor resistência mecânica [30].

Os vãos envidraçados devido à sua elevada condutibilidade térmica originam grandes perdas de calor no inverno e excessivos ganhos de calor no verão. O fluxo de calor que neles se verificam acontece de três formas distintas: condução, convecção e radiação. Sendo assim, para analisar a sua eficiência energética é necessário ter em conta propriedades como a emissividade, fator solar dos vidros e o coeficiente de transmissão térmica do conjunto caixilho e vidro.

Devido a sua maior área comparativamente com a da caixilharia, o vidro tem uma grande importância no comportamento dos vãos envidraçados. A sua emissividade, ε , que é uma característica da superfície dos corpos, quanto mais baixa, menor é a transferência de calor por radiação. O fator solar de um vidro, g , é a razão entre a energia total que entra num local através desse vidro e a energia solar incidente. Esta energia total é a soma da energia solar que entra por transmissão direta e da energia transmitida para o ambiente interior pelo vidro após o aquecimento por absorção energética.

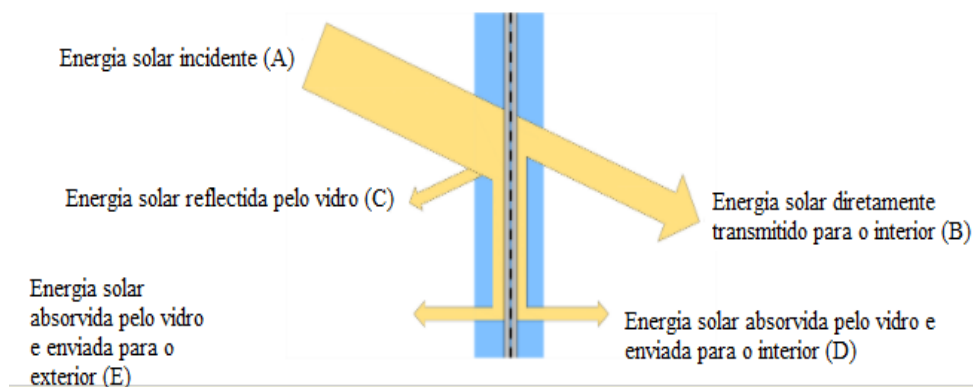


Fig.2.10. - Partição da energia incidente no vão envidraçado (Adaptado de [31])

Tendo em conta a nomenclatura apresentada na Fig.2.10., o fator solar é calculado através da expressão, $g = \frac{B+D}{A}$.

A energia solar que entra no interior do edifício através do vidro é absorvida pelos objetos e elementos opacos do seu interior, que após aquecerem, refletem uma radiação térmica fazendo assim com que a energia solar que entra pelos vãos envidraçados se concentre num local, com tendência a aquecer dando origem ao fenómeno efeito de estufa no interior dos edifícios. Este fenómeno de inverno permite ganhos solares que nos proporciona uma ótima sensação térmica, mas é altamente prejudicial no verão.

Para evitar o sobreaquecimento dos espaços no verão devem ser tomadas as seguintes medidas:

- Garantir uma correta ventilação do ar interior, ventilando os espaços durante a noite;
- Garantir uma inércia térmica interior elevada;
- Instalar dispositivos de proteção solar, sempre que possível pelo exterior;
- Recorrer a meios de sombreamento fixos, palas horizontais e verticais em torno dos envidraçados ou recorrendo à própria geometria do edifício; [21]

Para já, toda a atenção esta a recair no comportamento dos vidros, mas os vidros não são o único componente dos vãos envidraçados. Os vãos envidraçados são constituídos pelo vidro e pela caixilharia. A caixilharia é responsável pela transição entre a parte opaca e a parte envidraçada, pelo suporte do vidro, pela resistência mecânica, pela estanquidade dos vãos envidraçados.

As caixilharias podem ser de vários tipos de materiais, os mais usuais são as caixilharias em madeira, material plástico PVC e alumínio. Normalmente, as caixilharias são constituídas por aros fixos, aros móveis, vedantes, dobradiças, puxadores e ferragens. O seu sistema de abertura pode apresentar diferentes tipologias de movimento das folhas, tal como, sistema fixo, sistema de correr, sistema batente, sistema basculante ou ainda oscilo-batente.

Dada a preponderância que têm no desempenho da envolvente exterior, a seleção de um vão envidraçado adequado tem uma importância extrema. Para uma solução de vão envidraçados mais eficiente temos de ter em conta vários parâmetros, dos quais destacam-se as características especificadas pelo fabricante das caixilharias no que toca à permeabilidade ao ar, estanquidade à água, resistência ao vento, isolamento acústico, isolamento térmico e a sua resistência ao fogo. Na escolha do vidro, para além do fator solar e da emissividade já acima citados, é importante a escolha do tipo de vidro e do seu número de lâminas, mas também a escolha do gás a colocar entre as lâminas, sendo aí aconselhável um gás mais pesado com baixa condutividade térmica.

A legislação, no que diz respeito aos vãos envidraçados, estabelece requisitos mínimos que se encontram tabelados na Portaria 379-A/2015 [32] que têm obrigatoriamente de ser satisfeitos. O valor máximo admissível para coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, U_w , varia consoante a zona climática de inverno. O valor máximo admissível de U_w na zona climática I1 é de $2,8 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$, na I2 é de $2,4 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ enquanto que na zona climática I3 é de $2,2 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$.

2.3.4. ENVOLVENTE HORIZONTAL

2.3.4.1. Coberturas

As coberturas têm como principal objetivo proteger as construções das ações climáticas, proporcionar conforto térmico e dar segurança estrutural, contra os incêndios e contra a intrusão.

As coberturas são o elemento construtivo mais expostos à radiação solar, daí a sua preponderância para se obter um bom desempenho energético do edifício. Para o edifício ter um bom desempenho energético é imperioso ter em conta os fluxos de calor ascendente e descendente, que representam perdas e ganhos de calor, respetivamente.

Tal como aconteceu na envolvente vertical opaca, o isolamento térmico em Portugal só se começou a usar nas coberturas a partir de 1990. O isolamento térmico nas coberturas é crucial para limitar os fluxos de calor, mas um isolamento térmico sobredimensionado, conjugado com ventilação insuficiente, poderá conduzir a um sobreaquecimento dos espaços do edifício. Tal deve-se ao facto, do calor que entra pela envolvente vertical tem tendência a subir, encontrando um elemento horizontal com resistência térmica excessivamente elevada, fica retido no interior do espaço.

As coberturas podem ser classificadas quanto à sua forma como coberturas planas, que podem ou não ser acessíveis a pessoas e veículos, ou como inclinadas. Segundo dados do instituto nacional de estatística (INE), 95% das coberturas existentes em Portugal são inclinadas.

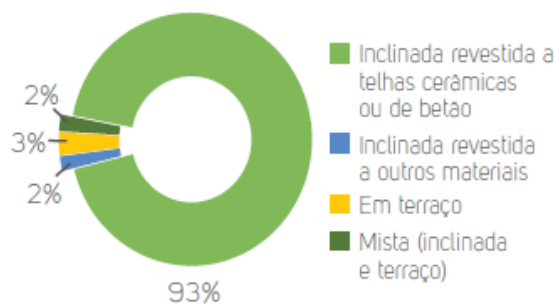
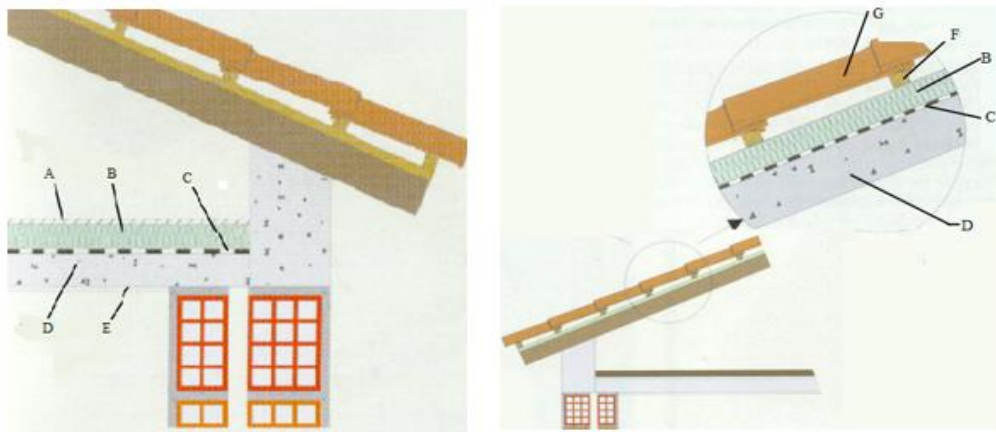


Fig.2.11. - Tipos de cobertura em Portugal até 2015 [33]

Uma cobertura diz-se inclinada quando a sua inclinação compreendida entre os 5° e os 45°. Como já vimos, as coberturas inclinadas encontram-se numa quantidade muito significativa na arquitetura portuguesa, sendo o seu revestimento mais visto na construção corrente a telha cerâmica.

O isolamento de uma cobertura inclinada, como podemos observar na Fig.2.12., pode ser colocado na laje de esteira, elemento horizontal ou na vertente, elemento inclinado. Normalmente, a opção recai sobre em colocar o isolamento na vertente quando se pretende que o sótão seja habitado.



A-Revestimento sobre o isolamento térmico

B- Isolamento térmico

C-Barreira pára-vapor

D-Laje

E-Revestimento interior

F-Ripa

G-Telha

Fig.2.12. - Constituição cobertura inclinada (Adaptado de [34])

Independentemente, da posição escolhida para o isolamento térmico ser a vertente ou a esteira, de modo geral, as vantagens associadas às coberturas inclinadas são a sua maior longevidade comparativamente com uma cobertura plana, a sua maior eficácia na drenagem da água, a possibilidade de tornar habitável o espaço extra no desvão e o seu menor peso próprio, dado que, ao contrário da cobertura plana não terá de suportar o peso da água e de neve, porque estas cairão naturalmente.

No que diz respeito a desvantagens, as coberturas inclinadas são mais caras, exigem um maior tempo de execução, necessitam de uma maior quantidade de matéria-prima e exigem um processo de execução e manutenção mais arriscado por parte dos trabalhadores.

As coberturas planas dependendo da posição do isolamento térmico e do sistema de impermeabilização são designadas por cobertura plana tradicional ou cobertura plana invertida.

Na cobertura plana tradicional o sistema de impermeabilização fica sobre o isolamento térmico, enquanto na cobertura plana invertida o sistema de impermeabilização fica abaixo do isolamento térmico.

A desvantagem associada à cobertura plana tradicional esta relacionada com o maior desgaste do sistema de impermeabilização. Esse desgaste pode-se dever a choques mecânicos ocorridos particularmente durante a execução, ao choque térmico e devido à radiação ultravioleta. O isolamento térmico podar-se-á danificar, especialmente quando chover durante a execução, devido à presença de humidade na parte inferior do sistema de impermeabilização [35].

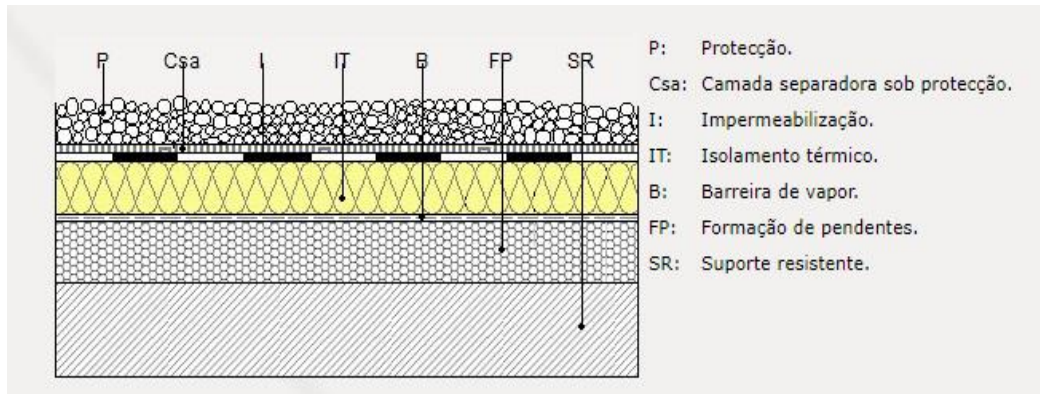


Fig.2.13. - Pormenor construtivo tipo de uma cobertura plana tradicional [36]

Na cobertura plana invertida, inverte-se a posição convencional entre o sistema de impermeabilização e isolamento térmico, neste caso, o isolamento térmico fica sobre a impermeabilização. Esta cobertura, mesmo eliminando os pontos negativos acima mencionados, não é perfeita, tem a desvantagem da água proveniente da chuva, quando a camada de proteção não é impermeável, só ser completamente drenada abaixo do isolamento térmico. Esse facto faz com que o acréscimo de humidade no isolamento térmico dê origem a uma menor resistência térmica do isolamento térmico, devido à elevada condutividade térmica da água [21].

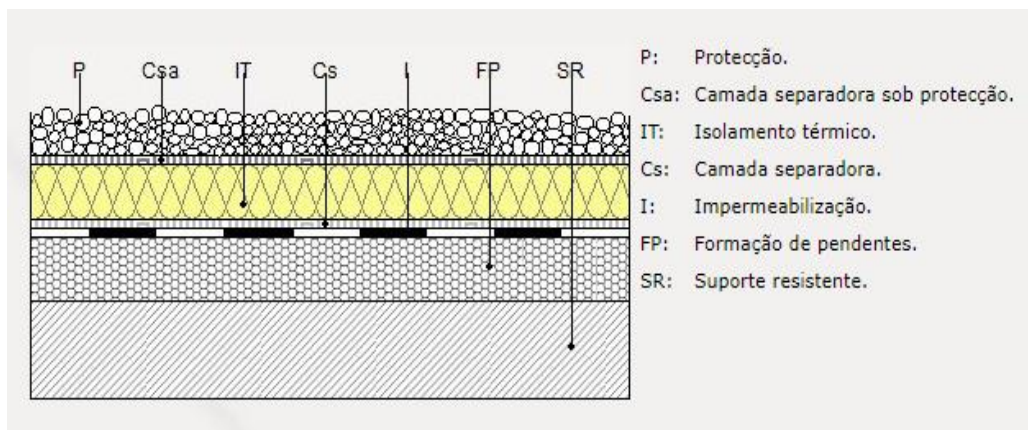


Fig.2.14. - Pormenor construtivo tipo de uma cobertura plana invertida [37]

Nas coberturas planas, há a possibilidade do material de sombreamento ser terra vegetal com vegetação na sua superfície. Quando tal acontece, as coberturas designam-se como coberturas verdes. As coberturas verdes têm vantagens térmicas devido à resistência do solo, ao sombreamento e a refletividade provocada pela vegetação reduzir os ganhos solares de verão. Para além da vantagem térmica, estas coberturas, especialmente quando inseridas em ambiente urbano, têm obvias vantagens ambientais e acústicas. O solo permeável permite também controlar/evitar cheias, porque não drenam imediatamente as águas das chuvas, diminuindo assim a afluência instantânea da água aos coletores.

Analogamente à envolvente vertical, para a solução puder convergir para nZEB há requisitos mínimos na envolvente horizontal a ser respeitados, consoante a zona climática onde o edifício se localiza. Atualmente, o valor máximo admissível para o coeficiente de transmissão térmica na zona climática I1 é de $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, na I2 é de $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ enquanto que na zona climática I3 é de $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

2.3.4.2 Pavimento Térreo

Quando estes pavimentos estão em contacto com o solo, primeiramente, é indispensável ter um conhecimento total acerca das características do solo. Dependendo da sua constituição e comportamento poder-se-á adotar diferentes métodos e soluções de impermeabilização. A boa execução do piso térreo vai influenciar o comportamento do espaço interior, contribuindo para a qualidade e resistência dos revestimentos interiores e para a salubridade do espaço interior.

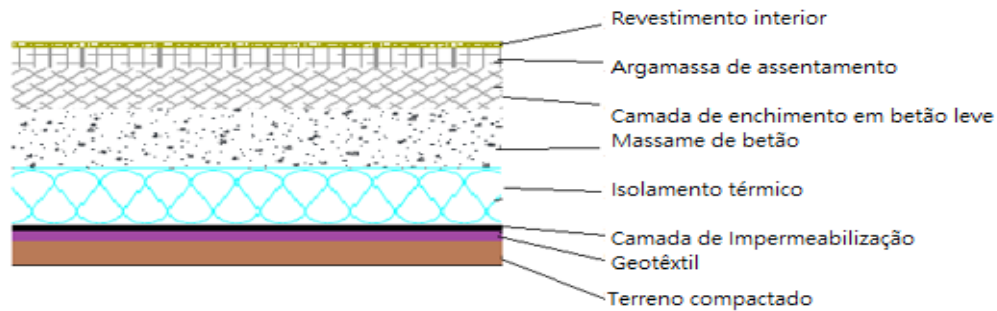


Fig.2.15. - Corte esquemático pavimento térreo

Os pavimentos térreos são sujeitos a fluxos de energia, neste caso correspondem somente a perdas de calor, caracterizadas por um fluxo de calor descendente. Sendo assim, têm de ser isolados termicamente para reduzir o mais possível a perda de calor.

Em termos de legislação, os pavimentos térreos diferenciam-se das já supracitadas coberturas e envolvente vertical, no facto de não lhes ser atribuído requisitos mínimos relativamente a valor do coeficiente de transmissão térmica.

2.4. SISTEMAS TÉCNICOS

2.4.1. QUANTIFICAÇÃO DA ENERGIA RENOVÁVEL

A quantificação da energia renovável foi feita através do programa de cálculo do sistema de certificação relativo ao aproveitamento de energias renováveis (SCE.ER), da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG).

Primeiramente, foi necessário averiguar as necessidades mínimas a satisfazer no que diz respeito às águas quentes sanitárias (AQS). Ao inserir no programa a categoria do edifício, a tipologia, a localização e esquema de instalação do aparelho de apoio, o SCE.ER, através das características de um coletor solar padrão, fornece os requisitos mínimos a energia renovável a satisfazer.

O coletor solar padrão tem as seguintes características:

- Orientado a Sul, com inclinação de 35°;
 - Planos com área de abertura de $0,65 \text{ m}^2$ por ocupante convencional;
 - Rendimento ótico de 73%;
 - Coeficientes de perdas térmicas $a_1=4,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $a_2=0,014 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91. [38]

Fig.2.16. - Programa de cálculo do SCE.ER

Posteriormente, selecionando o sistema de energia renovável pretendido para as AQS, é obrigatório selecionar um que ultrapasse o valor de energia renovável obtido na primeira fase pelo coletor padrão, aparte os casos excecionais previstos na lei.

Nos edifícios abordados neste documento, edifícios nZEB, como já foi dito, mas nunca é demais, é obrigatório para além da exigência apresentada anteriormente para as AQS, que a energia renovável produzida pelos sistemas do edifício seja superior a 50% da energia primária.

2.4.2. AQS E CLIMATIZAÇÃO

2.4.2.1. Sistema solar térmico

Portugal tem uma irradiância solar substancialmente superior à dos outros países da Europa, podendo ser somente equiparada à de Espanha, Itália e Grécia. No entanto, a Áustria, Alemanha e Grécia têm 20 vezes mais painéis solares térmicos *per capita* do que o nosso país [39].

Apesar da radiação solar incidente em Portugal ser elevada, ela não é constante durante as 24h do dia. Posto isto, o sistema solar térmico precisa de uma fonte de energia associada para os momentos que o Sol não esteja disponível. Esse sistema de apoio ao sistema solar térmico, usualmente, é um esquentador a gás ou eletricidade, mas se o objetivo for ter um aquecimento de águas sanitárias usando unicamente fontes de energia renováveis, o sistema de apoio poderá ser o esquentador, mas alimentado por um sistema fotovoltaico combinado com baterias ou uma caldeira a biomassa.

O sistema solar térmico é cada vez este mais económico, isso deve-se ao avanço tecnológico e à concorrência existente no mercado, uma vez que 94% dos novos edifícios construídos em Portugal têm coletores solares térmicos instalados [40].

O sistema solar térmico é composto por cinco subsistemas, cada um com a sua função. Os subsistemas são: captação, controlo, circulação, acumulação e sistema auxiliar. Os mesmos encontram-se representados na Fig.2.17..

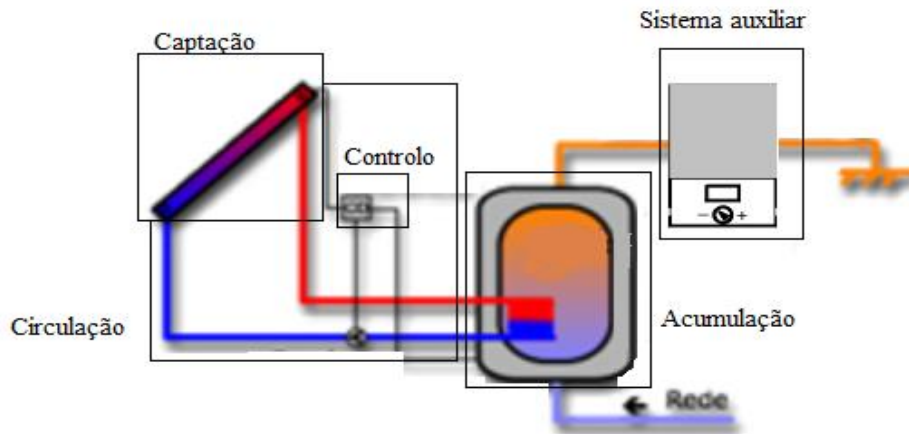


Fig.2.17. - Subsistemas sistema solar térmico (Adaptado de [41])

O princípio de funcionamento dos painéis solares térmicos consiste, primeiramente, na captação da radiação solar que incide sobre a cobertura de vidro da parte superior do coletor solar. Essa radiação, após já se ter incorporado no interior do coletor solar, transfere calor para o fluido, que circula lentamente num circuito fechado de tubos de cobre. Posteriormente, após o fluido estar suficientemente quente, os tubos de cobre entram num reservatório de água, e aí adquirem um formato serpenteado que permite maximizar o aquecimento da água, devido a uma maior superfície de contacto com a mesma.

Os sistemas solares térmicos individuais podem ser classificados quanto ao princípio de circulação e quanto ao tipo de ligação ao sistema de apoio.

Quanto ao princípio de circulação os sistemas solares térmicos podem ser:

- Sistema passivo/termossifão
- Sistema ativo/circulação forçada

A diferença entre os dois sistemas acima referidos é o fator que induz a circulação do fluido, fator esse que interfere diretamente na posição do reservatório de água. O sistema passivo/termossifão utiliza a lei da gravidade e princípios termodinâmicos para fomentar a circulação do fluido no sistema, enquanto no sistema ativo/circulação forçada, o fluido circula no sistema com auxílio de uma bomba controlada eletronicamente.

O sistema passivo/termossifão é concebido de uma forma que faz com que a água quente suba para o reservatório, que é colocado obrigatoriamente acima do painel solar, e a água fria desça para o painel solar. No Sistema ativo/circulação forçada o reservatório de água está separado dos painéis solares, podendo estar em qualquer compartimento do edifício sendo a circulação do fluido é gerida pelo controlador diferencial e pelo grupo de circulação.

A ligação ao sistema de apoio pode se efetuar em série, em paralelo ou em apoio direto ao depósito. No apoio em série, o sistema auxiliar colocado a jusante do reservatório, aquece a água do depósito que já está previamente aquecida, até à temperatura de consumo. No apoio em paralelo a água quente é misturada com a que sai do depósito, enquanto no apoio direto aquece o topo do depósito. De todas as formas de colocação do sistema auxiliar o mais eficaz é o colocado em série.

2.4.2.2. Caldeira a Biomassa

Toda a matéria orgânica que pode ser utilizada como combustível para fornecer energia constitui a biomassa. Essa matéria pode ser de natureza vegetal ou constituída pelos resíduos florestais, agrícolas ou animais.

A maior parte da biomassa utilizada tem origem na madeira das florestas e nos desperdícios originados pelo seu processamento industrial.

As caldeiras a biomassa queimam o biocombustível, que no presente documento serão as pellets, formando uma chama. Durante a combustão gera-se calor na câmara de combustão, que é transmitido para o circuito de água existente na caldeira, aquecendo a água que entrara fria no circuito. A jusante da caldeira está o reservatório que armazena a água previamente aquecida.



- 1-Isolamento térmico
- 2-Termostato de temperatura da água
- 3-Sonda de temperatura da água
- 4-Sensor de pressão
- 5-Válvula de segurança 3 BAR
- 6-Sistema limpeza e retenção de fumos
- 7-Bomba circulador
- 8-Vaso de expansão
- 9-Válvula-anticondensação
- 10-Entrada de água
- 11-Entrada de ar
- 12-Limpeza queimador
- 13-Depósito das pellets
- 14-Saída de água
- 15-Extrator de fumos
- 16-Sonda temperatura de fumos
- 17-Purgador manual

Fig.2.18. - Caldeira a pellets [42]

Como já abordado anteriormente, uma possível solução para AQS é a conjugação entre um sistema de caldeira a biomassa, neste caso pellets, e um sistema solar térmico.

Na Fig.2.19. encontra-se representado a solução acima descrita, incorporando ainda o aquecimento central do edifício.

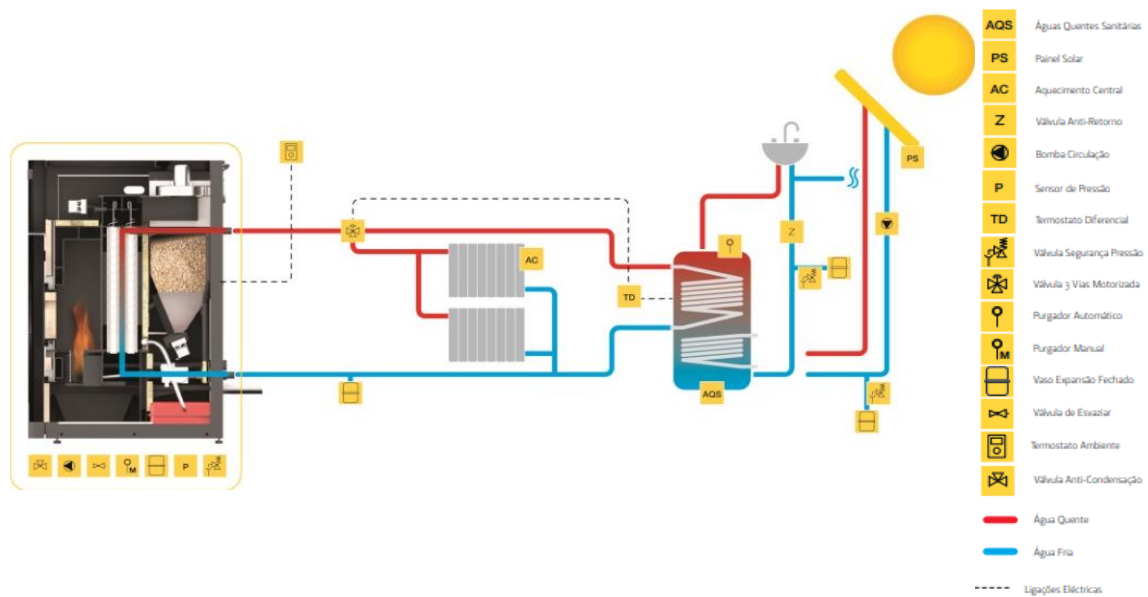


Fig.2.19. - Combinação entre a caldeira a pellets e o sistema solar térmico [42]

2.4.2.3. Bomba de calor

Tal como diz o enunciado de Clausius, “*O calor não pode fluir, de forma espontânea, de um corpo de temperatura menor, para um outro corpo de temperatura mais alta*”. Para o fluxo de calor ser invertido, dar-se no sentido de um corpo a uma temperatura inferior para um corpo a temperatura superior, tem de haver um agente externo a realizar trabalho sobre o sistema. As bombas de calor trabalham com base nesse princípio, elas retiram energia térmica do ar, da terra ou da água para a fornecer posteriormente ao meio a aquecer. Para tal, precisa essencialmente do evaporador, do condensador, do compressor, da válvula de expansão, um circuito fechado no qual percorre um fluido de trabalho e de uma quantidade relativamente pequena de energia motriz para manter o sistema em funcionamento, energia essa que é essencialmente para o compressor.

O fluido de trabalho de um ciclo termodinâmico é a substância que recebe e rejeita energia térmica enquanto percorre o ciclo. São diversos os fluidos frigorigênicos, os quais são classificados de acordo com as suas características termodinâmicas e físicas, sendo os mais usados o R407C e o R134A, apesar da tendência em serem alterados para o R410A, dado que, este tem um grau de perigosidade menor do que os já citados [28].

De uma forma simples, o princípio de funcionamento de uma bomba de calor para AQS em que a fonte do calor é o ar, pode ser descrito com base no ciclo representado na Fig.2.20.. Primeiramente, o ventilador força o ar exterior a passar no evaporador, ar esse que faz evaporar o fluido de trabalho devido ao facto deste evaporar a baixas temperaturas. Em seguida, o fluido de trabalho, que neste momento é um gás frio, é conduzido até ao compressor elétrico que lhe aumenta a sua pressão e temperatura, passando a ser um gás quente. Após o fluido de trabalho ser um gás quente, continuando ainda e sempre no circuito fechado, passa pelo permutador transferindo a sua energia para a água, aquecendo-a. À saída do permutador, o fluido de trabalho que já se encontra no estado líquido, passa na válvula de expansão reduzindo a sua pressão e temperatura, estando assim em condições de poder recomeçar o ciclo.

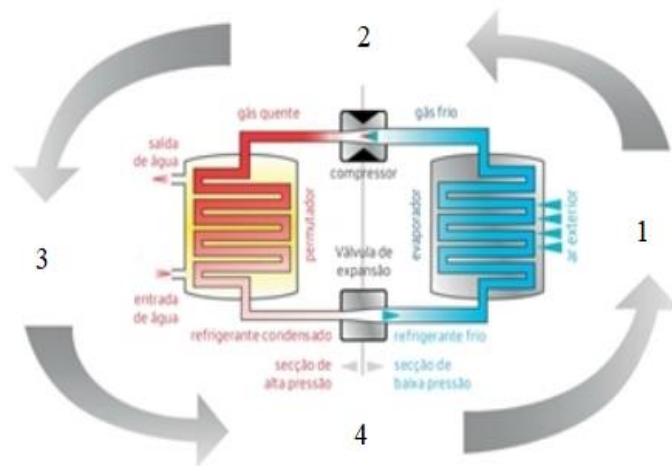


Fig.2.20. - Ciclo de compressão e expansão da bomba de calor (Adaptado de [43])

A eficiência da bomba de calor é caracterizada pelo coeficiente de desempenho do sistema, “*coefficient of performance*” (*COP*), que traduz a relação entre a potência calorífica produzida e a potência elétrica consumida pelo sistema. A título de exemplo, um *COP* igual a 4, significa que a bomba de calor com 1 kW de potência elétrica, produz 4 kW potência térmica.

Como podemos observar na Fig.2.21., o *COP* depende quer da temperatura de entrada do fluido frio, quer da temperatura final desejada, isto é, a mesma bomba de calor dependendo da temperatura de entrada do fluido frio e da temperatura no final do processo, tanto pode ter um *COP* de 2,3 ou 5,2. Sendo assim, o parâmetro mais fiável a analisar nas bombas de calor é o *SCOP*, *COP* sazonal, que uma indicação mais realista, porque é o indicador de valores médios do *COP* durante a estação de aquecimento.

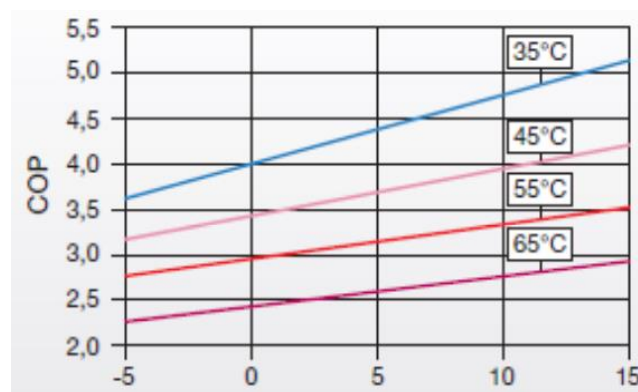


Fig.2.21. - COP bomba de calor

Este sistema tem vindo a ganhar relevância, porque o facto de utilizar pouco trabalho para mover o calor entre fontes, necessita de pouca energia comparativamente com a que é capaz de produzir, considera-o um sistema de energia renovável.

No presente projeto as bombas de calor terão como fonte de calor o ar. Estas bombas de calor só funcionam bem em climas moderados, mas como o nosso estudo destina-se somente a Portugal, isso não tem nenhum inconveniente, e tem a grande vantagem de serem mais baratas do que as que têm como fonte de calor a água ou o solo.

As bombas de calor são ideais para aquecer o pavimento radiante, porque este necessita de temperaturas a rondar os 35-40 °C, e como podemos observar na figura 2.21, é a temperatura onde as bombas de calor são mais eficazes, mas não podem estar ligadas a radiadores porque estes exigem temperaturas a rondar os 80 °C.

2.4.2.4. Sistemas Solares Fotovoltaicos

O objetivo do sistema solar fotovoltaico consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade, usando materiais que absorvem os fotões existentes na luz solar e libertam eletrões. A conversão dá-se ao nível do painel solar fotovoltaico que é constituído por várias células fotovoltaicas, que são de silício na sua grande maioria, e são formadas, no mínimo, por duas camadas de carga elétrica oposta, uma de carga elétrica positiva e outra negativa. As células fotovoltaicas não absorvem todos os fotões da luz solar, muitos são refletidos e outros passam através delas, mas quando os que são absorvidos pela camada negativa forem em número suficiente, os eletrões são libertados dessa camada para a camada semicondutora positiva, criando-se assim uma diferença de potencial entre as duas camadas, originando corrente elétrica que pode ser usada como eletricidade. Essa corrente elétrica produzida nos painéis solares fotovoltaicos não pode ser usada diretamente para uso doméstico, dado que a grande maioria dos aparelhos domésticos utiliza corrente alternada e a corrente gerada pelos painéis solares fotovoltaicos é corrente contínua é imperial utilizar um inversor de corrente, designado por AC/DC para poder-se usar a eletricidade produzida.

Devido ao facto de haver necessidades de energia elétrica fora dos períodos de exposição solar, isto é, em momentos que não se está a produzir eletricidade ou a sua produção é mínima, tem de haver um acumulador, a bateria, que através de processos químicos armazena energia elétrica sob a forma de corrente contínua e a disponibilizada de forma constante, ou então, terá de haver a possibilidade de trocas de eletricidade com a rede.

No caso de se usar baterias, para aumentar a sua vida útil e aumentar o seu desempenho, tem de se evitar sobrecargas ou descargas exageradas nelas, isso consegue-se incorporando controladores de carga a montante das baterias.

Os sistemas solares fotovoltaicos tem uma longa duração, os fabricantes dão garantia de 25 anos, mas ainda conseguem produzir eletricidade depois desse tempo, apesar da redução do rendimento. Outras vantagens dos sistemas solares fotovoltaicos são o seu baixo custo de manutenção, o facto de serem silenciosos, seguros e a independência adquirida face a distribuição da rede.

As suas desvantagens dos sistemas fotovoltaicos são o elevado custo inicial, a necessidade de acoplar baterias para a distribuição ser constante e aquando da produção dos painéis fotovoltaicos os trabalhadores ficam expostos a gases tóxicos e potencialmente explosivos. [21]



Fig.2.22. - Sistema solar fotovoltaico [44]

2.4.3. REQUISITOS GERAIS DOS SISTEMAS TÉCNICOS

Seja qual for o sistema técnico instalado, desde que a sua finalidade seja a climatização, se a potência nominal for superior a 25kW a sua instalação requer um projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), elaborado por projetista reconhecido para o efeito. Também há requisitos a ter em conta na conceção dos sistemas técnicos, esses requisitos estão relacionados com a rede de transportes e distribuição de fluidos térmicos. A espessura mínima de isolamento nas tubagens, nas condutas e acessórios e nos equipamentos e depósitos encontram-se na Fig.2.23., na Fig.2.24. e na Fig. 2.25., respetivamente.

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

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

Fig.2.23. - Espessuras mínimas de isolamento de tubagens [45]

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

Fig.2.24. - Espessuras mínimas de isolamento para condutas e acessórios [45]

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

(1) Para unidades de tratamento de ar e termoventiladores com baterias de aquecimento/arrefecimento, a espessura mínima de isolamento deve ser de 50mm, podendo ter espessura mínima de isolamento de 25mm para caudais inferiores a 1500 m³/h se a sua instalação for em espaço interior coberto e não fortemente ventilado.

Fig.2.25. - Espessuras mínimas de isolamento para equipamentos e depósitos [45]

Os sistemas técnicos devem dispor de marcação CE e ter bem caracterizado o seu desempenho energético através de uma etiqueta energética.

Os sistemas de ar condicionado, bombas de calor com ciclo reversível, chillers de arrefecimento, caldeiras a combustível líquido e gasoso devem obedecer aos requisitos mínimos abaixo tabelados.

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

Fig.2.26 - Classe de eficiência mínima [45]

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Caldeira	B	A

Fig.2.27 - Classe de eficiência mínima de caldeiras [45]

As bombas de calor para preparação de água quente destinada à climatização e AQS, devem apresentar o certificado “European Quality Label for Heat Pumps”, ou, ter o seu desempenho avaliado pelo mesmo referencial normativo, EN 14511, exigindo-se-lhes um COP mínimo de 2,3. Já as bombas de calor que têm como única função a produção de AQS exige-se o mesmo COP mínimo das acima citadas, mas nestas é determinado de acordo com EN 16147.

3

METODOLOGIA ADOTADA NO CASO DE ESTUDO**3.1. PLANO DA ANÁLISE REALIZADA**

Para conhecer e aplicar em termos práticos as condicionantes exigidas pela Portaria nº98/2019, a partir deste capítulo serão abordados vários casos de estudo que simulam a construção de um edifício nZEB. O método adotado consistiu em criar, primeiramente, um protótipo de edifício, ao qual se chamou habitação unifamiliar tipo. Em seguida, localizou-se a essa habitação em diferentes pontos do território nacional, com diferentes soluções para a envolvente exterior e diferentes combinações de sistemas técnicos responsáveis por suprir as necessidades energéticas. No total fizeram-se 273 simulações diferentes, com o auxílio da *folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de acordo com o REH*, desenvolvida pelo ITeCons da Universidade de Coimbra, e analisaram-se os seus indicadores energéticos.

Em termos de localização, o critério foi escolher localizações que fossem representativas de boa parte do zonamento climático nacional e outras que nos dessem condições climáticas severas no verão e no inverno. Para zonas representativas do zoneamento climático nacional, isto é, que a combinação entre a zona climática de verão e a zona climática de inverno fosse uma combinação comum, escolheu-se a cidade de Albufeira, que à altitude de 54 metros, tem V3 como zona climática de verão e I1 como zona climática de inverno. Esta combinação, I1-V3, é a combinação que abrange uma maior área do território nacional. Outra combinação frequente no território nacional é a combinação das zonas climáticas intermédias, I2-V2. Para exemplificar esta combinação foi escolhida a cidade de Penafiel (310 metros de altitude). A cidade de Chaves (a uma altitude de 600 metros) foi escolhida para o presente estudo, porque tem as zonas climáticas mais severas no inverno e no verão, I3-V3. A outra cidade escolhida foi Seia (1276 metros de altitude) devido ao facto de ter necessidades de aquecimento extremas. Seia tem como combinação de zonas climáticas, I3-V1.

As soluções construtivas da envolvente opaca que foram alvo da análise técnica diferenciam-se umas das outras, somente na espessura do isolamento térmico colocado.

Para se proceder à análise técnica das diferentes soluções de envolvente, primeiramente partiu-se de uma solução que tinha os coeficientes de transmissão térmica próximos, o mais possível, do limite regulamentar de cada localidade, mas cumprindo-o sempre, à qual se chamou Solução Base.

A Tabela 3.1. apresenta a Solução Base de cada uma das localidades estudadas. A Solução Base de Chaves e Seia é exatamente a mesma, devido ao facto de ambas serem I3, daí ter os mesmos coeficientes de transmissão térmica máximos, U_{max} .

Tabela 3.1. - Solução Base em cada localidade

	Parede envolvente exterior	Parede envolvente despensa	Pavimento térreo	Cobertura
Albufeira	Parede dupla: 5 cm XPS $U=0,45 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=0,50 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Parede simples Tijolo 11 $U=1,80 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=2,00 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Solução estrutural sem isolamento térmico $R_f = 0,36$ U_{max} não aplicável	Solução estrutural com 7 cm XPS $U=0,45 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq$ $U=0,40 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$
Chaves	Parede dupla: 8 cm XPS $U=0,33 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=0,35 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Parede simples Tijolo 11 $U=1,80 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=1,90 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Solução estrutural sem isolamento térmico $R_f = 0,36$ U_{max} não aplicável	Solução estrutural com 10 cm XPS $U=0,45 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq$ $U=0,30 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$
Penafiel	Parede dupla: 6 cm XPS $U=0,40 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=0,40 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Parede simples Tijolo 11 $U=1,80 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=2,00 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Solução estrutural sem isolamento térmico $R_f = 0,36$ U_{max} não aplicável	Solução estrutural com 9 cm XPS $U=0,45 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq$ $U=0,35 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$
Seia	Parede dupla: 8 cm XPS $U=0,33 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=0,35 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Parede simples Tijolo 11 $U=1,80 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq U=1,90 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$	Solução estrutural sem isolamento térmico $R_f = 0,36$ U_{max} não aplicável	Solução estrutural com 10 cm XPS $U=0,45 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ $\leq$ $U=0,30 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$

As outras soluções estudadas, como já foi referido, vão sofrer alteração na espessura do isolamento térmico, de forma faseada, por forma a interpretar o impacto de cada incremento nas necessidades nominais anuais de energia útil.

Para além da já apresentada solução base, as outras soluções estudadas foram as seguintes:

- Solução 2: Relativamente a solução base, colocou-se a parede da envolvente do espaço não útil (despensa) igual à parede envolvente exterior;
- Solução 3: Relativamente a solução base, colocação de 2cm de isolamento térmico no pavimento térreo;
- Solução 4: Relativamente à solução 3, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico no pavimento térreo;
- Solução 5: Relativamente à solução 4, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico no pavimento térreo;
- Solução 6: Relativamente à solução 2, colocou-se mais 6 cm de isolamento térmico no pavimento térreo; (A Solução 5 e a Solução 6 têm a mesma espessura de isolamento térmico, a diferença entre elas é que na Solução 6 a parede envolvente da despensa é igual à parede da envolvente exterior)

- Solução 7: Relativamente à Solução 6, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico no pavimento térreo;
- Solução 8: Relativamente à Solução 7, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico na cobertura;
- Solução 9: Relativamente à Solução 8, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico nas paredes da envolvente exterior;
- Solução 10: Relativamente à Solução 9, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico nas paredes da envolvente exterior;
- Solução 11: Relativamente à Solução 10, colocou-se mais 2 cm de isolamento térmico na cobertura;

Na Figura 3.1. estão representadas as variações ocorridas entre as 11 soluções de envolvente de cada localidade, estudadas neste documento.

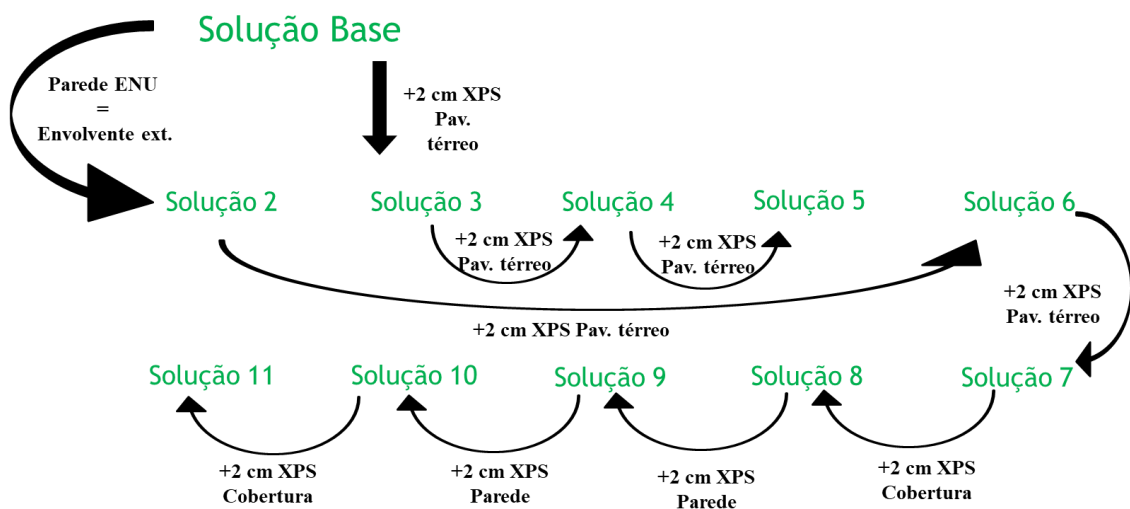


Fig.3.1. - Esquema representativo das variações entre as diferentes soluções de envolvente

A título teórico poderiam ser efetuados mais incrementos de isolamento térmico. Mas, como já estamos a lidar com espessuras bem assinaláveis para o nosso clima, clima mediterrânico, e como o conforto térmico de verão pode ser prejudicado com um aumento do isolamento térmico [46], decidiu-se, para não correr o risco de criar a falsa ideia “quanto mais melhor”, não ir além destas soluções construtivas.

Estas 11 soluções de envolvente, como quaisquer outras, originam necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Para suprir estas necessidades, e as de AQS, analisou-se a incorporação de diferentes sistemas técnicos.

Neste estudo, para aquecimento/pré-aquecimento das AQS analisou-se a instalação dos seguintes sistemas técnicos na habitação unifamiliar tipo:

- Sistema de Circulação forçada composto por dois painéis FKT-2 S com superfície útil 4,852 m² e com acumulador de 300 litros (SST1);
- Sistema de Circulação forçada composto por três painéis FKC-2 S com superfície útil 6,69 m² e com acumulador de 300 litros (SST2);
- Esquentador a gás (ESQ);
- Caldeira a biomassa (CALD 1);
- Caldeira a gás natural (CALD 2);
- Bomba de calor ar-água (BC1);
- Bomba de calor ar-água (BC3);

Para aquecimento analisou-se a incorporação dos seguintes sistemas técnicos:

- Salamandra a pellets (SAL1)
- Salamandra a pellets (SAL2)
- Caldeira a Biomassa (CALD1)
- Caldeira a gás natural (CALD 2);
- Multi-split ar-ar (MS)
- Bomba de calor ar-água (BC2);

Para arrefecimento usou-se:

- Multi-split ar-ar (MS);
- Bomba de calor ar-água (BC2);

Estes sistemas técnicos foram agrupados nas 13 combinações que se encontram representadas na Tabela 3.2..

Combinação	AQS	Aquecimento	Arrefecimento
Comb. 1	SST1 + ESQ	SAL2	MS
Comb. 2	SST2 + ESQ	SAL2	MS
Comb. 3	SST1 + ESQ	SAL1 + MS	MS
Comb. 4	SST2 + ESQ	SAL1 + MS	MS
Comb. 5	SST1 + ESQ	BC2	BC2
Comb. 6	SST2 + ESQ	BC2	BC2

Tabela 3.2. - dos sistemas	Comb. 7	CALD1	CALD1	MS	Combinação técnicos
	Comb. 8	SST1 + CALD1	CALD1	MS	
	Comb. 9	SST2 + CALD1	CALD1	MS	
	Comb. 10	SST2 + ESQ	MS	MS	
	Comb. 11	BC1	CALD1	MS	
	Comb. 12	BC3	CALD1	MS	
	Comb. 13	SST2 + CALD2	CALD2	MS	

Cada solução final (envolvente + sistemas técnicos) foi representada através de uma sigla do tipo Loc.SxCy, em que o Loc representa a localização geográfica da habitação unifamiliar tipo, podendo ser Alb (Albufeira), Cha (Chaves), Pen (Penafiel) e Seia (Seia), x e y representam o número associado à solução da envolvente e à combinação de sistemas técnicos, respetivamente. A título de exemplo a sigla Alb.S8C2 diz respeito à solução construtiva final da moradia em Albufeira com a solução da envolvente 8 e a combinação de sistemas técnicos 2.

3.2. JUSTIFICAÇÃO DE ALGUMAS OPÇÕES

Para responder aos objetivos inicialmente propostos foi concebida uma habitação unifamiliar tipo.

Depois de, no capítulo anterior, se definir a localização da habitação no território nacional, faltava escolher a localização dela dentro do concelho. Escolheu-se situa-la na periferia de uma zona urbana. O segundo passo foi a escolha da organização interior da habitação. Uma vez mais, tendo como critério, a escolha ser o mais representativa e atual possível, recorreu-se a estudos sobre a construção e o parque habitacional em Portugal, e averiguou-se que ao longo dos últimos anos, a maior parte dos edifícios licenciados e concluídos tinham como tipologia T3, daí o projeto da moradia ser do tipo T3.

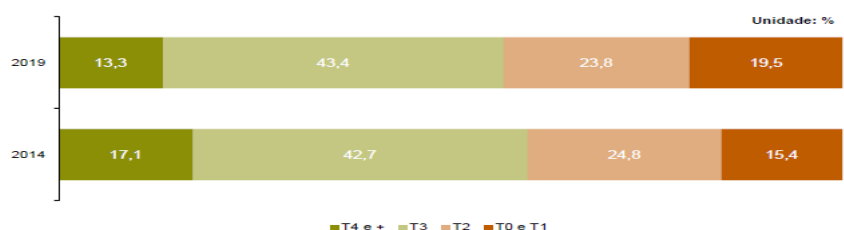
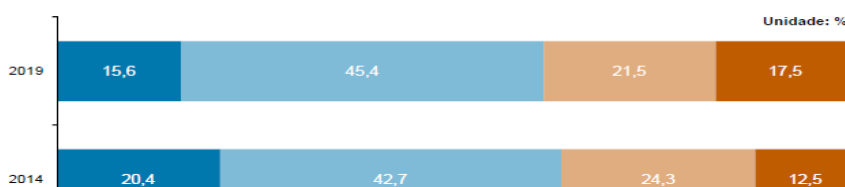


Fig.3.2. - Distribuição dos fogos licenciados por tipologia (2014 e 2019) [47]



Para se perceber o impacto de algumas variáveis, outras tiveram de ser fixas. A orientação da moradia tem impacto nas necessidades energéticas do edifício, e como o seu estudo não fez parte dos objetivos deste documento, decidiu-se, para reduzir a sua influência distribuir a área envidraçada de uma forma praticamente uniforme pelas quatro fachadas da moradia.

Mas, a influência dos vãos envidraçados nas necessidades energéticas não se restringe apenas à orientação. O seu coeficiente de transmissão térmica, U_w , a sua área, o fator solar do vidro ($g_{\perp,vi}$) e o fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção ativados (g_T), têm também uma enorme importância no comportamento térmico de um edifício. Posto isto, e tendo como objetivo reduzir o número de variáveis que intervêm nas diferentes soluções, optou-se por fazer um estudo prévio de sensibilidade, que será apresentado no capítulo 4.1., onde se fixou a solução envidraçada para cada localidade.

3.3. APRESENTAÇÃO DA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR TIPO

A habitação unifamiliar tipo objeto de estudo neste documento é térrea, todas as suas divisões têm um pé direito de 3 metros, tem cobertura plana, encontra-se inserida na periferia de uma zona urbana e é do tipo T3. Os seus $107,93 m^2$ de área útil estão divididos por três quartos (um dos quais suíte), dois WC's, um closet, um hall, uma sala, uma cozinha e uma despensa. A despensa é o único local da moradia que não é aquecido.

As plantas esquemáticas que indicam a divisão da envolvente da habitação unifamiliar tipo encontram-se no Anexo I.



Fig.3.4. - Perspetiva da habitação familiar tipo feita no Revit 2020

Na Fig.3.5. está representado o levantamento dimensional da habitação unifamiliar tipo.

Divisão	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Suíte	12,96	3,00	12,0	38,88
Closet	3,48	3,00	3,2	10,44
WC Suíte	4,70	3,00	4,4	14,10
Quarto 2	16,28	3,00	15,1	48,84
Quarto 3	13,70	3,00	12,7	41,10
Hall	15,89	3,00	14,7	47,67
WC	4,93	3,00	4,6	14,79
Sala	25,85	3,00	24,0	77,55
Cozinha	7,43	3,00	6,9	22,29
Despensa	2,71	3,00	2,5	8,13
TOTAL	107,930	3,000	100,0	323,79

Fig.3.5. - Levantamento dimensional da habitação unifamiliar tipo

Os vãos envidraçados encontram-se distribuídos de uma forma praticamente uniforme, em termos de área, pelas quatro fachadas da moradia e o único vão opaco exterior é voltado para sul. Na Fig.3.6. encontra-se representada a planta da habitação unifamiliar tipo.



Fig.3.6. - Planta da habitação unifamiliar tipo

A inércia térmica das soluções estudadas neste documento, devido ao facto delas serem pesadas e o isolamento nunca ter sido colocado no interior, a inércia das soluções todas é forte ($426,85 \text{ Kg/m}^2 > 400 \text{ Kg/m}^2$), como podemos comprovar pelos cálculos do Anexo II.

Nesta análise considerou-se também que a ventilação do edifício é mecânica, a uma taxa de 0,60 renovações por hora, Rph, valor superior ao mínimo regulamentar que é de 0,40 Rph.

4

ENVOLVENTE

4.1. ESTUDO PRÉVIO AOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Este pequeno estudo de sensibilidade tem como objetivo fixar uma solução envidraçada para cada uma das quatro localizações, dentro de uma gama de produtos analisados.

Para tal, foram variadas em cada localidade, três áreas de vãos envidraçados, três vidros duplos, todos eles com o mesmo coeficiente de transmissão térmica, mas diferente fator solar e quatro tipos de proteção solar móvel. Usou-se a folha de cálculo do REH para calcular as necessidades nominais anuais de energia útil e assim perceber qual a combinação vidro + proteção solar móvel + área envidraçada, que dentro dos produtos analisados, dá origem a menores necessidades energéticas em cada localidade.

Para perceber o impacto das variáveis, fixou-se em cada localização um coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado próximo do limite regulamentar para essa localização, mas sendo sempre menor, para o regulamento estar a ser cumprido. A mesma abordagem foi feita no coeficiente de transmissão térmica das paredes e da cobertura.

As três áreas envidraçadas usadas no estudo foram de 12% da área do pavimento, 15,5% da área do pavimento e a maior das áreas envidraçadas foi de 21,8% da área do pavimento.

Os três vidros considerados para este estudo são todos duplos e encontram-se representados na Tabela 4.1..

Tabela 4.1. - Vidros analisados no estudo

Os dispositivos móveis de proteção solar pelo exteriores analisados foram a persiana em PVC de cor clara, a persiana em PVC de cor escura e a lona transparente de cor escura, enquanto que pelo interior analisou-se a colocação das cortinas ligeiramente transparentes.

O fator solar global do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, g_T , foi calculado com base na equação (18) do Despacho n.º 15793-K/2013, e chegaram-se aos valores da Tabela 4.2..

Tabela 4.2. - Valor de g_T para cada combinação vidro duplo-dispositivo de proteção móvel

	Persiana PVC clara (P1)	Persiana PVC escura (P2)	Lona transparente (P3)	Cortinas ligeiramente transparentes (P4)
Vid.1	0,039	0,088	0,197	0,375
Vid.2	0,035	0,078	0,173	0,329
Vid.3	0,0288	0,0648	0,144	0,274

O comportamento térmico dos edifícios está intrinsecamente ligado às boas práticas de utilização dos seus dispositivos de proteção solar móveis. Como tal nem sempre se verifica, decidiu-se, tendo como objetivo evitar o sobreaquecimento no verão que ocorre facilmente se não for usado o dispositivo de proteção móvel no altura desejada, ir além das exigências regulamentares.

O	Vidro	Caracterização do vidro (Ext. + Int.)	$g_{L,vi}^1$
	Vid.1	Impresso clarglas (4 mm) + Float incolor (5 mm)	0,74
	Vid.2	Templa.lite incolor (12 mm) + Protek laminado incolor (6+6 mm)	0,65
	Vid.3	Templa.lite Solar.lite Clear (5 mm) + Float incolor (4 mm)	0,54

critério que não sendo regulamentar, se impôs, para atenuar as diferenças entre as necessidades de energia útil de arrefecimento que eram teoricamente esperadas e as que ocorreriam na prática, devido à existência de falhas na utilização do dispositivo de proteção solar móvel, por ele não ser monitorizado, foi impedir que as necessidades nominais de energia de arrefecimento ultrapassassem 80% do máximo regulamentar, $N_{vc} < 0,80 N_v$.

Sendo assim, a combinação que der origem a menores necessidades energéticas anuais em cada localização e respeite quer os critérios regulamentares, quer o critério acima estipulado, será fixa nessa localização.

No Anexo III encontram-se os valores N_{ic} e N_{vc} [kWh/m².°C], para a combinação vidro + proteção solar móvel + área envidraçada por localidade, os seus limites regulamentares, N_i e N_v , e as relações N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v , sob a forma de percentagem. A Fig.4.1. é exemplificativa da organização, no caso da moradia se localizar em Penafiel.

Penafiel														
		Vid.1 +P1	Vid.1 +P2	Vid.1 +P3	Vid.1 +P4	Vid.2 +P1	Vid.2 +P2	Vid.2 +P3	Vid.2 +P4	Vid.3 +P1	Vid.3 +P2	Vid.3 +P3	Vid.3 +P4	Max.
Menor Área envidraçada	N _{ic}	60,3	60,3	60,3	60,3	63,41	63,41	63,41	63,41	66,25	66,25	66,25	66,25	81,32
	N _{vc}	6,42	6,95	8,16	10,31	5,60	6,03	7,03	8,78	4,9	5,26	6,06	7,49	10,77
	N _{ic} /N _i	74,2%	74,2%	74,2%	74,2%	78,0%	78,0%	78,0%	78,0%	81,5%	81,5%	81,5%	81,5%	
	N _{vc} /N _v	59,6%	64,5%	75,8%	95,7%	52,0%	56,0%	65,3%	81,5%	45,5%	48,8%	56,3%	69,5%	
Área envidraçada Média	N _{ic}	55,77	55,77	55,77	55,77	59,72	59,72	59,72	59,72	63,36	63,36	63,36	63,36	84,46
	N _{vc}	7,92	8,56	10,35	13,35	6,78	7,38	8,76	11,21	5,81	6,31	7,42	9,41	10,77
	N _{ic} /N _i	66,0%	66,0%	66,0%	66,0%	70,7%	70,7%	70,7%	70,7%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	
	N _{vc} /N _v	73,5%	79,5%	96,1%	124,0%	63,0%	68,5%	81,3%	104,1%	53,9%	58,6%	68,9%	87,4%	
Maior Área envidraçada	N _{ic}	48,64	48,64	48,64	48,64	53,77	53,77	53,77	53,77	58,63	58,63	58,63	58,63	88,18
	N _{vc}	10,78	11,95	14,63	Não REG. gT-gTmax	9,03	9,97	12,17	16,04	7,53	8,31	10,08	Não REG. gT-gTmax	10,77
	N _{ic} /N _i	55,2%	55,2%	55,2%	55,2%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	66,5%	66,5%	66,5%	66,5%	
	N _{vc} /N _v	100,1%	111,0%	135,8%	-	83,8%	92,6%	113,0%	148,9%	69,9%	77,2%	93,6%	-	

Fig.4.1. - Estudo vãos envidraçados em Penafiel

Nestas tabelas, sombreou-se a vermelho mais carregado as soluções que não cumpriam os critérios regulamentares, e a vermelho mais desvanecido as que não cumpriam o critério que foi acrescentado, relativamente ao sobreaquecimento. Dentro das soluções que cumpriam todos os critérios estipulados assinalou-se a verde a que minimizava as necessidades nominais anuais de energia útil.

Com os três vidros que analisamos, os quatro dispositivos de proteção solar móvel e as três áreas envidraçadas, conclui-se que a combinação que minimiza as necessidades energéticas totais nas estações de aquecimento e arrefecimento do nosso projeto, obedecendo a todos os critérios estipulados, em Albufeira é o vidro Vid.3 conjugado com a persiana de cor clara e utilizando-se a menor área envidraçada das três analisadas. Em Chaves a melhor combinação para o projeto estudado neste documento acontece com a menor área envidraçada, o Vid.1 e a persiana de cor clara. Em Penafiel a solução que melhor satisfaz os nossos objetivos é a área envidraçada intermédia, aliada ao Vid.1 e à persiana de cor clara. A melhor solução em Seia é exatamente igual à de Penafiel.

Como já foi referido anteriormente, estas soluções passarão a ser fixas para cada localidade, não entrando em futuras variações as combinações que não se encontram na Tabela 4.3..

A Tabela 4.3 indica-nos a solução que melhor satisfaz o projeto analisado neste documento em cada localidade.

Localidade	Vidro duplo	Proteção solar móvel	Área envidraçada
Albufeira	Vid.3	Persiana de cor clara	Menor
Chaves	Vid.1	Persiana de cor clara	Menor
Penafiel	Vid.1	Persiana de cor clara	Intermédia

Seia Vid.1 Persiana de cor clara Intermédia

Tabela 4.3. - Solução envidraçada fixa em cada localidade

4.2. ANÁLISE TÉCNICA À ENVOLVENTE DA HABITAÇÃO TIPO

4.2.1. ALBUFEIRA

Nesta fase do estudo, depois de se fixar uma solução envidraçada para cada localidade, analisaram-se as necessidades nominais anuais de energia útil, para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc), que cada uma das 11 soluções de envolvente da habitação unifamiliar tipo, apresentadas no capítulo 3.1., origina.

Quando a habitação se localiza em Albufeira, o valor das necessidades de energia útil, tal como os seus máximos, encontram-se representados na Fig.4.2.. Através dela, podemos constatar que as necessidades nominais anuais de aquecimento e arrefecimento encontram-se abaixo dos seus máximos Ni e Nv, respetivamente.

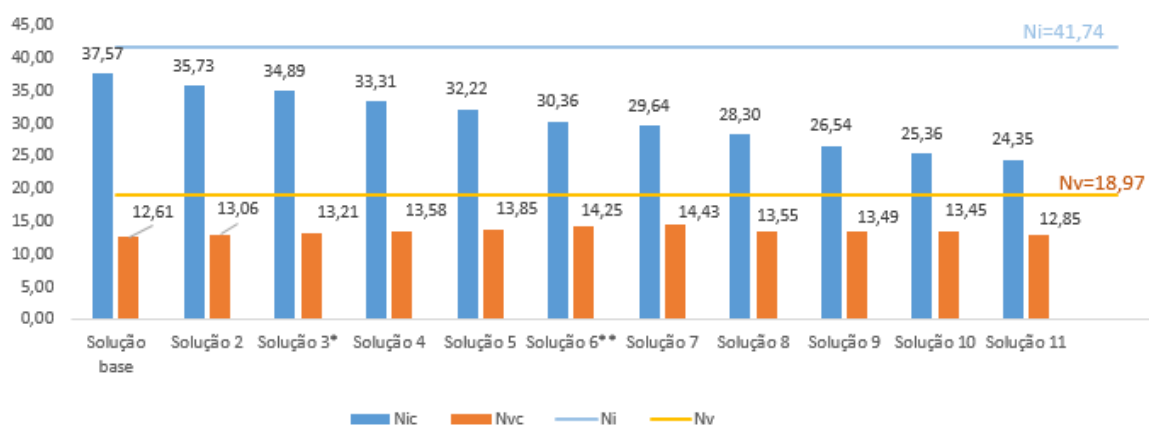


Fig.4.2. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, e aquecimento, Nic, quando a habitação tipo é analisada em Albufeira

A Portaria 98/2019, analisada anteriormente neste documento, exige que para o edifício ser considerado como nZEB, as suas necessidades nominais anuais de energia de aquecimento, Nic, não exceda 75% do valor de Ni. A mesma Portaria não faz nenhuma exigência adicional em relação às necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento, sendo assim apenas têm de satisfazer o limite do REH, $Nvc \leq Nv$.

A Fig.4.2. mostra-nos que nenhuma solução tem necessidades nominais de arrefecimento superiores ao valor de Nv, 18,97 kWh/m².ano. Sendo assim, esta exigência regulamentar é cumprida por todas as soluções estudadas, mas os dados apresentados na Fig.4.2., não permitem tirar ilações sobre a exigência

imposta aos edifícios para que estes sejam nZEB, em relação as suas necessidades nominais de energia de aquecimento, $Nic \leq 0,75 Ni$.

A Fig.4.3. indica para cada solução da envolvente estudada em Albufeira, o rácio entre o Nic e o Ni.

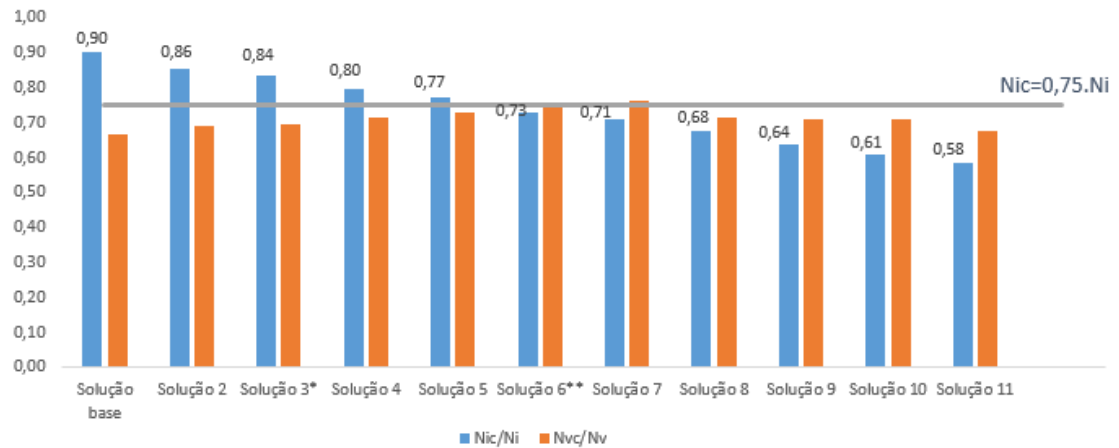


Fig.4.3 - Rácio entre Nic e Ni quando a habitação tipo se localiza em Albufeira

Observando a Fig. 4.3. constata-se que a solução base e as soluções 2, 3, 4, 5, têm o rácio entre Nic e Ni superior aos 75% exigidos pela legislação Portuguesa para os edifícios nZEB. Sendo assim, independentemente dos sistemas técnicos aliados a cada uma dessas cinco soluções e da percentagem de energia renovável disponibilizada por eles, nenhuma destas soluções torna a habitação tipo analisada neste documento, quando a mesma se situa em Albufeira, num edifício nZEB.

Para se perceber o impacto de cada “medida de melhoria” analisou-se a variação ocorrida no valor de Nic e Nvc, que a mesma originava. A Fig.4.4. mostra-nos, para além dos dados já analisados a partir da Fig.4.2. e da Fig.4.3., a variação de Nic e Nvc, relativamente a solução anterior, salvo as exceções indicadas.

	Ni	Nic	Nic/Ni	Δ Nic	Nv	Nvc	Δ Nvc
Solução base	41,74	37,57	0,90		18,97	12,61	
Solução 2		35,73	0,86	-1,837		13,06	0,45
Solução 3*		34,89	0,84	-2,671		13,21	0,60
Solução 4		33,31	0,80	-1,586		13,58	0,37
Solução 5		32,22	0,77	-1,085		13,85	0,27
Solução 6**		30,36	0,73			14,25	
Solução 7		29,64	0,71	-0,720		14,43	0,18
Solução 8		28,30	0,68	-1,340		13,55	-0,88
Solução 9		26,54	0,64	-1,760		13,49	-0,06
Solução 10		25,36	0,61	-1,180		13,45	-0,04
Solução 11		24,35	0,58	-1,010		12,85	-0,60

*A variação desta solução é feita relativamente feita relativamente à Solução base

**A variação desta solução é à Solução 2

Fig.4.4. - Variação de Nic e Nvc em

Procedendo à sua análise, podemos constatar que em Albufeira a variação de Nic é sempre negativa. Independentemente de onde se está a colocar o isolamento térmico, o seu aumento é benéfico para diminuir as necessidades nominais anuais de energia de aquecimento.

Enquanto os incrementos de isolamento são de dois em dois centímetros, ou seja, todas as soluções à exceção da solução 6 que tem um incremento de 6 cm em relação à solução base, por isso não entra na comparação, a solução que deu origem a um maior decréscimo de Nic foi a solução 9, que consistiu num aumento de 2 cm de isolamento térmico nas paredes da envolvente. Posto isto, se o objetivo fosse apenas minimizar as necessidades nominais de energia de aquecimento, e se a intervenção apenas pudesse ocorrer nas paredes, ou pavimento térreo ou na cobertura, a melhor opção para moradia tipo, quando a mesma se localiza em Albufeira, seria isolar as paredes.

Quando se analisa as necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, verifica-se logo uma grande diferença em relação ao observado na análise das necessidades nominais anuais de energia de aquecimento: as variações não são todas negativas. As soluções que estão associadas ao isolamento do pavimento térreo têm uma variação de Nvc positiva, ou seja, dão origem a maiores necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, o que não vai de encontro ao desejado. Tal acontecimento pode-se explicar devido à temperatura do solo ser inferior à do ar. Neste caso, um maior fluxo térmico entre a habitação tipo e o solo seria benéfico para reduzir as necessidades de arrefecimento, mas como o isolamento térmico reduz esse fluxo, as necessidades de energia de arrefecimento não diminuem.

Quer o isolamento da cobertura, quer o da envolvente vertical opaca, independentemente da sua quantidade, proporcionam uma redução de Nvc, mas os dois ocorrem em escalas diferentes. O isolamento da cobertura (soluções 8 e 11) dá origem a reduções muito superiores às originadas pelo isolamento das paredes da envolvente opaca (soluções 9 e 10).

Tabela 4.4. - Resumo das soluções construtivas quando a habitação tipo se localiza em Albufeira

Solução	Cumpre as exigências nZEB em relação a Nic?	Cumpre as exigências nZEB em relação a Nvc?	Pode dar origem a uma solução construtiva nZEB?
Solução Base	X	✓	Não
Solução 2	X	✓	Não
Solução 3	X	✓	Não
Solução 4	X	✓	Não
Solução 5	X	✓	Não
Solução 6	✓	✓	Sim
Solução 7	✓	✓	Sim
Solução 8	✓	✓	Sim
Solução 9	✓	✓	Sim
Solução 10	✓	✓	Sim
Solução 11	✓	✓	Sim

As soluções construtivas da envolvente que foram analisadas e poderão, dependendo dos sistemas técnicos que lhes serão acoplados, originar uma solução final com necessidades energéticas quase nulas, são as soluções 6, 7, 8, 9, 10 e a 11.

Segue-se a caracterização de cada uma delas.

Solução 6

- Parede envolvente: Parede dupla com 5cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 7 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 6 cm de XPS

Solução 7

- Parede envolvente: Parede dupla com 5cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 7 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 8

- Parede envolvente: Parede dupla com 5cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 9

- Parede envolvente: Parede dupla com 7cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 10

- Parede envolvente: Parede dupla com 9cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 11

- Parede envolvente: Parede dupla com 9cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 11 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

4.2.2. CHAVES

Seguindo o mesmo princípio da análise técnica efetuada em Albufeira, simulou-se também em Chaves 11 diferentes soluções para a envolvente da moradia tipo. Mas, como já foi apresentado anteriormente, no capítulo 3.1., as soluções serão diferentes das estudadas em Albufeira, porque as duas localidades têm diferentes zonas climáticas de inverno. Como têm exigências de coeficientes de transmissão térmica diferentes a Solução base é diferente e por consequência as outras também.

A Fig.4.5. mostra as necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, e aquecimento, Nic, e os seus respetivos máximos regulamentares exigidos pelo REH, quando a habitação tipo deste estudo é analisada em Chaves.

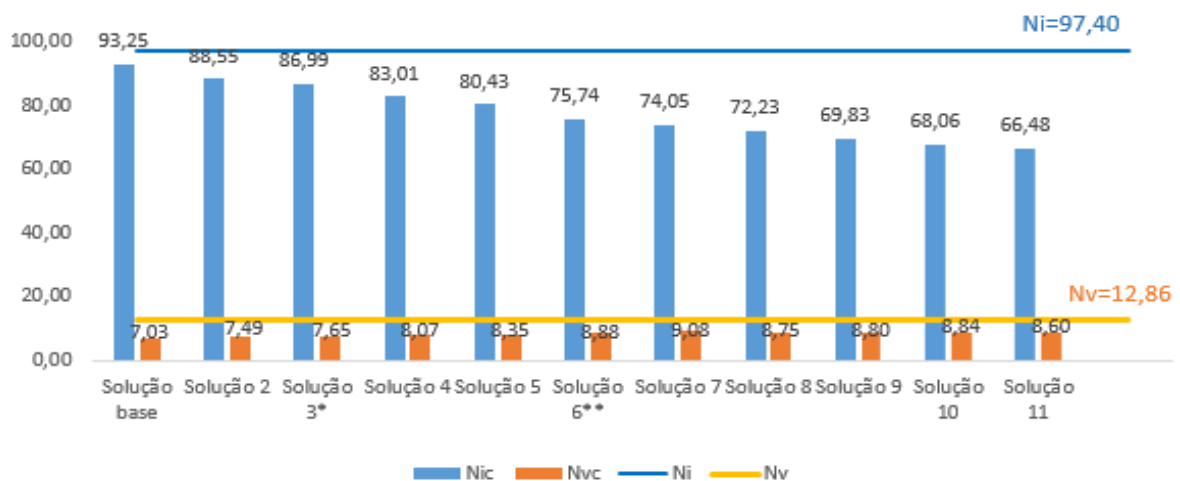


Fig.4.5. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, e aquecimento Nic quando a habitação tipo é analisada em Chaves

Fazendo-se uma análise comparativa entre os valores das necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, e aquecimento, Nic, obtidos em Albufeira e os da Fig.4.5., que dizem respeito a Chaves, verifica-se que apesar das duas serem zonas climáticas de verão V3 os valores de Nvc de Albufeira são, grosso modo, perto do dobro dos verificados em Chaves.

Quando a análise recai sobre as necessidades nominais anuais de energia de aquecimento, Nic, constata-se que as necessidades de Chaves são mais do que o dobro das necessidades em Albufeira. Tal ocorrência era esperada devido ao facto de Chaves pertencer a uma zona climática de inverno severa, I3, enquanto Albufeira pertence a zona climática de inverno mais branda, I1.

Como já foi referido, pelo facto deste documento se focar nas soluções construtivas para edifício nZEB é imperioso verificar o rácio entre o Nic e o Ni. O mesmo encontra-se representado na Fig. 4.6..

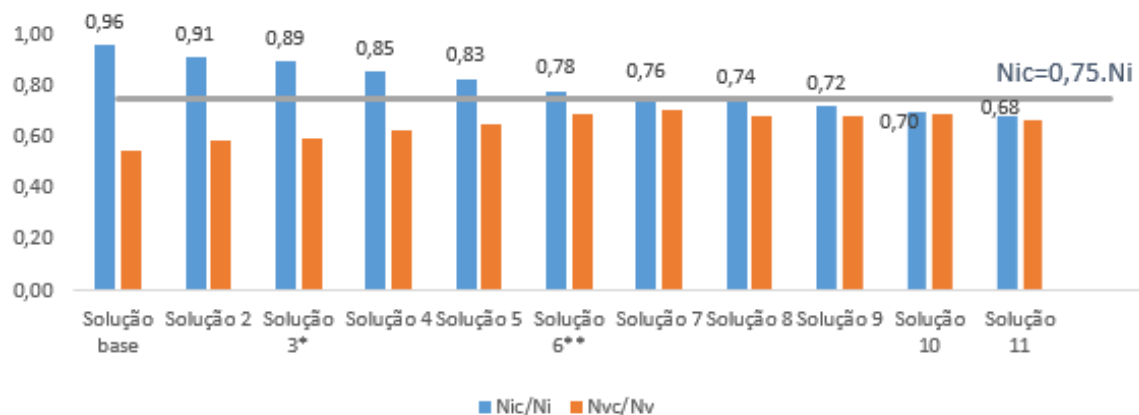


Fig.4.6. - Rácio entre Nic e Ni quando a habitação tipo se localiza em Chaves

Observando a Fig.4.6., constata-se que a Solução Base, a Solução 2, a Solução 3, a Solução 4, a Solução 5, Solução 6 e a Solução 7, tem o rácio entre Nic e Ni superior aos 75% exigidos pela legislação Portuguesa para os edifícios nZEB. Posto isto, pode-se concluir que estas sete soluções construtivas da nossa moradia tipo, quando ela se encontra localizada em Chaves não dão origem a um edifício nZEB.

	Ni	Nic	Δ Nic	Nic/Ni	Nv	Nvc	Δ Nvc
Solução base	97,40	93,25		0,96	12,86	7,03	
Solução 2		88,55	-4,700	0,91		7,49	0,46
Solução 3*		86,99	-6,260	0,89		7,65	0,62
Solução 4		83,01	-3,980	0,85		8,07	0,42
Solução 5		80,43	-2,580	0,83		8,35	0,28
Solução 6**		75,74		0,78		8,88	
Solução 7		74,05	-1,690	0,76		9,08	0,20
Solução 8		72,23	-1,820	0,74		8,75	-0,33
Solução 9		69,83	-2,400	0,72		8,80	0,05
Solução 10		68,06	-1,770	0,70		8,84	0,04
Solução 11		66,48	-1,580	0,68		8,60	-0,24

*A variação desta solução é feita relativamente feita relativamente à Solução base

**A variação desta solução é à Solução 2

Fig.4.7. - Variação de Nic e Nvc em Chaves

Pela análise da Fig.4.7. podemos inferir que, tal como em Albufeira, as variações associadas às necessidades nominais de energia de aquecimento são todas negativas, independentemente do local da envolvente onde se coloca o isolamento.

Quando se analisa as variações na estação de arrefecimento, verifica-se que apenas as Soluções 8 e 11 dão origem a um decréscimo das necessidades nominais de energia de arrefecimento. O ponto comum entre elas é o facto do isolamento térmico ser colocado na cobertura. Quando o mesmo é colocado na parede e no pavimento térreo dá origem a um incremento de Nvc.

Em Albufeira o acréscimo de isolamento térmico originava uma diminuição das necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, quer quando era colocado na parede da envolvente exterior, quer quando era colocado na cobertura, tal não se verifica em Chaves.

A Tabela 4.5. apresenta as soluções construtivas que foram estudadas neste documento, que cumprem as exigências relativas às necessidades nominais anuais de energia útil quando a habitação tipo se localiza em Chaves.

Tabela 4.5. - Resumo das soluções construtivas quando a habitação tipo se localiza em Chaves

Soluções	Cumpram as exigências nZEB em relação a Nic?	Cumpram as exigências nZEB em relação a Nvc?	Pode dar origem a uma solução construtiva nZEB?
Solução Base	X	✓	Não
Solução 2	X	✓	Não
Solução 3	X	✓	Não
Solução 4	X	✓	Não
Solução 5	X	✓	Não
Solução 6	X	✓	Não
Solução 7	X	✓	Não
Solução 8	✓	✓	Sim
Solução 9	✓	✓	Sim
Solução 10	✓	✓	Sim
Solução 11	✓	✓	Sim

As soluções construtivas da envolvente que foram analisadas e poderão, dependendo do tipo e da eficiência dos sistemas técnicos que lhes serão inseridos, originar uma solução construtiva com necessidades energéticas quase nulas, são as soluções 8, 9, 10 e a 11.

Segue-se a caracterização de cada uma delas.

Solução 8

- Parede envolvente: Parede dupla com 8cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 12 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 9

- Parede envolvente: Parede dupla com 10 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 12 cm de XPS

- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 10

- Parede envolvente: Parede dupla com 12cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 12 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 11

- Parede envolvente: Parede dupla com 12 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 14 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

4.2.3. PENAFIEL

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento da habitação tipo quando a mesma se localiza em Penafiel encontram-se representadas na Fig.4.8..

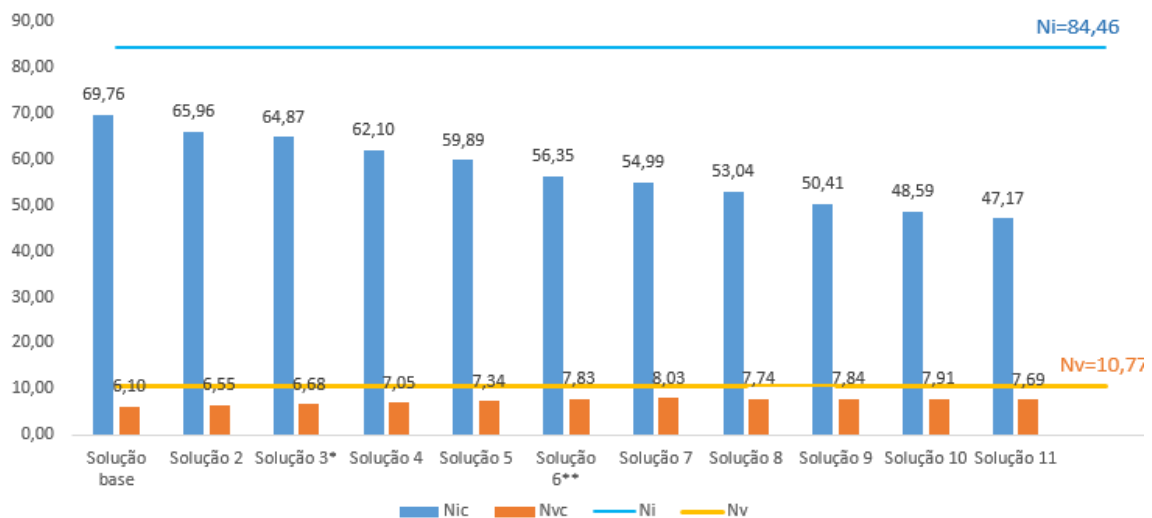


Fig.4.8. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc e aquecimento Nic quando habitação tipo é analisada em Penafiel

Relembrando, Penafiel pertence quer no inverno, quer no verão à zona climática intermédia, I2 e V2, respetivamente.

Fazendo uma breve comparação entre as necessidades nominais anuais de energia de aquecimento, Nic, quando a moradia tipo se encontra em Chaves e Penafiel, podemos constatar que, como seria de esperar pelo facto de Chaves pertencer a uma zona climática de inverno severa, I3, enquanto Penafiel pertence a uma moderada, I2, as necessidades nominais anuais de energia de aquecimento, Nic, são substancialmente superiores em Chaves.

Quando se tem o mesmo raciocínio para as necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc, devido ao facto de em termos de zonamento climático de verão se verificar o mesmo que no

inverno, ou seja, Penafiel pertencer a uma zona moderada e Chaves a uma severa, à priori, também se diria, tal como na energia de aquecimento, que as necessidades de arrefecimento em Chaves seriam substancialmente superiores às de Penafiel. Tal não se verifica, a diferença entre as necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, N_{vc} , entre Chaves e Penafiel são muito pequenas. Em parte, isso pode ser explicado pelo facto da solução de envidraçados das duas cidades serem diferentes. O vidro e o dispositivo de proteção móvel são os mesmos, mas a área envidraçada de Chaves é menor do que a de Penafiel. Essa diferença atenua, em Chaves, os ganhos solares na estação de arrefecimento, ficando assim equiparadas as necessidades de arrefecimento entre Chaves e Penafiel.

Para averiguar quais as soluções, que das analisadas poderão tornar a moradia tipo num edifício nZEB em Penafiel, volta-se a atenção para o rácio entre N_{ic} e N_i . O mesmo encontra-se representado a figura abaixo.

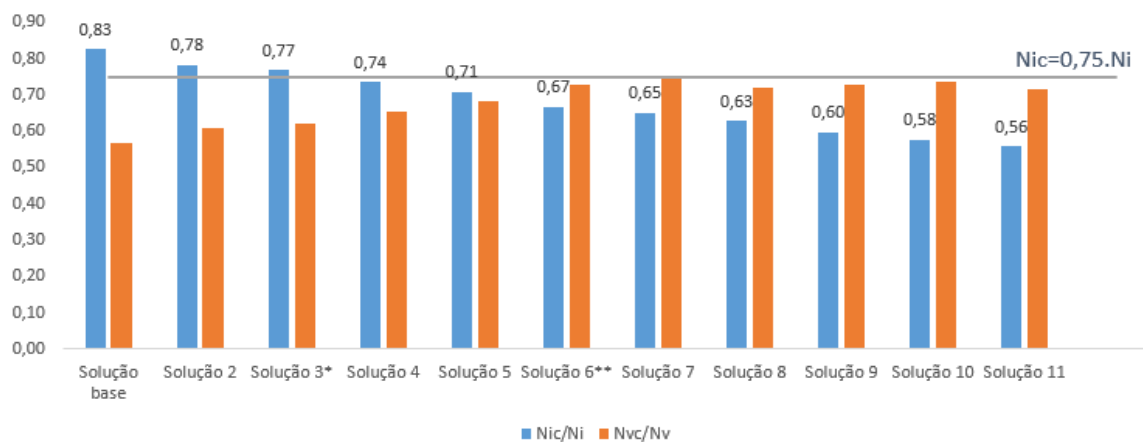


Fig.4.9. - Rácio entre N_{ic} e N_i quando a moradia se localiza em Penafiel

Da observação dos dados da Fig.4.9. conclui-se facilmente que o critério regulamentar que exige que $N_{ic} \leq 0,75 N_i$ apenas não é cumprido nas três primeiras soluções, podendo assim as restantes dar origem a edifícios com necessidades energéticas quase nulas, nZEB.

Com o objetivo de averiguar qual o impacto que cada incremento de isolamento térmico tem no valor de N_{ic} , e posteriormente no valor de N_{vc} , compararam-se as diferentes soluções.

O resultado da comparação encontra-se na Fig.4.10..

	Ni	Nic	Δ Nic	Nic/Ni	Nv	Nvc	Δ Nvc
Solução base	84,46	69,76		0,83	10,77	6,10	
Solução 2		65,96	-3,80	0,78		6,55	0,45
Solução 3*		64,87	-4,90	0,77		6,68	0,58
Solução 4		62,10	-2,77	0,74		7,05	0,37
Solução 5		59,89	-2,21	0,71		7,34	0,29
Solução 6**		56,35		0,67		7,83	0,49
Solução 7		54,99	-1,36	0,65		8,03	0,20
Solução 8		53,04	-1,95	0,63		7,74	-0,29
Solução 9		50,41	-2,63	0,60		7,84	0,10
Solução 10		48,59	-1,82	0,58		7,91	0,07
Solução 11		47,17	-1,42	0,56		7,69	-0,22

*A variação desta solução é feita relativamente à Solução base

**A variação desta solução é feita relativamente à Solução 2

Fig.4.10. - Variação de Nic e Nvc em Penafiel

Da observação da Fig.4.10. constata-se que, tal como em Albufeira e Chaves, qualquer incremento de isolamento térmico, independentemente do local, diminui as necessidades de energia nominal de aquecimento.

Quando se analisa as necessidades de arrefecimento constata-se, o já verificado em Chaves, apenas o isolamento da cobertura diminui o valor de Nvc.

A Tabela 4.6. mostra as soluções de envolventes analisadas para a habitação tipo de Penafiel que cumprem as necessidades nominais anuais de energia útil impostas aos edifícios nZEB

Tabela 4.6. - Resumo das soluções construtivas quando a moradia tipo se localiza em Penafiel

	Cumpr. as exigências nZEB em relação a Nic?	Cumpr. as exigências nZEB em relação a Nvc?	Pode dar origem a uma solução construtiva nZEB?
Solução Base	X	✓	Não
Solução 2	X	✓	Não
Solução 3	X	✓	Não
Solução 4	✓	✓	Sim
Solução 5	✓	✓	Sim
Solução 6	✓	✓	Sim
Solução 7	✓	✓	Sim
Solução 8	✓	✓	Sim
Solução 9	✓	✓	Sim
Solução 10	✓	✓	Sim
Solução 11	✓	✓	Sim

Só a Solução base, a Solução 2 e a Solução 3 ficam automaticamente excluídas de tornarem a habitação tipo de Penafiel num edifício nZEB.

Segue-se a caracterização das soluções que poderão tornar a moradia tipo num edifício com necessidades energéticas quase nulas.

Solução 4

- Parede envolvente exterior: Parede dupla com 6 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 4 cm de XPS
- Parede envolvente ENU: Parede simples de tijolo de 11

Solução 5

- Parede envolvente exterior: Parede dupla com 6 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 6 cm de XPS
- Parede envolvente ENU: Parede simples de tijolo de 11

Solução 6

- Parede envolvente: Parede dupla com 6 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 6 cm de XPS

Solução 7

- Parede envolvente: Parede dupla com 6 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 9 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 8

- Parede envolvente: Parede dupla com 6 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 11 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 9

- Parede envolvente: Parede dupla com 8 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 11 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 10

- Parede envolvente: Parede dupla com 10cm de XPS

- Cobertura: Solução estrutural com 11 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 11

- Parede envolvente: Parede dupla com 10 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 13 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

4.2.4. SEIA

Por fim, no que diz respeito às análises técnicas da envolvente, analisou-se o impacto que cada solução tinha nas necessidades nominais de energia de aquecimento e arrefecimento, quando a moradia tipo se localiza em Seia.

O facto de Seia ser, das localizações estudadas neste documento, a única V1, à priori, já seria de esperar que fosse precisamente aqui se verificariam as menores necessidades de arrefecimento. O mesmo é comprovado na Fig.4.11..

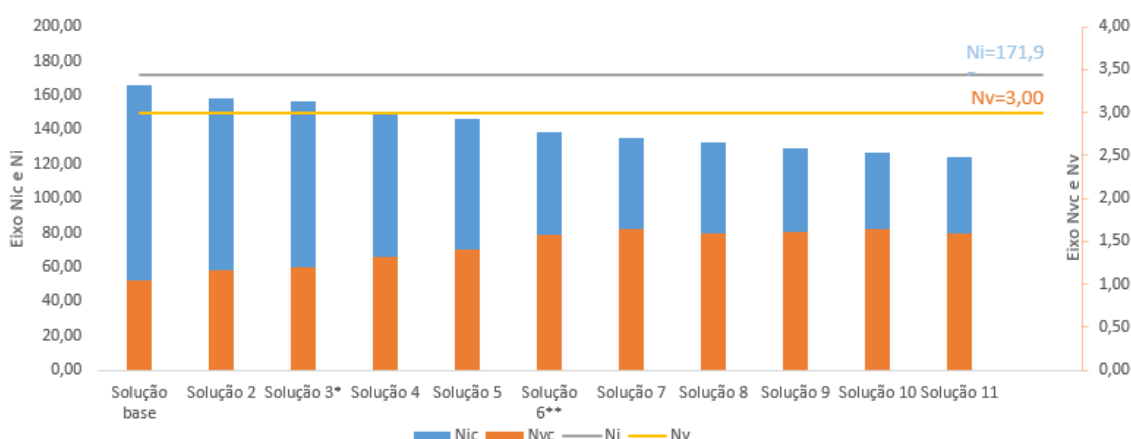


Fig.4.11. - Necessidades nominais anuais de energia de arrefecimento, Nvc e aquecimento Nic quando a habitação tipo é analisada em Seia

Quanto as necessidades de aquecimento, apesar de não ser a única I3, Chaves também o é, Seia tem um valor de Nic cerca do dobro do verificado em Chaves. Tal facto, tem como explicação os graus-dia de cada localização. Como já referido, são as duas I3, isto é, as duas têm mais de 1800 graus-dia, mas separam-nas mais de mil graus-dia. Enquanto Chaves tem 1903 graus-dia, Seia tem 3011. Esses 1108 graus-dia de diferença já seriam um motivo para explicar a enorme diferença no valor de Nic registado nas duas localizações.

Essa diferença só não é ainda mais acentuada devido ao facto das duas localidades terem diferentes áreas envidraçadas. As duas têm o mesmo vidro e o mesmo dispositivo de proteção solar móvel, mas a área envidraçada de Seia é superior à de Chaves, o que aumenta as trocas térmicas entre o interior e o exterior. Esse aumento verificado em Seia, comparativamente a Chaves, fez com que os ganhos solares da estação de aquecimento fossem superiores em Seia relativamente a Chaves, atenuando assim a diferença no Nic das duas localidades.

Com o objetivo de encontrar uma solução de envolvente que pode dar origem a edifícios nZEB, analisou-se o rácio entre Nic e Ni.

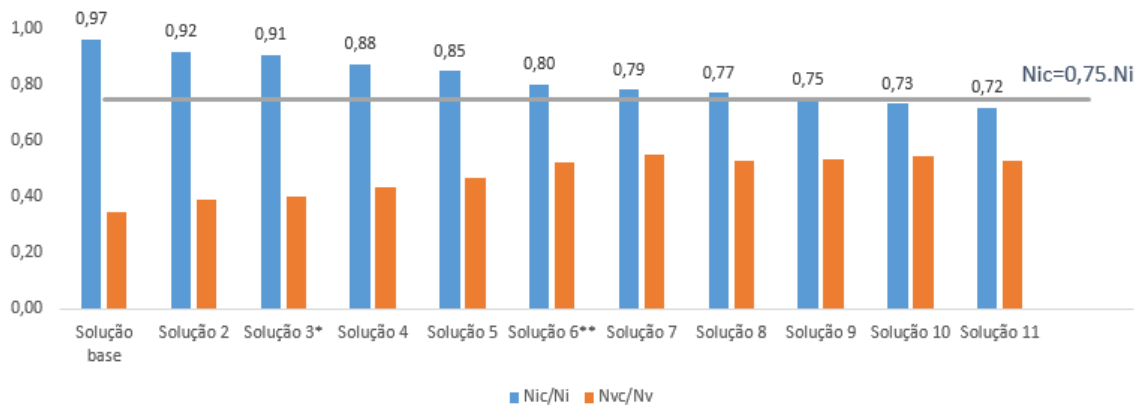


Fig.4.12. - Rácio entre Nic e Ni quando a habitação tipo se localiza em Seia

Analisando os dados da Fig.4.12, verifica-se que as primeiras oito soluções não têm os requisitos impostos aos edifícios nZEB pelo facto do quociente entre Nic e Ni ser superior a 0,75.

	Ni	Nic	Δ Nic	Nic/Ni	Nv	Nvc	Δ Nvc
Solução base	171,95	165,93		0,97	3,00	1,04	
Solução 2		158,02	-7,91	0,92		1,17	0,13
Solução 3*		156,30	-9,63	0,91		1,20	0,16
Solução 4		150,46	-5,85	0,88		1,31	0,11
Solução 5		146,33	-4,13	0,85		1,40	0,09
Solução 6**		138,25		0,80		1,58	
Solução 7		134,98	-3,27	0,79		1,65	0,07
Solução 8		132,75	-2,24	0,77		1,59	-0,06
Solução 9		129,06	-3,69	0,75		1,61	0,02
Solução 10		126,32	-2,74	0,73		1,64	0,03
Solução 11		123,80	-2,52	0,72		1,59	-0,05

*A variação desta solução é feita relativamente à Solução base

**A variação desta solução é feita relativamente à Solução 2

Fig.4.13. - Variação de Nic e Nvc em Seia

A Fig.4.13. corrobora, o que se verificou quando se procedeu ao mesmo tipo de análise em Chaves e Penafiel, quer na análise da estação de aquecimento, quer na de arrefecimento.

Qualquer incremento de isolamento térmico, seja na parede, seja na cobertura ou no pavimento térreo diminui as necessidades nominais de energia de aquecimento.

Tabela 4.7.- Resumo das soluções construtivas quando a moradia tipo se localiza em Seia

	Cumprir as exigências nZEB em relação a Nic?	Cumprir as exigências nZEB em relação a Nvc?	Pode dar origem a uma solução construtiva nZEB?
Solução base	X	✓	Não
Solução 2	X	✓	Não
Solução 3	X	✓	Não
Solução 4	X	✓	Não
Solução 5	X	✓	Não
Solução 6	X	✓	Não
Solução 7	X	✓	Não
Solução 8	X	✓	Não
Solução 9	✓	✓	Sim
Solução 10	✓	✓	Sim
Solução 11	✓	✓	Sim

Segue-se a caracterização das soluções de envolvente que, dependendo dos sistemas técnicos da moradia tipo, poderão torna-la num edifício nZEB quando a mesma se localiza em Seia.

Solução 9

- Parede envolvente: Parede dupla com 10 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 12 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 10

- Parede envolvente: Parede dupla com 12cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 12 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

Solução 11

- Parede envolvente: Parede dupla com 12 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 14 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 8 cm de XPS

5

ENVOLVENTE E SISTEMAS TÉCNICOS

5.1 DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

A avaliação do desempenho energético dos edifícios de habitação não depende apenas da solução adotada para a envolvente. O desempenho energético depende da conjugação da envolvente com os sistemas técnicos responsáveis pelo aquecimento, pelo arrefecimento e pelas AQS.

O desempenho energético dos edifícios de habitação é classificado através do quociente entre dois balanços de energia: as necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} , e o seu limite regulamentar, N_t . Estes balanços energéticos efetuam-se pressupondo que a temperatura interior durante a estação de aquecimento e arrefecimento são fixas e têm o valor de 18°C e 25°C , respetivamente [48].

Quer a quantificação de N_{tc} , quer a quantificação de N_t , tem em conta as energias úteis para aquecimento, para arrefecimento e para AQS, mas o valor de N_t não contempla a energia para ventilação mecânica, considera a ventilação como sendo natural. Este facto prejudica o valor de N_{tc} , quando a ventilação do edifício é feita de forma mecânica.

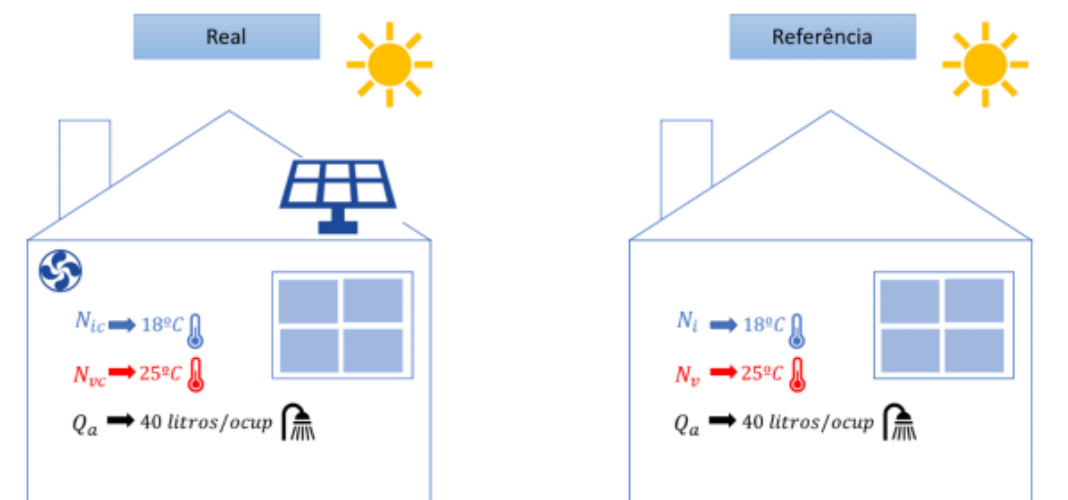


Fig.5.1. - Energia contabilizada nos cálculos de N_{tc} e de N_t [48]

Por outro lado, o Ntc e consequentemente o desempenho energético do edifício saem muito beneficiados com a componente renovável da energia. Como podemos ver na equação 5.1, no cálculo de Ntc, a componente renovável entra a subtrair, diminuindo assim o valor de Ntc e dando assim origem a um menor quociente entre Ntc e Nt, devido ao facto da mesma parcela não entrar no balanço de Nt.

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} [kWh_{EP} / (m^2 \cdot ano)] \quad (5.1)$$

A energia utilizada para suprimir as necessidades de aquecimento, as necessidades de arrefecimento, as necessidades relativas às águas quentes sanitárias e a ventilação pode ser de vários tipos e ter várias origens e os sistemas técnicos disponíveis no mercado têm uma elevada gama de eficiência. Sendo assim, para uniformizar essa energia, e assim ser devidamente equiparada, a energia útil é transformada em energia final, tendo em conta a eficiência do aparelho que a debita, η , e a energia final é convertida em energia primária através do fator de conversão, F_{pu} , ficando assim em condições de ser comparada.

5.2. RÁCIO NTC/NT EM EDIFÍCIOS nZEB

Com o objetivo de analisar o impacto que a eficiência e a proveniência da energia do sistema técnico têm no desempenho energético da moradia tipo, e posteriormente no custo na solução final, incorporaram-se os sistemas técnicos na moradia tipo estudada.

Para tal, avaliou-se o desempenho energético das soluções finais (envolvente + sistemas técnicos), que em cada localidade eram potenciais nZEB. Recapitulando, as soluções da envolvente potenciais nZEB em Albufeira são a 6, 7, 8, 9, 10 e 11, em Chaves são as soluções 8, 9, 10 e 11, em Penafiel as soluções 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 e as soluções 9, 10 e 11 de Seia.

A solução construtiva final para ser um edifício nZEB, obrigatoriamente tem de respeitar o critério $N_{tc}/N_t \leq 0,50$, a sua energia renovável tem de ser igual ou superior a 50% da energia primária e a componente da energia renovável das AQS tem de ser superior à energia renovável disponibilizada pelo coletor solar padrão, já caracterizado no capítulo 2.4.1..

A metodologia da folha de cálculo utilizada neste estudo, exigiu a inserção da potência nominal e da eficiência em todos os sistemas técnicos que foram analisados neste documento, exceto nos coletores solares, dado que, nestes últimos considera-se que eles não necessitam de energia não-renovável na produção de energia renovável.

A quantificação da energia produzida pelo sistema solar térmico foi efetuada através do programa de cálculo do sistema de certificação relativo ao aproveitamento de energias renováveis, SCE.ER.

A seguir, na Tabela 5.1., são apresentados a potência e a eficiência de cada sistema técnico utilizado nesta análise, enquanto as outras características e o respetivo preço encontram-se no Anexo IV.

Tabela 5.1. - Caracterização dos sistemas técnicos analisados

Sistema	Sigla	Potência nominal [kW]	Eficiência
Esquentador a gás	ESQ	30,5	$\eta=0,93$
Caldeira a pellets	CALD1	24	$\eta=0,93$
Caldeira a gás natural	CALD2	30	$\eta(\text{AQS})=0,90$ $\eta(\text{aq.})=0,95$
Salamandra a pellets	SAL1	11	$\eta=0,89$
Salamandra a pellets	SAL2	14	$\eta=0,945$
Bomba de calor ar-água	BC1	1,8	COP=4,18
Bomba de calor ar-água	BC2	Paq.= 17,4 Parre.=13	SCOP=4,76 SEER=5,79
Bomba de calor ar-água	BC3	1,8	COP=2,9
Multi-split ar-ar	MS	Paq.= 5 Parre.=5	COP=4,2 EER=8,2

5.3. INFLUÊNCIA DA ENVOLVENTE E DOS SISTEMAS TÉCNICOS NO VALOR DE NTC/NT

Para compreender a influência dos sistemas técnicos no valor de Ntc/Nt, introduziu-se cada uma das 13 combinações de sistemas técnicos nas diferentes soluções de envolvente, perfazendo um total de 273 soluções construtivas finais diferentes ((6 Alb+4 Cha+8 Pen+3 Seia) x 13).

Para sistematizar a informação de cada solução construtiva, dada pela folha de cálculo do REH, agrupou-se a informação em tabelas como as apresentadas na Fig.5.2. e na Fig.5.3.. As restantes tabelas encontram-se no Anexo V.

As combinações assinaladas a vermelho são as que não obedecem aos critérios regulamentares impostos aos edifícios nZEB, quer por ter $Ntc/Nt > 0,50$, quer por terem uma percentagem de energia renovável para AQS inferior à disponibilizada pela coletor padrão ou por ter uma percentagem global de energia renovável inferior a 50% da energia primária, bastando infringir um dos requisitos, para já não ser um edifício nZEB.

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	Sigla
Solução 6	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	83,41	0,34	Alb. S6C1
	Comb2		94,78	84,36	0,33	Alb. S6C2
	Comb3		91,41	81,98	0,39	Alb. S6C3
	Comb4		94,78	82,98	0,38	Alb. S6C4
	Comb5		91,41	73,40	0,63	Alb. S6C5
	Comb6		94,78	74,36	0,62	Alb. S6C6
	Comb7		100,00	86,22	0,31	Alb. S6C7
	Comb8		100,00	85,95	0,31	Alb. S6C8
	Comb9		100,00	85,95	0,31	Alb. S6C9
	Comb10		94,78	74,51	0,65	Alb. S6C10
	Comb11		79,18	76,08	0,49	Alb. S6C11
	Comb12		65,62	76,20	0,56	Alb. S6C12
	Comb13		94,78	43,05	0,69	Alb. S6C13

Fig.5.2. - Resultados para a solução 6 em Albufeira para as diferentes combinações

Pela análise da Fig.5.2. pode-se concluir que a solução construtiva final que contempla a solução de envolvente 6 (das potenciais nZEB é a que tem maiores necessidades energéticas em Albufeira), e a combinação de sistemas técnicos 5, 6, 10, 12 e 13 não respeita os requisitos para a habitação tipo ser considerada um edifício nZEB, enquanto as restantes combinações de sistemas técnicos com a mesma solução de envolvente 6 originam um edifício nZEB.

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	Sigla
Solução 11	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	81,95	0,33	Alb. S11C1
	Comb2		94,78	82,99	0,32	Alb. S11C2
	Comb3		91,41	80,73	0,37	Alb. S11C3
	Comb4		94,78	81,77	0,36	Alb. S11C4
	Comb5		91,41	72,81	0,58	Alb. S11C5
	Comb6		94,78	73,87	0,57	Alb. S11C6
	Comb7		100,00	84,97	0,31	Alb. S11C7
	Comb8		100,00	84,64	0,31	Alb. S11C8
	Comb9		100,00	84,63	0,31	Alb. S11C9
	Comb10		94,78	74,09	0,60	Alb. S11C10
	Comb11		76,08	77,10	0,49	Alb. S11C11
	Comb12		65,52	73,81	0,56	Alb. S11C12
	Comb13		94,78	46,18	0,62	Alb. S11C13

Fig.5.3. - Resultados para a solução 11 em Albufeira para as diferentes combinações

Fazendo o mesmo procedimento, mas agora para a solução 11 (das potenciais nZEB estudadas para Albufeira é a que tem menores necessidades energéticas), baseados na Fig.5.3., verificamos que o quociente entre Ntc e Nt é sempre menor ou igual ao da solução de envolvente 6. Como seria de esperar, uma envolvente que origina menores necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento combinada com o mesmo conjunto de sistemas técnicos, nunca tem um desempenho energético pior do que a solução com maiores necessidades energéticas.

Nas soluções de envolventes intermédias, os quocientes que já eram iguais na solução 6 e na solução 11 mantiveram iguais, os restantes tiveram valores intermédios entre os obtidos na solução 6 e na 11.

As combinações de sistemas técnicos que não davam origem a edifícios com necessidades energéticas quase nulas quando os mesmos são incorporados na solução da envolvente 6 são as mesmas que não

dão origem quando incorporados na solução 11. Este panorama foi comum nas outras localidades, como se pode observar nas tabelas do Anexo V e nos gráficos do Anexo VI.

Com as envolventes e as combinações de sistemas técnicos estudados, se uma combinação de sistemas técnicos conjugada com a menos eficiente das envolventes estudadas (mas que cumpre os critérios de energia útil para ser um potencial nZEB) não cumprir o $N_{tc}/N_t \leq 0,50$, a solução estudada mais eficiente para essa localidade, solução 11, também não irá cumprir. Este facto é revelador da preponderância que os sistemas técnicos têm no desempenho energético dos edifícios, N_{tc}/N_t .

Verificou-se também que, em todas as combinações entre envolventes e sistemas técnicos, o $N_{tc}/N_t \leq 0,50$ foi sempre condicionante, ou seja, uma solução final quando não respeitava as imposições para a energia renovável, quer seja energia renovável global, quer seja para AQS, também não respeitava o $N_{tc}/N_t \leq 0,50$.

Ao se analisar individualmente todas as combinações de sistemas técnicos, verificamos que somente na combinação 12, o N_{tc}/N_t não respeita as exigências nZEB numa localidade, Albufeira, e respeita nas restantes localidades, independentemente da solução de envolvente adotada. Tal pode ser comprovado na Fig.5.4..

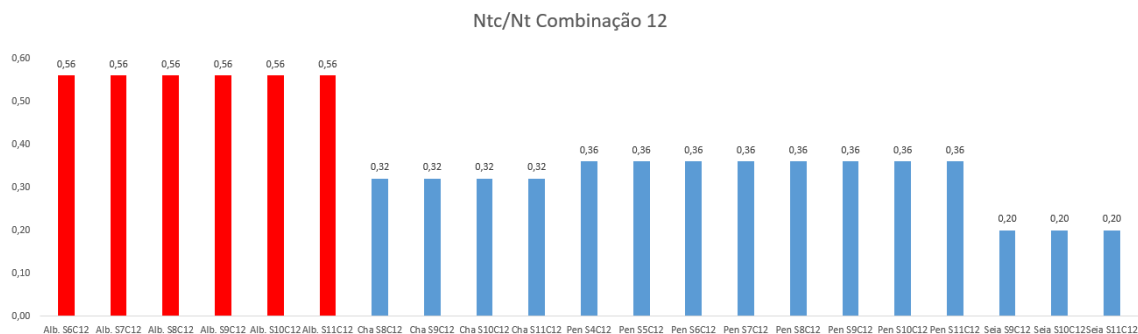


Fig.5.4. - Rácio entre N_{tc} e N_t nas soluções finais com combinação 12

A explicação para esta ocorrência está relacionada com o facto da componente renovável da energia, que a bomba de calor ar-água adotada nesta combinação para as AQS, não ser superior à disponibilizada pelo coletor padrão. Posto isto, mesmo que N_{tc}/N_t fosse igual ou inferior a 0,50, a solução final já não seria nZEB.

Nas outras localidades, a mesma combinação de sistemas técnicos, respeita o requisito mínimo das AQS, porque a energia renovável mínima para suprir as necessidades de AQS em Albufeira é superior à verificada em Chaves, em Penafiel e em Seia, devido à sua maior exposição solar anual.

Mas, dirigindo o foco somente para a análise N_{tc}/N_t da combinação 12, verificamos que entre Albufeira e Seia há uma grande diferença, que não pode ser explicado apenas pela componente renovável das AQS. Essa grande diferença está também associada com a energia de arrefecimento. O sistema técnico de arrefecimento desta combinação é um multi-split ar-ar, que tem a si associado duas componentes de energia, a renovável e a não renovável. Como Albufeira tem necessidades de arrefecimento incomparavelmente superiores às verificadas em Seia, a componente de energia não-renovável associada ao multi-split ar-ar acentua as diferenças verificadas nos quocientes entre N_{tc} e N_t das localidades. A energia para aquecimento apesar de ser muito superior em Seia comparativamente a Albufeira, não tem a mesma preponderância da energia de arrefecimento, porque o sistema técnico de aquecimento associado à combinação 12 é uma caldeira a biomassa e neste sistema técnico toda a energia de aquecimento é contabilizada como renovável.

Voltando a um assunto já anteriormente abordado, a importância/preponderância que os sistemas técnicos têm na conceção de edifícios nZEB, podemos observar o que acontece ao N_{tc}/N_t da combinação 1 de sistemas técnicos, quando a moradia se localiza em Chaves, Fig.5.5.. Relembrando, os sistemas técnicos da combinação 1 foram os dois painéis FKT-2 S com superfície útil 4,852 e acumulador de 300 litros m^2 (SST1) com um esquentador a gás como sistema auxiliar para as AQS, para aquecimento e arrefecimento usou-se uma salamandra a pellets e o sistema multi-split ar-ar, respetivamente.

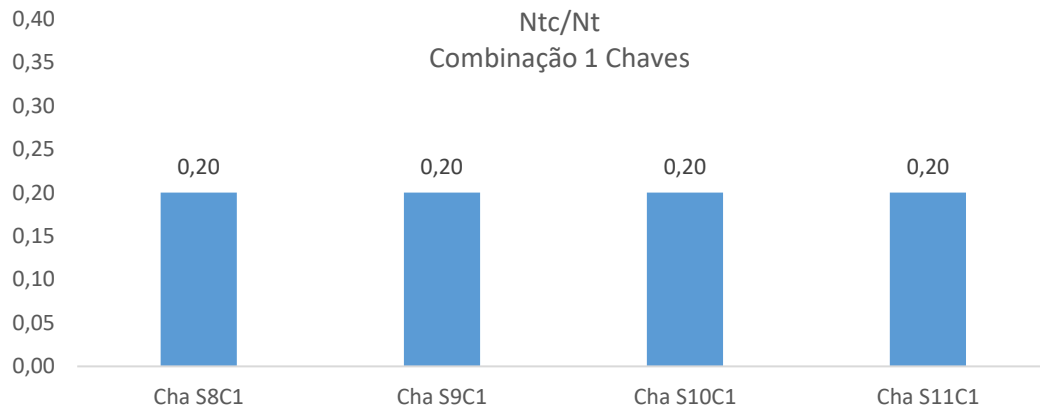


Fig.5.5. - Rácio entre N_{tc} e N_t nas soluções finais com Combinação 1 em Chaves

Independentemente da solução da envolvente ser a 8, a 9 a 10 ou a 11 o quociente entre N_{tc} e N_t foi sempre igual a 0,20, apesar de como podemos observar pelas Fig.5.6. e Fig.5.7. as necessidades nominais anuais de energia útil são diferentes, no caso das necessidades de aquecimento, são substancialmente diferentes entre a solução 8 (72,23 $kWh/m^2.ano$) e a solução 11 (66,49 $kWh/m^2.ano$).

Sigla	Descrição	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ($kWh/m^2.ano$)	72,23	97,40	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ($kWh/m^2.ano$)	8,75	12,86	0,20
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		998,64	Classe Energética
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	11112	0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2033	0	A+
Eren_ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária ($kWh/m^2.ano$)	29,34	144,90	

Fig.5.6 - Balanço energético da solução final Cha.S8C1

Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	66,49	97,40	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	8,60	12,86	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		938,64	Ntc/Nt 0,20
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	10442	0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2033	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)	29,30	144,90	Classe Energética A+

Fig.5.7. - Balanço energético da solução final Cha.S11C1

O verificado em Chaves nesta combinação de sistemas técnicos 1, é verificado recorrentemente noutras combinações e localidades, como se pode ver nos demais gráficos apresentados no Anexo VI. Em várias combinações de sistemas técnicos, dentro da mesma localidade, o quociente Ntc/Nt não é suscetível às variações de isolamento térmico da envolvente e consequentemente às variações nominais de energia útil.

A variação entre Ntc/Nt dentro da mesma localização é inexistente ou residual em várias combinações de sistemas técnicos, entre as quais a combinação 4, como mostra a Fig.5.8..

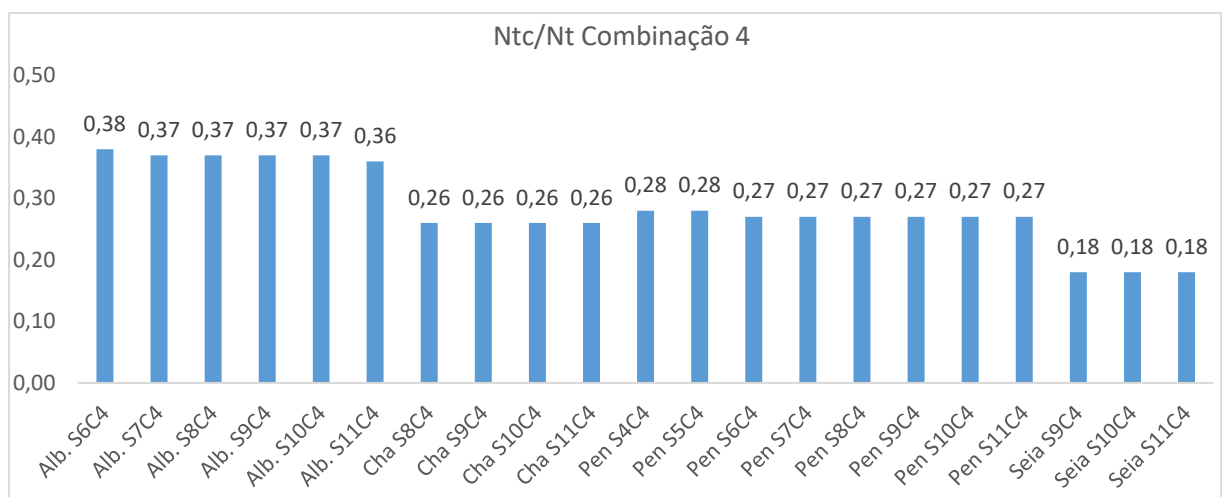


Fig.5.8. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais com a combinação 4

O mesmo acontece nas combinações 1, 2, 7, 8, 9, 11 e 12. O ponto comum destas combinações é o facto da energia para aquecimento ser totalmente renovável (salamandras ou caldeiras a biomassa). Por outro lado, nas combinações que a fonte de energia de aquecimento não é completamente renovável (combinação 5 e 6, bomba de calor ar-água), Fig.5.9., ou não tem qualquer componente renovável (combinação 13, caldeira a gás), Fig.5.10., não se verifica a mesma constância no quociente entre Ntc e Nt.

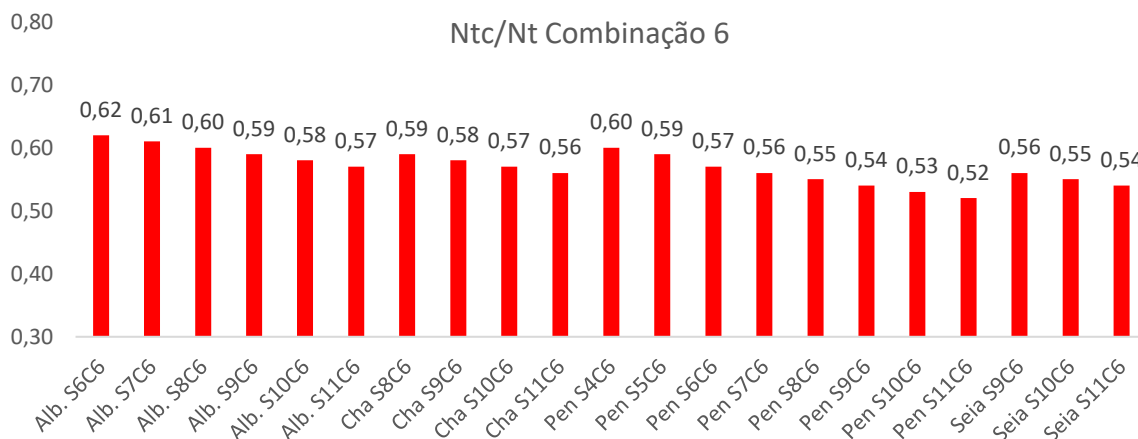


Fig.5.9. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais com a Combinação 6

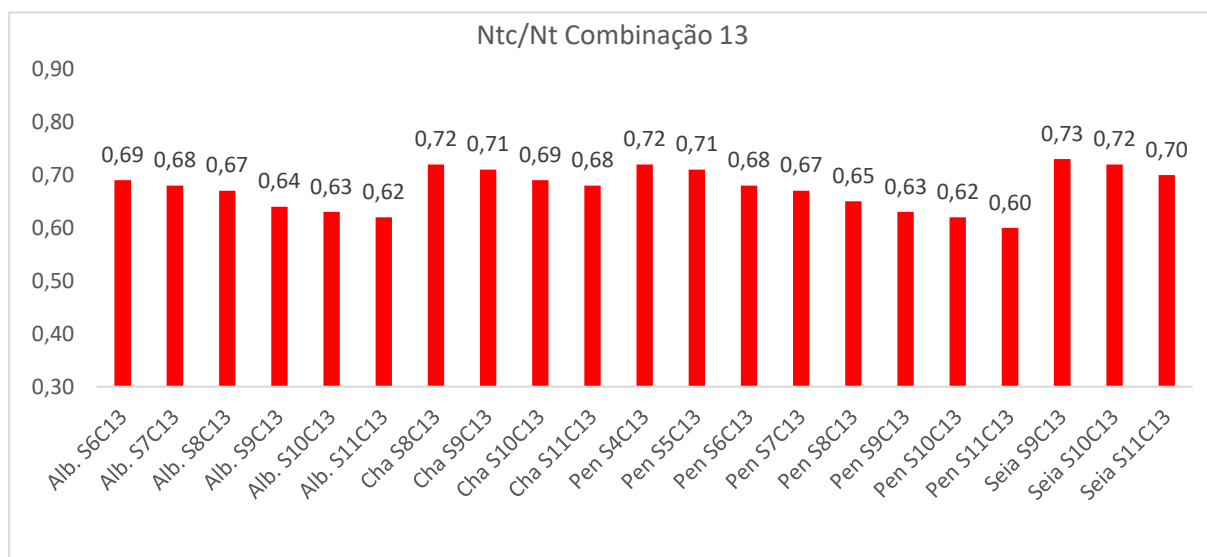


Fig.5.10. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais com a combinação 13

Outro facto evidenciado na análise ao rácio entre Ntc e Nt, com as combinações de sistemas técnicos e as soluções para as envolventes estudadas neste documento, é que quando a combinação de sistemas técnicos torna todas as soluções finais nZEB, ou seja, as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 e 11 os maiores valores do quocientes entre Ntc e Nt são sempre os verificados em Albufeira, e os menores são sempre os de Seia. Albufeira e Seia são respetivamente, as localizações onde a moradia tipo tem maiores e menores necessidades nominais anuais de energia de aquecimento, tais factos não estarão dissociados.

5.4. ALTERAÇÕES QUE TORNAM A SOLUÇÃO PENS11C6 NUM NZEB

Voltando a ter uma visão global dos Ntc/Nt de todas as soluções finais, verificamos que de todos os que são superiores a 0,50, ou seja, que não são nZEB, o que fica mais próximo do limite regulamentar para ser considerado um edifício nZEB é a solução final Pen.S11C6.

A solução final Pen.S11C6, como pode ser observado na Fig.5.11, tem $Ntc/Nt=0,52$.

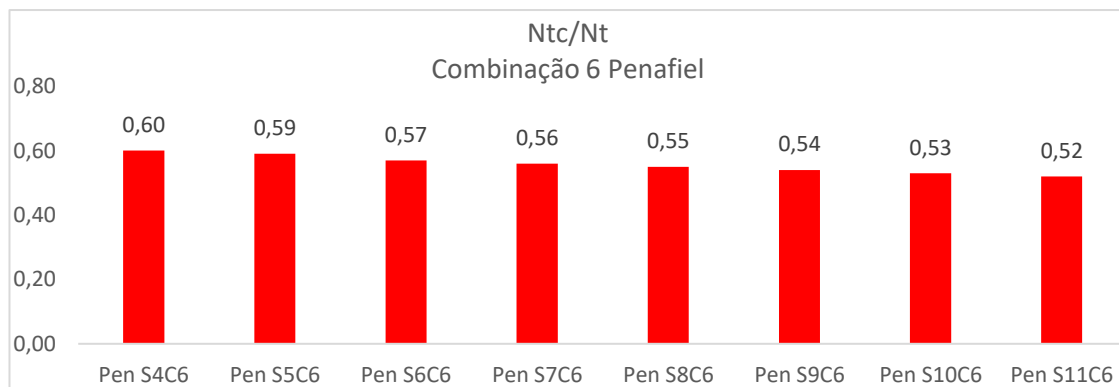


Fig.5.11. - Rácio entre Ntc e Nt das soluções finais de Penafiel com a combinação 6

Como tem sido falado neste documento, o quociente Ntc/Nt depende da envolvente e dos sistemas técnicos. Posto isso, e tendo como objetivo perceber quais as alterações necessárias para a solução final Pen.S11C6 tornar-se um edifício nZEB, decidiu-se alterar os sistemas técnicos e a envolvente de forma individualizada.

Esta solução final tinha como envolvente opaca uma parede dupla com 10 cm de XPS, a cobertura tinha 13 cm de XPS e o pavimento térreo 8 cm de XPS. Os sistemas técnicos que compunham esta solução final eram a bomba de calor ar-água (BC2), que fazia o aquecimento e o arrefecimento, e os três painéis solares térmicos auxiliados pelo esquentador a gás para as AQS.

Em primeiro lugar alterou-se os sistemas técnicos. Alterando os sistemas técnicos das AQS para um sistema que fornecia uma energia 100% renovável, substituiu-se o sistema auxiliar, esquentador a gás (ESQ), por uma caldeira a biomassa (CALD1). Esta alteração ditou um $Ntc/Nt=0,50$. Sendo assim, bastou esta alteração para o edifício passar a ser nZEB, dado que, até mesmo na configuração com o esquentador a gás já reunia os pressupostos necessários relativamente às percentagens de energia renovável.

Alterando a envolvente, verifica-se que um incremento individualizado de 2 cm de XPS nas paredes ou 2 cm de XPS na cobertura ou 2 cm de XPS no pavimento térreo não faz com que $Ntc/Nt \leq 0,50$. A combinação de dois incrementos também não originaria um edifício nZEB. Apenas quando se aumenta 2 cm de XPS nas paredes, mais 2 cm de XPS na cobertura e mais 2 cm de XPS no pavimento térreo é que $Ntc/Nt = 0,50$, originando assim um edifício nZEB.

Sendo assim, para a moradia tipo com a combinação de sistemas técnicos 6 ser um edifício nZEB, a sua envolvente teria de passar a ser:

- Parede envolvente: Parede dupla com 12 cm de XPS
- Cobertura: Solução estrutural com 15 cm de XPS
- Pavimento térreo: Solução estrutural com 10 cm de XPS

Esses incrementos de isolamento que tornaram a solução final como nZEB tiveram de afetar uma área envolvente de cerca de 320 m², ou seja, foram precisos mais 6,4 m³ de XPS do que na solução final Pen.S11C6.

5.5. ANÁLISE ÀS SOLUÇÕES FINAIS QUE UTILIZAM A BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA (BC2)

Esta análise é efetuada devido ao facto dos resultados das soluções finais que utilizam a bomba de calor ar-água (BC2), para aquecimento e arrefecimento, terem sido um pouco diferentes do esperado. Apesar das soluções finais em que este sistema técnico intervém respeitarem a componente renovável da energia imposta aos edifícios nZEB, não respeita em nenhuma das localidades estudadas o rácio entre N_{tc} e N_t .

Posto isto, com o objetivo de perceber o quão difícil é, ou não, cumprir as exigências nZEB quando se utiliza **unicamente** uma bomba de calor ar-água na climatização, fizeram-se novas simulações. Primeiramente, variou-se a eficiência da bomba de calor até que $N_{tc}/N_t \leq 0,50$ e, posteriormente, com a eficiência da bomba de calor ar-água que aqui já foi estudada nas combinações 5 e 6 (BC2) variou-se a espessura de isolamento térmico da envolvente, XPS, até o mesmo critério ser respeitado. Nessas simulações, utilizou-se a caldeira a biomassa, CALD1, para que as necessidades de AQS sejam satisfeitas através de energia totalmente renovável.

A habitação unifamiliar tipo quando se situa a em Albufeira com a solução de envolvente mais isolada, das estudadas (solução 11), a bomba de calor ar-água tem de ter, no mínimo, um COP de 5,8 e um EER de 6,9.

Quando se efetua o mesmo raciocínio nas outras três localidades estudadas, usando-se sempre a solução de envolvente 11 de cada uma delas, verifica-se que para a solução final ser nZEB em Chaves o COP da bomba de calor ar-água tem de ser superior a 5,2, enquanto o EER tem de ser maior do que 6,2. Em Penafiel foi onde a análise conduziu a menores valores mínimos para COP e EER, 4,6 e 5,6, respetivamente. Em Seia, como apenas se utiliza dispositivo de aquecimento, o COP mínimo necessário seria de 5,0.

Tendo em conta os resultados, procurou-se encontrar soluções de mercado que satisfizessem essas exigências de desempenho. Não foi encontrada nenhuma bomba de calor ar-água com COP maior ou igual a 5 e EER maior do que 6,1. Alias, a bomba de calor ar-água com maior COP e EER que foi encontrada no mercado foi a BC2 (COP=4,6; EER=5,79).

Sendo assim, partindo do pressuposto que no mercado não há mesmo nenhuma bomba de calor ar-água com melhor eficiência do que BC2, é impossível, com a solução de envolvente 11 de cada localidade, e utilizando-se **somente** o sistema técnico bomba de calor ar-água para climatização, que a habitação tipo quando analisada em Albufeira, Chaves e Seia respeite as exigências nZEB. Em Penafiel, como foi visto no capítulo 5.4., é possível usar somente a bomba de calor ar-água na climatização da habitação tipo e respeitar as exigências impostas pela legislação portuguesa aos edifícios nZEB, desde que o sistema de AQS use na sua totalidade energia renovável.

Quando se utiliza a **somente** a bomba de calor ar-água, BC2, para aquecimento e arrefecimento e a CALD1 para AQS, com a solução de envolvente mais isolada de cada localidade, solução 11, apenas em Penafiel se cumpre os requisitos para a habitação tipo ser nZEB. Nas outras localidades tem de se isolar mais a envolvente da habitação tipo. Ao analisar o quão era preciso aumentar a espessura de isolamento, concluiu-se que em Chaves e Seia a espessura de isolamento térmico na parede e na cobertura tinha de passar a ser 16 e 18 cm, respetivamente. No pavimento térreo em Chaves tinha de se utilizar 14 cm de XPS e em Seia 12 cm. Sendo assim, para a habitação tipo ser nZEB em Seia e Chaves

é necessário aumentar 4cm de XPS, na envolvente, relativamente à solução mais isolada que foi estudada nessas localidades.

Em Albufeira (I1), para a habitação tipo ser nZEB quando se utiliza **somente** para climatização a bomba de calor ar-água BC2, é preciso recorrer a espessuras de isolamento maiores do que as verificadas em Seia e Chaves, zonas climáticas I3. Aqui seriam necessários 17 cm de XPS nas paredes e 19 cm na cobertura.

Tendo em conta o clima, usar estas espessuras de isolamento em Albufeira e Chaves seria completamente inconcebível, dado que como já foi referido, podia originar muitos problemas durante o verão. Em Seia como não há risco de sobreaquecimento no verão, apesar de ser exagerado, poder-se-ia utilizar.

6

CUSTOS

6.1 CUSTO DO CICLO DE VIDA

A avaliação do custo do ciclo de vida, do inglês life cycle cost, LCC, efetuada neste documento, foi a proposta pelo National Institute of Standards and Technology e basea-se na aplicação da equação 6.1.. [49]

$$LCC = I + \text{Repl} - \text{Res} + E + W + \text{OM\&R} \quad (6.1)$$

Em que:

LCC: valor atual do custo de ciclo de vida

I: valor atual dos custos de investimento inicial

Repl: valor atual dos custos de substituição

Res: valor atual do valor residual subtraído dos custos de desmontagem

E: valor atual dos custos com a energia

W: valor atual dos custos com a água

OM&R: valor atual dos custos de operação, manutenção e reparação

Pela legenda da equação 6.1 constatamos que, para se poder aplica-la, todos os custos são atuais. Mas na realidade, apenas o investimento inicial é atual, os outros custos ocorrem ao longo do tempo. Para tornar os que ocorrem ao longo do tempo em atuais, este método multiplica-os por “fatores” que serão apresentados a seguir.

A transposição de custos futuros (posteriores ao investimento inicial) para valores atuais é a parte mais complexa do processo. Como se está a antecipar um comportamento futuro, os parâmetros que intervêm na taxa de atualização têm a si ligados futurologia/especulação.

A taxa de atualização real, equação 6.2, depende da taxa de juro bancário e da taxa de inflação.

$$d = \frac{1+D}{1+i} - 1 \quad (6.2)$$

Em que:

d: taxa de atualização real, ou seja, desconta a inflação

D: taxa de juro bancário

I: taxa de inflação

Na transposição do custo total de operação, manutenção e reparação dos n anos de utilização da moradia, para valores atuais, multiplica-se os custos anuais, que são regulares ao longo dos anos, pelo fator $\frac{(1+d)^n-1}{d(1+d)^n}$. [50]

O valor total da energia ao longo dos n anos de utilização também resulta da multiplicação do seu valor anual por um fator, mas neste caso o fator depende também da taxa de crescimento do custo da energia. O fator que multiplica pelo custo anual atual da energia é $\frac{(1+e)}{(d-e)} \left[1 - \left(\frac{1+e}{1+d} \right)^n \right]$, sendo “e” a taxa de crescimento do custo da energia [50].

No presente documento, para o cálculo do custo do ciclo de vida estimou-se uma taxa de inflação de 1,17%. Tal valor resultou da média da taxa de inflação dos últimos 10 anos [51]. Esta opção foi adotada devido ao facto dos últimos 10 anos serem anos recuperação face a uma crise financeira, crise de 2008. Tendo em conta a conjuntura atual, infelizmente, não será de todo descabido que tal possa ocorrer novamente nos próximos anos.

Para fixar o valor da taxa de escalonamento da energia seguiu-se o mesmo critério e calculou-se a média dos últimos 10 anos, cifrando-se assim a taxa de escalonamento da energia em 2,79%.

O critério seguido para escolher a taxa de juro bancário foi somar a um spread fixo de 1,5% a média ao longo dos últimos 5 anos da taxa de referência Euribor-12 meses. Escolheu-se os últimos 5 anos porque este foi um período que a taxa de referência Euribor-12 meses esteve negativa [52] e é previsível que continue a longo dos próximos tempos, dado que o Banco Central Europeu está satisfeito com o impacto que esta tem causado [53]. Sendo assim, na presente análise usou-se $D=1,3518\%$.

6.2 CONSIDERAÇÕES A TER EM CONTA NA ENVOLVENTE

O custo das soluções construtivas finais estudadas neste documento, contemplam os custos com a envolvente e com os sistemas técnicos da moradia. Os preços consideraram-se uniformes nas quatro localizações, ou seja, a mesma solução de envolvente ou o mesmo equipamento tem o mesmo custo em Albufeira, em Chaves, em Penafiel e em Seia.

Como o dimensionamento estrutural não fazia parte dos objetivos deste documento, os custos inerentes à parte estrutural/resistente, como por exemplo o custo dos pilares, das vigas, da laje de suporte da cobertura e do massame do pavimento térreo, não foram incluídos, consideraram-se constantes em todas as soluções construtivas.

O preço das soluções construtivas foram baseados maioritariamente na plataforma de geração de preços Cype [54].

Seguidamente, serão apresentados os preços e as componentes avaliadas em cada parte da envolvente.

- Cobertura plana

Ao preço final apresentado na Fig.6.1. foi subtraído o preço do isolamento térmico e a sua correspondente mão-de-obra, dado que, o isolamento é variável entre as soluções construtivas (não é sempre 40 mm), sendo somado posteriormente o seu preço, consoante a espessura e mão de obra, Fig.6.2..

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt04ip010c	Ud	Tijolo cerâmico furado duplo, para revestir, 30x20x9 cm, para utilização em alvenaria protegida (peça P), densidade 746 kg/m³, segundo NP EN 771-1.	3,000	0,17	0,51
mt01ar030ab	m²	Argila expandida, fornecida em sacos Big Bag, segundo NP EN 13055-1.	0,158	125,69	19,86
mt00cem011a	kg	Cimento Portland CEM II/B-L 32,5 R, cor cinzento, em sacos, segundo NP EN 197-1.	35,000	0,10	3,50
mt08aaa010a	m²	Água.	0,014	1,50	0,02
mt16pea020b	m²	Painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP EN 13163, bordo lateral recto, de 20 mm de espessura, resistência térmica 0,55 m²C/W, condutibilidade térmica 0,036 W/(m°C), para junta de dilatação.	0,010	1,34	0,01
mt01arg005a	l	Areia de pedreira, para argamassa preparada em obra.	0,033	18,00	0,59
mt14gsa020dg	m²	Geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, com uma resistência à tracção longitudinal de 3,45 kN/m, uma resistência à tracção transversal de 3,45 kN/m, uma abertura de cone ao ensaio de perfuração dinâmica segundo NP EN ISO 13433 inferior a 15 mm, resistência CBR ao punção 0,8 kN e uma massa superficial de 300 g/m², segundo EN 13252.	2,100	1,20	2,52
mt15dan010c	m²	Lamina impermeabilizante flexível de PVC-P, (fv), de 1,2 mm de espessura, com armadura de vau de fibra de vidro, e com resistência à intempérie, segundo EN 13956.	1,050	6,55	6,88
mt15dan020b	m²	Perfil colado de chapa de aço e PVC-P, plano, para remate de impermeabilização nos extremos das lâminas de PVC-P e nos encontros com elementos verticais.	0,400	2,80	1,12
mt16pxa010ab	m²	Painel rígido de poliestireno extrudido, segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 40 mm de espessura, resistência à compressão >= 300 kPa, resistência térmica 1,2 m²C/W, condutibilidade térmica 0,034 W/(m°C), Euroclasse E de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)300-DS(70,90)-DLT(2)5-CC(2/1,5/50)125-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.	1,050	2,80	2,94
mt14gsa020ce	m²	Geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, com uma resistência à tracção longitudinal de 1,63 kN/m, uma resistência à tracção transversal de 2,08 kN/m, uma abertura de cone ao ensaio de perfuração dinâmica segundo NP EN ISO 13433 inferior a 27 mm, resistência CBR ao punção 0,4 kN e uma massa superficial de 200 g/m², segundo EN 13252.	1,050	0,70	0,74
mt01arc010	l	Seixos rotados lavados, de granulometria compreendida entre 16 e 32 mm.	0,090	21,23	1,91
mq06hor010	h	Betoneira.	0,109	1,68	0,18
mo020	h	Oficial de 1ª construção.	0,300	18,85	5,66
mo113	h	Operário não qualificado construção.	0,535	17,83	9,54
mo029	h	Oficial de 1ª aplicador de lâminas impermeabilizantes.	0,180	18,85	3,39
mo067	h	Ajudante de aplicador de lâminas impermeabilizantes.	0,180	18,40	3,31
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,050	19,38	0,97
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,050	18,40	0,92
% Custos directos complementares			2,000	64,57	1,29
Custo de manutenção decenal: 16,47€ nos primeiros 10 anos.			Total:		65,86

Fig.6.1. - Preço por m² da cobertura plana sem incluir a laje, o chapisco e reboco do teto [37]

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt16pxp010al	m²	Painel rígido de poliestireno extrudido Ursa XPS F N-III L "URSA IBÉRICA AISLANTES", segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 120 mm de espessura, resistência à compressão >= 300 kPa, resistência térmica 3,35 m²C/W, condutibilidade térmica 0,036 W/(m°C), Euroclasse E de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)300-DS(70,90)-DLT(2)5-CC(2/1,5/50)125-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.	1,050	26,00	27,30
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,050	19,38	0,97
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,050	18,40	0,92
% Custos directos complementares			2,000	29,19	0,58
Custo de manutenção decenal: 0,60€ nos primeiros 10 anos.			Total:		29,77

Fig. 6.2 - Preço por m² de 120 mm de XPS para cobertura plana, incluindo mão-de-obra [55]

O reboco interior do teto não estava considerado nem na Fig.6.1. nem na Figura 6.2., por isso considerou-se um reboco de 2cm, composto por cimento, cal hidráulica e areia ao traço de 2:1:6. O preço considerado foi 24,28 €/m² [56].

Tabela 6.1. - Preço final da cobertura, sem contabilizar o preço da laje

Preço sem laje, e isolamento (€/m²)	Espessura isolamento [cm]	Preço final (€/m²)
61,03 + 24,28	6	99,07
	7	101,06
	8	103,02
	9	105,43
	10	108,10
	11	112,24
	12	115,08
	14	120,46

- Pavimento térreo

O custo do pavimento térreo inclui a impermeabilização, a colocação do geotêxtil e do isolamento térmico com as suas respetivas mãos-de-obra, não estando incluído, como já referido, o custo do massame de betão.

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt14lea020c	kg	Emulsão asfáltica aniónica com cargas.	0,500	1,46	0,73
mt14lba010i	m²	Membrana de betume modificado com elastómero SBS, LBM(SBS)-48-FP, de 3,5 mm de espessura, massa nominal 4,8 kg/m², com armadura de feltro de poliéster não tecido de 160 g/m², de superfície não protegida. Segundo EN 13707.	1,100	5,19	5,71
mt14lba100a	m	Banda de reforço de membrana de betume modificado com elastómero SBS, LBM(SBS)-30-FP, de 33 cm de largura, acabada com filme plástico termofusível em ambas as faces.	0,500	1,68	0,84
mt14gsa010dg	m²	Geotêxtil não tecido sintético, termosoldado, de polipropileno-poliétileno, de 125 g/m².	1,100	0,80	0,88
mo029	h	Oficial de 1ª aplicador de lâminas impermeabilizantes.	0,220	18,85	4,15
mo067	h	Ajudante de aplicador de lâminas impermeabilizantes.	0,220	18,40	4,05
	%	Custos directos complementares	2,000	16,36	0,33
			Total:		16,69

Fig. 6.3 - Preço por m² de impermeabilização e colocação de geotêxtil no pavimento térreo, incluindo mão-de-obra [57]

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt16xp010ae	m²	Painel rígido de poliestireno extrudido Ursa XPS F N-III L "URSA IBÉRICA AISLANTES", segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 60 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 300 kPa, resistência térmica $1,75 \text{ m}^2\text{C/W}$, condutibilidade térmica $0,033 \text{ W/(m}^2\text{C)}$, Euroclasse E de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)300-DS(70,90)-DLT(2)S-CC(2)1,5/50)125-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.	1,100	11,05	12,16
mt16png010d	m²	Filme de polietileno de 0,2 mm de espessura e 184 g/m² de massa superficial.	1,100	0,41	0,45
mt16aaa030	m	Fita autocolante para vedação de juntas.	0,400	0,30	0,12
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,150	19,38	2,91
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,150	18,40	2,76
	%	Custos directos complementares	2,000	18,40	0,37
			Total:		18,77

Fig.6.4 Preço por m² de 60 mm de XPS para pavimento térreo, incluindo mão-de-obra [58]

Tabela 6.2 - Preço final do pavimento térreo, sem contabilizar o preço do massame de betão

Preço sem massame e isolamento (€/m²)	Espessura isolamento [cm]	Preço final (€/m²)
16,69	4	30,80
	6	35,46
	8	39,55

- Parede dupla

O custo do pano exterior e interior sem o chapisco e o reboco pode ser observado na Fig.6.5. e na Fig. 6.6., respetivamente. O preço do chapisco e reboco, que novamente não estava contabilizado, do pano exterior foi de 14,96 €/m², enquanto o do pano interior foi de 15,82 €/m² [58].

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt04ip010e	Ud	Tijolo cerâmico furado triplo, para revestir, 30x20x15 cm, para utilização em alvenaria protegida (peça P), densidade 650 kg/m³, segundo NP EN 771-1.	16,000	0,22	3,52
mt08aaa010a	m³	Água.	0,010	1,50	0,02
mt01arg005a	l	Área de pedra, para argamassa preparada em obra.	0,020	18,00	0,36
mt08cem011a	kg	Cimento Portland CEM II/B-L 32,5 R, cor cinzento, em sacos, segundo NP EN 197-1.	3,111	0,10	0,31
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	0,400	0,78	0,31
mt08cem000k	kg	Cimento cinzento em sacos.	0,860	0,10	0,09
mt01arg000k	m³	Área crivada.	0,001	17,00	0,02
mt01arg001kd	m³	Agregado grosso homogeneizado de tamanho máximo 12 mm.	0,002	25,00	0,05
mt18bdb010a600	m²	Tijoleira tradicional, acabamento mate ou natural, 8,00€/m², segundo NP EN 14411.	0,135	8,00	1,08
mt50spa050m	m³	Pranchão de madeira de pinho, dimensões 20x7,2 cm.	0,001	366,00	0,37
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,003	16,04	0,05
mt50spa101	kg	Pregos de aço.	0,011	1,58	0,02
mo08hor010	h	Betoneira.	0,008	1,88	0,01
mo021	h	Oficial de 1ª construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,400	18,85	7,54
mo114	h	Operário não qualificado construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,333	17,83	5,94
	%	Custos directos complementares	3,000	19,69	0,59
Custo de manutenção decenal: 1,01€ nos primeiros 10 anos.			Total:		20,28

Fig.6.5. - Preço por m² do pano exterior da parede dupla, sem reboco [59]

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt04ipt010d	Ud	Tijolo cerâmico furado duplo, para revestir, 30x20x11 cm, para utilização em alvenaria protegida (peça P), densidade 670 kg/m³, segundo NP EN 771-1.	16,000	0,17	2,72
mt08aaa010a	m²	Água.	0,010	1,50	0,02
mt01arg005a	t	Areia de pedreira, para argamassa preparada em obra.	0,014	18,00	0,25
mt08cem011a	kg	Cimento Portland CEM II/B-L 32,5 R, cor cinzento, em sacos, segundo NP EN 197-1.	2,117	0,10	0,21
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	0,400	0,78	0,31
mt08cem000k	kg	Cimento cinzento em sacos.	0,631	0,10	0,06
mt01arg000k	m³	Areia crivada.	0,001	17,00	0,02
mt01arg001kd	m³	Agregado grosso homogeneizado de tamanho máximo 12 mm.	0,001	25,00	0,03
mt50spa050m	m²	Pranchão de madeira de pinho, dimensões 20x7,2 cm.	0,001	366,00	0,37
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,003	16,04	0,05
mt50spa101	kg	Pregos de aço.	0,011	1,56	0,02
mq06hor010	h	Betoneira.	0,006	1,68	0,01
mo021	h	Oficial de 1ª construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,295	18,85	5,56
mo114	h	Operário não qualificado construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,249	17,83	4,44
	%	Custos directos complementares	3,000	14,07	0,42
Custo de manutenção decenal: 1,18€ nos primeiros 10 anos.				Total:	14,49

Fig.6.6. - Preço por m² do pano interior da parede dupla, sem reboco [60]

Tabela 6.3. - Preço final da parede dupla

Preço parede dupla sem o isolamento (€/m²)	Espessura isolamento [cm]	Preço final (€/m²)
64,47	5	76,91
	6	78,88
	7	80,99
	8	82,77
	9	85,27
	10	87,79
	11	89,69
	12	91,78

- Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados, como foi referido no capítulo 3, têm uma solução fixa em cada localidade.

A solução, que no estudo prévio de sensibilidade, conduziu a menores valores de necessidades nominais de energia em Chaves, Penafiel e Seia foi a contemplava o vidro standard, Fig.6.7., enquanto em Albufeira o vidro que melhor resultava era um vidro com menor fator solar, $g=0,54$, Fig.6.8..

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt21veg011ebQba	m²	Vidro duplo standard, impresso 4/20/5 conjunto constituído por vidro exterior impresso Clarglas de 4 mm, câmara de gás desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 20 mm, preenchida com gás argon e vidro interior Float incolor de 5 mm de espessura; 29 mm de espessura total.	1,006	46,57	46,85
mt21vva015a	Ud	Cartucho de 310 ml de silicone neutro, incolor, dureza Shore A aproximada de 23, segundo EN ISO 868 e recuperação elástica $\geq 80\%$, segundo EN ISO 7389.	0,580	5,77	3,35
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial de 1ª vidraceiro.	0,340	20,14	6,85
mo110	h	Ajudante de vidraceiro.	0,340	19,64	6,68
	%	Custos directos complementares	2,000	64,99	1,30
Custo de manutenção decenal: 13,92€ nos primeiros 10 anos.				Total:	66,25

Informação técnica	
Transmissão térmica (valor U), segundo NP EN 673: 2,6 W/(m²·°C)	
Factor solar (coeficiente g), segundo NP EN 410: 74%	
Transmissão luminosa, segundo NP EN 410: 79%	

Fig.6.7. - Vidro adotado nos vãos envidraçados de Penafiel, Seia e Chaves [61]

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt21veu040vcaa	m²	Vidro duplo Solar.lite "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", 5/8/4 conjunto constituído por vidro exterior Tempra.lite Solar.lite Clear de 5 mm, câmara de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 8 mm, e vidro interior Float incolor de 4 mm de espessura, 17 mm de espessura total.	1,006	70,51	70,93
mt21sik010	Ud	Cartucho de 310 ml de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,47	1,43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial de 1º vidraceiro.	0,340	20,14	6,85
mo110	h	Ajudante de vidraceiro.	0,340	19,64	6,68
	%	Custos directos complementares	2,000	87,15	1,74
Custo de manutenção decenal: 18,67€ nos primeiros 10 anos.				Total:	88,89
-Informação técnica					
Transmissão térmica (valor U), segundo NP EN 673: 3.1 W/(m²°C)					
Factor solar (coeficiente g), segundo NP EN 410: 54%					
Transmissão luminosa, segundo NP EN 410: 47%					
Índice de isolamento a sons de condução aérea directos, Rw (dB) e termos de adaptação espectral C e Ctr, segundo EN 12758: 32					

Fig.6.8. - Vidro adotado nos vãos envidraçados de Albufeira [62]

A caixilharia que realizou a solução envidraçada também diferiu consoante a localidade onde a moradia tipo estava a ser estudada. Enquanto em Albufeira e Penafiel a caixilharia em PVC, com $U_f=1,3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, associada ao seu respetivo vidro acima mencionado, respeita o coeficiente de transmissão térmica máximo dos vãos envidraçados, em Chaves e Seia, não respeita. Sendo assim, a caixilharia para estas duas localidades, tendo em conta que o vidro utilizado em ambas tinha um coeficiente de transmissão térmica, $U_g=2,6 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, tinha de ter $U_f \leq 1,0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para o limite regulamentar para a zona climática de inveno I3, $U_w \leq 2,2 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, ser respeitado.

A caixilharia que foi escolhida foi a também em PVC, mas esta tem $U_f=0,89 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ [63].

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt24kom030bkia	Ud	Janela de PVC, série Eurofutur 70 "KOMMERLING", uma folha oscilo-batente e outra folha de batente com abertura para o interior, dimensões 1800x1200 mm, composta de aro, folha e bites, acabamento standard nas duas faces, cor WSW5 Blanco, perfis de 70 mm de largura, fabricados sob formulação Greenline®, sem chumbo nem estabilizantes pesados, soldados a meia-esquadria, que incorporam cinco câmaras interiores, tanto na secção da folha como na do aro, para melhoria do isolamento térmico, rebaixo com pendente de 5% para facilitar a drenagem, com reforços interiores, juntas de estanquidade de EPDM puxador e ferragens, segundo NP EN 14351-1; coeficiente de transmissão térmica do aro $U_{f,ro} = 1,3 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$; espessura máxima do vidro: 40 mm, com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E1650, segundo EN 12208, e classificação à resistência à carga do vento classe C5, segundo EN 12210. Garantia de 10 anos do fabricante do perfil, para a estabilidade da cor, das dimensões e da resistência ao impacto.	1,000	269,49	269,49
mt22vwwv010a	Ud	Cartucho de 290 ml de vedante adesivo monocomponente, neutro, súper elástico, à base de polímero MS, cor branco, com resistência à intempérie e aos raios UV e extensão até à rotura 750%.	1,020	5,29	5,40
mt22vwwv050a	Ud	Cartucho de 300 ml de silicone neutra oxímico, de elasticidade permanente e cura rápida, cor branco, intervalo de temperatura de trabalho de -60 a 150°C, com resistência aos raios UV, dureza Shore A aproximada de 22, segundo EN ISO 868 e alongamento à rotura $\geq 800\%$, segundo EN ISO 8339.	0,480	4,73	2,27
mo018	h	Oficial de 1º serralheiro.	1,473	19,11	28,15
mo059	h	Ajudante de serralheiro.	1,036	18,46	19,12
	%	Custos directos complementares	2,000	324,43	6,49
Custo de manutenção decenal: 29,78€ nos primeiros 10 anos.				Total:	330,92

Fig. 6.9. - Preço Caixilharia em PVC 1800x1200 mm usada na habitação tipo de Albufeira e Penafiel [64]

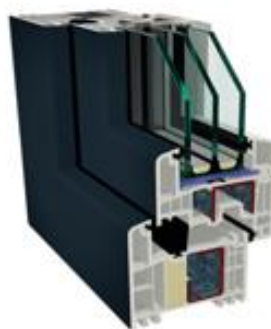


Fig.6.10. - Caixilharia em PVC usada nas moradias tipo de Chaves e Seia [63]

Tabela 6.4. - Custo dos vãos envidraçados em cada localidade

	Preço vidro	Preço caixilharia	Preço total vãos envidraçados
Albufeira	737,48 €	2 927,00 €	3664,48 €
Chaves	552,38 €	4 097,80 €	4650,18 €
Penafiel	761,16 €	3 403,83 €	4164,99 €
Seia	761,16 €	4 679,18 €	5440,34 €

No Anexo VII encontra-se discriminado o preço de cada um dos dez vãos envidraçados da habitação tipo, enquanto que o preço de investimento e manutenção de cada solução de envolvente opaca encontra-se no Anexo VIII.

6.3. CONSIDERAÇÕES A TER EM CONTA NOS SISTEMAS TÉCNICOS

Os sistemas técnicos, analisados neste documento, para AQS têm já a si associados os equipamentos necessários para o total funcionamento do sistema. O mesmo acontece no sistema técnico de arrefecimento/aquecimento, Multi-split ar-ar. Neste sistema basta a unidade interior e a exterior para o processo de arrefecimento ou aquecimento se realizar, não sendo necessário nenhuma outra superfície emissora. O mesmo não acontece quando no processo de aquecimento é usada uma caldeira ou uma bomba de calor. Nestes casos, para a troca de energia ocorrer é necessário uma superfície para executar a troca térmica, que possibilita o aquecimento. Essa superfície pode ser um radiador a água, um pavimento radiante, um teto radiante, uma parede radiante, etc. Neste estudo usou-se o pavimento radiante quando o aquecimento era efetuado por uma bomba de calor, porque o pavimento radiante apenas necessita que a água circule a 40-45°C (temperatura ótima para o funcionamento das bombas de calor), e usou-se os radiadores associados à caldeira, dado que, a caldeira satisfaz o aquecimento da água que circula nos radiadores, até aos 80°C que eles necessitam.

As salamandras analisadas neste documento têm saídas de ar-canalizável que redistribuem o ar quente, permitindo aquecer a moradia toda, SAL2 ou parte dela, SAL1. Para efetuar a redistribuição de ar quente usaram-se 30 metros de tubo flexível de alumínio isolado a lã de rocha, um ventilador de ar quente Mistral, para a distribuição de calor se efetuar de uma forma uniforme, e duas grelhas de distribuição [65].

O preço total deste sistema de redistribuição de ar quente é de 663,13€, sem inclusão da respetiva salamandra.

Para ter uma análise de custo o mais realista possível, dimensionaram-se os radiadores que se associam às caldeiras. Eles foram dimensionados através do Coeficiente térmico Rointe (CTR). Esta abordagem dá o número de elementos do radiador consoante a severidade do clima e o volume a aquecer [66].

Nº DE ELEMENTOS	Clima Suave	Clima frio	Clima muito frio	Clima extra frio
3	13 m³	13 m³	10 m³	9 m³
5	22 m³	19 m³	17 m³	15 m³
7	31 m³	26 m³	23 m³	21 m³
9	40 m³	34 m³	30 m³	27 m³
11	49 m³	41 m³	36 m³	33 m³
13	57 m³	49 m³	43 m³	39 m³
15	66 m³	55 m³	49 m³	45 m³

Fig. 6.11. - Tabela resumo coeficiente de térmico Rointe [66]

Tendo em conta a severidade do clima, em Albufeira e Penafiel foram instalados um total de 75 elementos, enquanto em Chaves e Seia foram instalados 97 e 107 elementos, respetivamente. Concretizando os elementos em radiadores, o seu custo foi de 1 619,75 € em Albufeira e Penafiel, em Chaves foi de 2 094,88 € e em Seia 2 310,84 €.

Quanto ao aquecimento/arrefecimento ocorre através do pavimento radiante o seu custo cifra-se nos 8430,41€, solução fica muito mais cara, comparativamente aos radiadores.

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt38sch030b	m	Fita perimetral de espuma de polietileno reticulada de células fechadas, de 8x100 mm, com filme de polietileno no pé, com adesivo para fixação ao paramento vertical, modelo Schlüter-BEKOTEC-BRSK 810 "SCHLÜTER-SYSTEMS".	0,600	1,15	0,69
mt17sch010d	m²	Placa de nódulos, de poliestireno expandido (EPS), 75,5x106 cm, modelo Schlüter-BEKOTEC-EN 2520 P "SCHLÜTER-SYSTEMS", para tubo de 16 mm de diâmetro, espaçamento do tubo múltiplo de 7,5 cm, união entre placas através de ligação macho-fêmea, adequada para bases de pavimento de argamassa de cimento convencional.	1,000	14,94	14,94
mt37sch010aa	m	Tubo de polietileno resistente à temperatura (PE-RT), com barreira de oxigénio (EVOH), de 16 mm de diâmetro exterior e 2 mm de espessura, modelo Schlüter-BEKOTEC-THERM-BTHR 16 RT 70 "SCHLÜTER-SYSTEMS", fornecido em rolos de 70 m de comprimento.	6,667	1,66	11,07
mt38sch070a	Ud	Pinça de plástico, modelo Schlüter-BEKOTEC-THERM-BTZRH 75/100 "SCHLÜTER-SYSTEMS", indicada para a fixação do tubo de 16 mm de diâmetro exterior à placa de nódulos num ângulo de 45°.	0,010	2,71	0,03
mt38sch075a	Ud	Pinça de plástico, modelo Schlüter-BEKOTEC-THERM-BTZRH 17/100 "SCHLÜTER-SYSTEMS", indicada para a fixação do tubo de 16 mm de diâmetro exterior à placa de nódulos em zonas difíceis.	0,010	1,42	0,01
mt09mai020a	m³	Argamassa autonivelante, CA - C20 - F4 segundo EN 13813, à base de sulfato de cálcio, para espessuras de 2,5 a 7,0 cm, usada em nivelção de pavimentos.	0,024	232,80	5,59
mt08aaa010a	m³	Água.	0,004	1,50	0,01
mt15res300d	m²	Lamina impermeabilizante, dessolidarizante e difusora de vapor de água de polietileno com estrutura nervurada e cavidades quadradas em forma de cola de milano, de 3 mm de espessura, Schlüter-DITRA 25 30M "SCHLÜTER-SYSTEMS", revestida de geotêxtil não tecido numa das suas faces, fornecida em rolos de 30 m de comprimento.	1,000	16,14	16,14
mt09mcr010	kg	Cimento cola de utilização exclusiva para interiores e apto para aquecimento por piso radiante.	2,000	0,22	0,44
mq06pym020	h	Misturadora-bombeadora para argamassas autonivelantes.	0,050	10,20	0,51
mo004	h	Oficial de 1º instalador de aquecimento.	0,670	19,38	12,98
mo103	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	0,670	18,37	12,31
mo031	h	Oficial de 1º aplicador de argamassa autonivelante.	0,050	18,85	0,94
mo069	h	Ajudante de aplicador de argamassa autonivelante.	0,050	18,40	0,92
% Custos directos complementares			2,000	76,58	1,53
Custo de manutenção decenal: 3,91€ nos primeiros 10 anos.			Total: 78,11		

Fig.6.12. - Preço do pavimento radiante/ m² [67]

A Tabelas 6.5. e a Tabela 6.6. resumem o custo total dos sistemas técnicos que originam soluções nZEB em cada localidade. Diferentes localidades podem ter preços diferentes para a mesma combinação de sistemas técnicos, dado que, apesar do preço dos equipamentos e da mão-de-obra ser o mesmo, o número de elementos dos radiadores pode ser diferente, originando custos diferentes. Esta singularidade não tem grande influência no preço final, mas o facto de se considerar desnecessário o sistema de arrefecimento em Seia, já tem mais impacto no preço final da combinação de sistemas técnicos. Resolveu não se implementar sistema de arrefecimento em Seia devido as suas necessidades nominais de energia de arrefecimento serem muito reduzidas, sendo facilmente supridas com uma boa estratégia de ventilação.

Tabela 6.5. - Preço inicial e de manutenção anual em Albufeira e Chaves, de cada combinação de sistemas técnicos

	Albufeira		Chaves	
	Inicial	Manutenção	Inicial	Manutenção
Combinação1	13974,10€	554,30€	13974,10€	554,34 €
Combinação 2	14828,00€	619,23€	14828,00€	619,23 €
Combinação 3	13379,34 €	551,17 €	13379,34 €	551,17 €
Combinação 4	14233,15 €	616,06 €	14233,15 €	616,06 €
Combinação 7	10564,76€	280,73 €	11039,89 €	287,38 €
Combinação 8	15163,82 €	630,74 €	15638,95 €	637,39 5
Combinação 9	16017,63 €	€695,63 €	16492,76 €	702,28 €
Combinação 11	13148,16 €	297,74 €	13623,29 €	304,39
Combinação 12	Não é nZEB		14085,89 €	453,10 €

Tabela 6.6 - Preço inicial e de manutenção anual em Penafiel e Seia, de cada combinação de sistemas técnicos

	Penafiel		Seia	
	Inicial	Manutenção	Inicial	Manutenção
Combinação1	13974,19 €	554,34 €	9173,06 €	471,91 €
Combinação 2	14828,00 €	619,23 €	10026,87 €	536,80 €
Combinação 3	13379,34 €	551,17 €	13379,34 €	551,17 €
Combinação 4	14233,15 €	616,06 €	14233,15 €	616,06 €
Combinação 7	10564,76 €	280,73 €	7117,85 €	248,38 €
Combinação 8	15163,82 €	630,74 €	11716,91 €	598,19 €
Combinação 9	16017,63 €	€695,63 €	12570,72 €	663,08 €
Combinação 11	13148,16 €	297,74 €	9701,25 €	265,20 €
Combinação 12	13610,76 €	446,45 €	10163,85€	413,91 €

No Anexo IX encontram-se o valor da instalação de cada combinação de sistemas técnicos, o custo da sua respetiva manutenção anual e do preço da energia associada a cada solução final (envolvente + sistemas técnicos).

Observando o valor do investimento inicial que cada combinação de sistemas técnicos exige, constata-se que a maior parte se situa entre os 13 000 € e os 15 000 € (excetuando quando se localizam em Seia, devido ao fato de não ser necessário sistema de arrefecimento). Fora desse intervalo destacam-se duas

combinações de sistemas técnicos: a combinação 7 e a combinação 9. A combinação 7 destaca-se pelo seu preço ser inferior a todas as outras, enquanto a combinação 9 é a que tem o investimento inicial mais elevado.

Em seguida será avaliado o custo ao longo do ciclo de vida, que inclui para além do investimento inicial o valor total pago em energia e manutenção. Considerou-se que o valor residual, no final dos 30 anos do ciclo de vida era nulo.

Veremos se o panorama se mantém (soluções finais com as combinação 7 continuam a ser as mais baratas e com a combinação 9 as mais caras) ou se o custo da energia, essencialmente, faz mudar a tendência.

O custo da energia foi calculado multiplicando o valor da energia necessária para o funcionamento do sistema em kWh, pelo preço unitário da energia. Considerou-se que o preço unitário do kWh de eletricidade era de 0,1481 €/kWh e o do gás natural 0,0645 €/kWh.

Nos dispositivos a pellets dividiu-se a energia necessária para aquecimento e/ou AQS pelo poder calorífico das pellets em Kg/kWh e em seguida multiplicou-se esse valor pelo preço de cada Kg de pellets. Para tal considerou-se o poder calorífico das pellets de 16,72 MJ/kWh [68], ou seja, 4,64 kWh/Kg e um preço unitário para o quilograma de pellets de 0,27 €/Kg [69].

6.4. INVESTIMENTO INICIAL VS CUSTO DO CICLO DE VIDA

6.4.1. ALBUFEIRA

Nesta fase do documento irá ser feita uma comparação entre o custo inicial da solução construtiva e o custo ao final dos 30 anos do ciclo de vida.

Pela análise da Fig.6.13. e da Fig.6.14. verificamos que em Albufeira, como tinha obrigatoriamente de ser, dentro da mesma combinação de sistemas técnicos há um aumento gradual (gráfico em escadinha) do custo de investimento inicial à medida que a solução construtiva final é mais isolada. Constata-se também, que dentro da mesma combinação de sistemas técnicos, a variação do custo de investimento inicial entre a solução menos isolada termicamente, solução 6, e a mais isolada termicamente, solução 11, é cerca de 3 000 €.

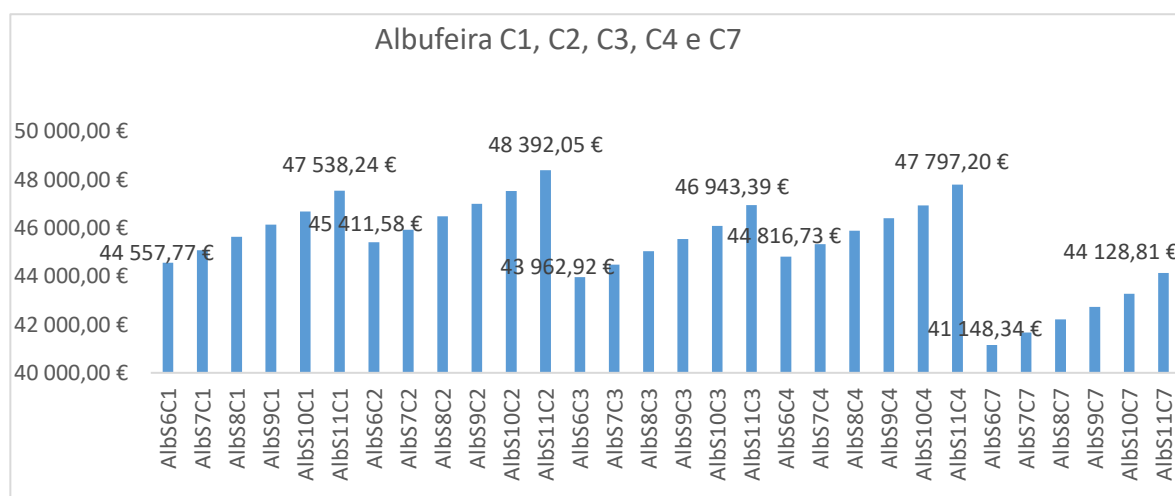


Fig.6.13. - Custo investimento inicial das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

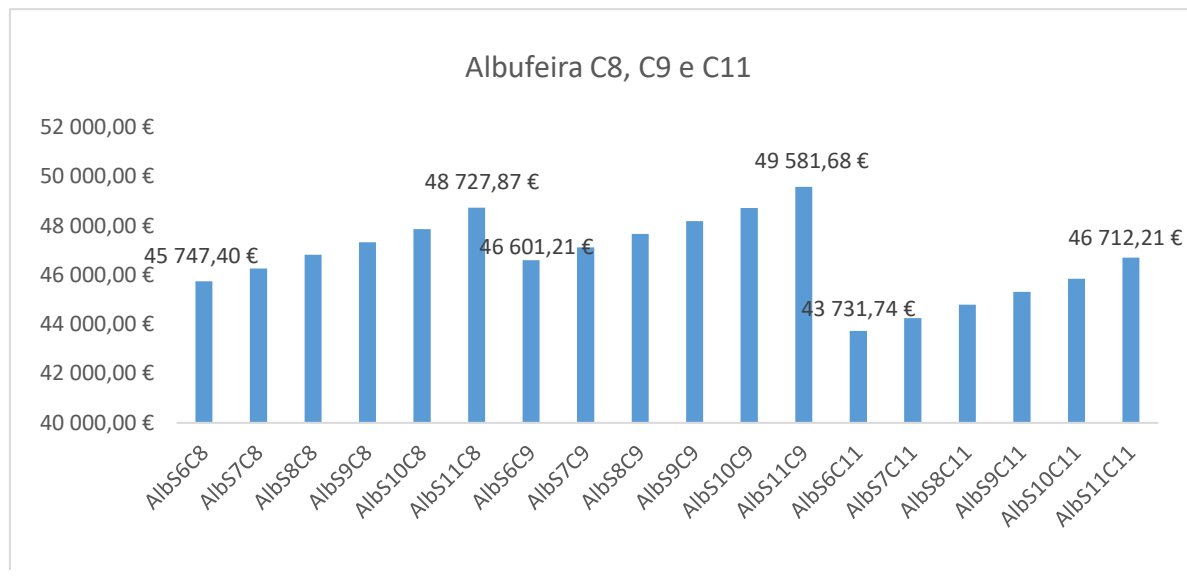


Fig.6.14. - Custo investimento inicial das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, e 11

Em termos médios, as soluções construtivas finais com menor investimento inicial, como já foi anteriormente dito, são as que possuem as combinações de sistemas técnicos 7, seguidas das que possuem a combinação de sistemas técnicos 11 e 3. Já as soluções construtivas finais que requerem um investimento inicial maior em Albufeira são as que têm a si associadas as combinações de sistemas técnicos 9 (mais caras) e 8. Prosseguindo com uma observação global do custo de investimento inicial das soluções construtivas de Albufeira constata-se que entre o mais baixo, AlbS6C7, e o mais caro, AlbS11C9, há uma diferença bem significativa, mais de 8 000 €. Fazendo-se agora uma análise para o custo do ciclo de vida da solução construtiva final, similar à efetuada para o custo do investimento inicial, constata-se pela análise da Fig.6.15. e da Fig.6.16. que as combinações de sistemas técnicos 3, 7 e 11 são as que originam menores custos ao longo do ciclo de vida.

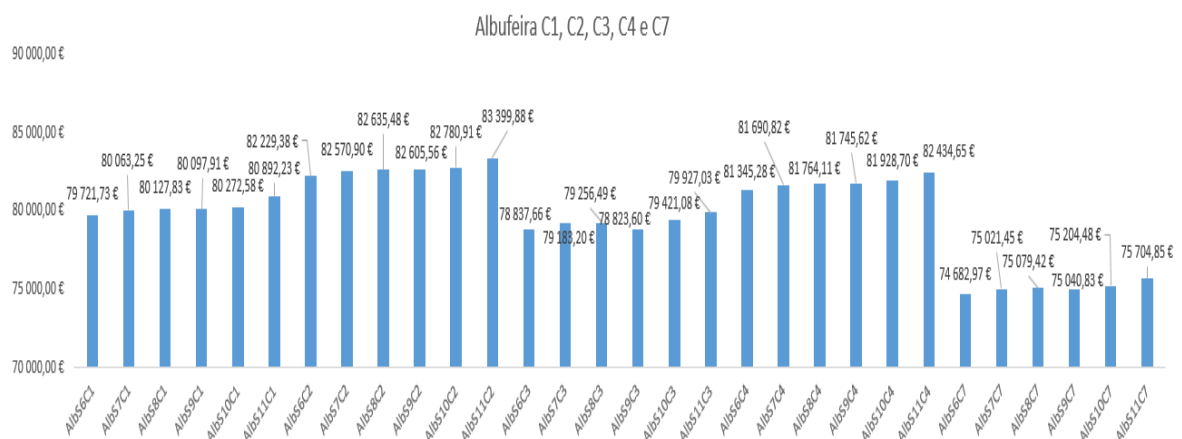


Fig.6.15. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

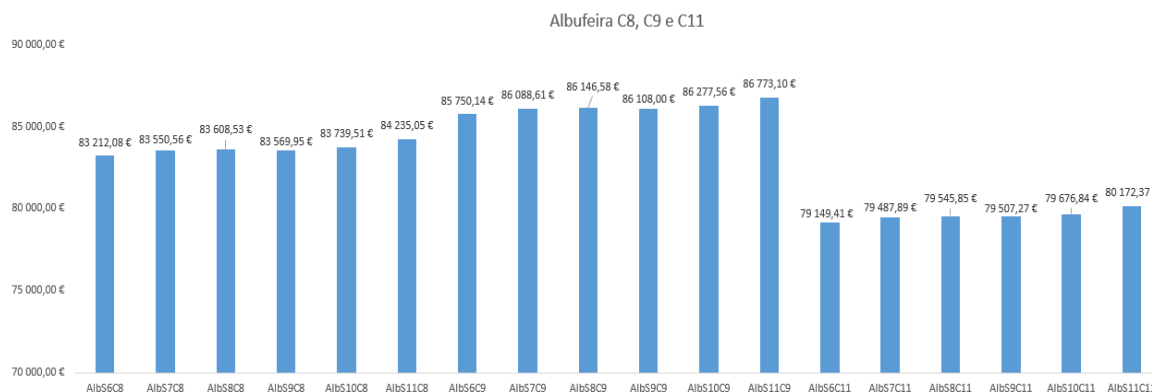


Fig.6.16. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Albufeira com as combinações de sistemas técnicos 8, 9 e 11

Aliás, tendo em conta todas as oito combinações de sistemas técnicos que com as soluções de envolvente estudadas neste documento, originam uma solução construtiva final nZEB em Albufeira, constata-se que o panorama verificado para o custo de investimento inicial, praticamente não se alterou ao longo do ciclo de vida. A única alteração que ocorreu foi entre as combinações 3 e 11: a combinação 3 tinha um maior investimento inicial do que a combinação 11, mas o custo do seu ciclo de vida foi menor do que o verificado para a combinação 11.

O menor custo do ciclo de vida em Albufeira foi o da solução construtiva final AlbS6C7 (74 682,97 €) e o maior foi o da solução construtiva AlbS11C9 (86 776,10 €).

Relembrando, a solução construtiva final AlbS6C7 tem a seguinte composição:

Vãos envidraçados:

- Área total dos vãos envidraçados é 12% da área útil da moradia (12,95 m²);
- Caixilharia em PVC com $U_f=1,3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$;
- Vidro duplo Solar.lite com fator solar $g=0,54$;
- Persiana de cor clara;

Envolvente opaca:

- Parede dupla com 5 cm de XPS na envolvente exterior e na envolvente do espaço interior não útil (despensa)
- Cobertura com 7 cm de XPS;
- Pavimento com 6 cm de XPS;

Sistemas técnicos:

- Sistema de AQS: Caldeira a pellets;
- Sistema aquecimento: Caldeira a pellets;
- Sistema de arrefecimento: Multi-split ar-ar;

Tendo como objetivo analisar o benefício a longo prazo da mudança do sistema solar térmico, SST1, pelo SST2 vamos focar a análise nas diferenças obtidas entre as soluções construtivas em que há passagem de C1-C2; C3-C4 e C8-C9.

Tabela 6.7. - Excerto Tabela de combinação de sistemas técnicos

Combinação	AQS	Aquecimento	Arrefecimento
Comb 1	SST1 + ESQ	SAL2	MS
Comb 2	SST2 + ESQ	SAL2	MS
Comb 3	SST1 + ESQ	SAL1 + MS	MS
Comb 4	SST2 + ESQ	SAL1 + MS	MS
Comb 8	SST1 + CALD1	CALD1	MS
Comb 9	SST2 + CALD1	CALD1	MS

Relembrando, os sistemas solares térmicos SST1 e SST2 têm as seguintes características e custos:

SST1: Sistema de Circulação forçada composto por dois painéis FKT-2 S com superfície útil 4,852 m² e acumulador de 300 litros

- Custo inicial: 4 599,06 €
- Custo manutenção: 349,53 €/ano

SST 2: Sistema de Circulação forçada composto por três painéis FKC-2 S com superfície útil 6,69 m² e acumulador de 300 litros

- Custo inicial: 5 452,87 €
- Custo manutenção: 414,42 €/ano

A grande questão agora prende-se com o facto de verificar se os maiores custos de investimento inicial e de manutenção do SST2 a longo prazo são supridos por um menor custo a ter com a energia do sistema auxiliar (esquentador ou caldeira a pellets), dado que, SST2 em Albufeira supprime mais 3% das necessidades de AQS do que o SST1.

Analisando a Fig.6.15 e a Fig.6.16 verificamos que o custo do ciclo de vida das soluções construtivas de Albufeira com a combinação de sistemas técnicos 2 (inclui SST2) é superior à combinação de sistemas técnicos 1 (inclui SST1), o da combinação de sistemas técnicos 4 (inclui SST2) é superior à combinação de sistemas técnicos 3 (inclui SST1), e o da combinação de sistemas técnicos 9 (inclui SST2) é superior à combinação de sistemas técnicos 8 (inclui SST1). Nestas condições, nunca seria vantajoso usar o SST2 em detrimento do SST1, dado que, os seus maiores custos iniciais e de manutenção não são compensados, nos 30 anos do ciclo de vida da moradia tipo, pelo menor custo de energia que se tem com o sistema auxiliar, até se acentuam. Esse aumento da diferença na passagem de custo inicial para custo do ciclo de vida deve-se ao facto do maior custo de manutenção anual do SST2 ser inferior à poupança anual de energia que se tem ao usar o SST2 em detrimento do SST1.

6.4.2. CHAVES

Pela observação da Fig.6.17. e da Fig.6.18. verifica-se que a forma dos gráficos que mostra o custo do investimento inicial de Chaves é a mesma dos de Albufeira. A diferença é que os valores de Chaves sofrem uma translação vertical (para cima) em relação aos verificados em Albufeira, ou seja, aumenta o custo, devido à envolvente da moradia tipo em Chaves (I3) ter um custo inicial superior à de Albufeira (I1) por ter requisitos mínimos bem diferentes.

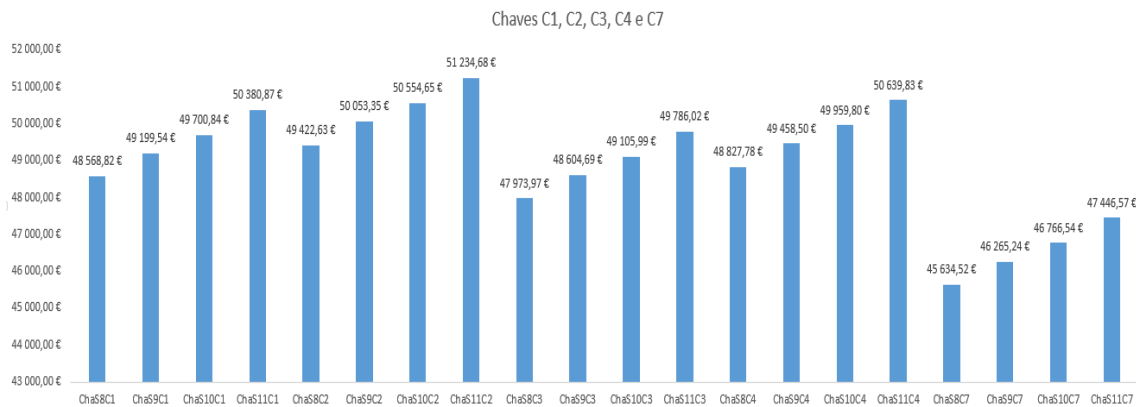


Fig. 6.17. - Custo investimento inicial das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

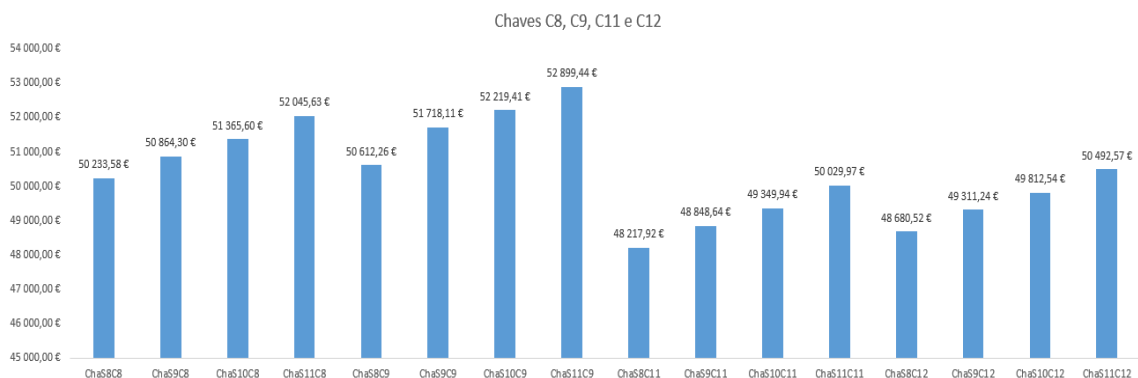


Fig. 6.18. - Custo investimento inicial das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12

Em termos médios, as soluções construtivas finais com menor investimento inicial são as que possuem as combinações de sistemas técnicos 7, seguidas das que possuem a combinação de sistemas técnicos 11 e 3, exatamente as mesmas de Albufeira. A única diferença é que o custo médio inicial das combinações de sistemas técnicos 3 em Albufeira era superior à combinação 11 e em Chaves é o contrário. Isso deve-se ao custo com os radiadores ser maior em Chaves do que em Albufeira, o que faz aumentar o preço da combinação 11 em Chaves, uma vez que a combinação de sistemas técnicos 3 não requer o uso de radiadores.

As soluções construtivas finais com investimento inicial maior em Chaves são também as mesmas de Albufeira.

Pelos gráficos apresentados na Fig.6.19. e na Fig.6.20. verifica-se que ao dispor de forma ordenada as combinações de sistemas técnicos pelo seu Custo de Ciclo de Vida, elas mantêm a mesma posição relativa evidenciada em Albufeira.

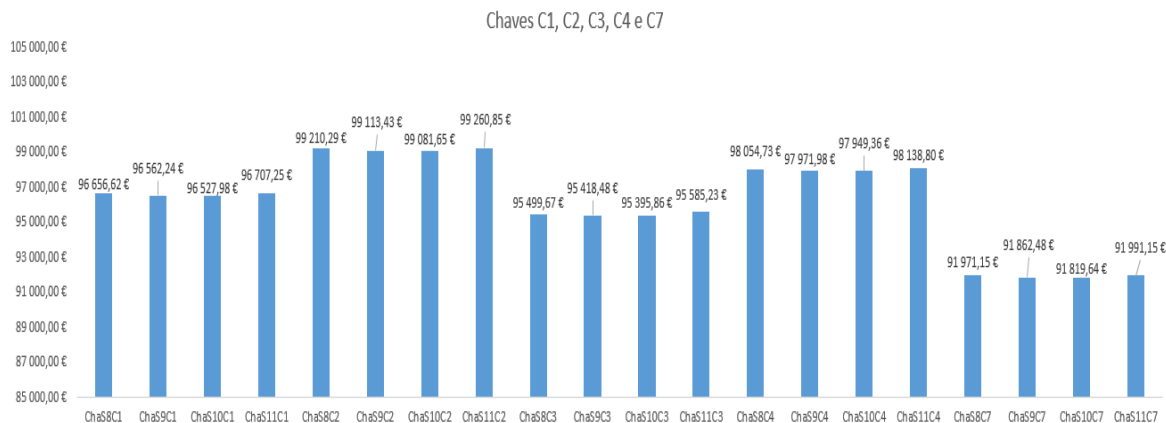


Fig.6.19. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

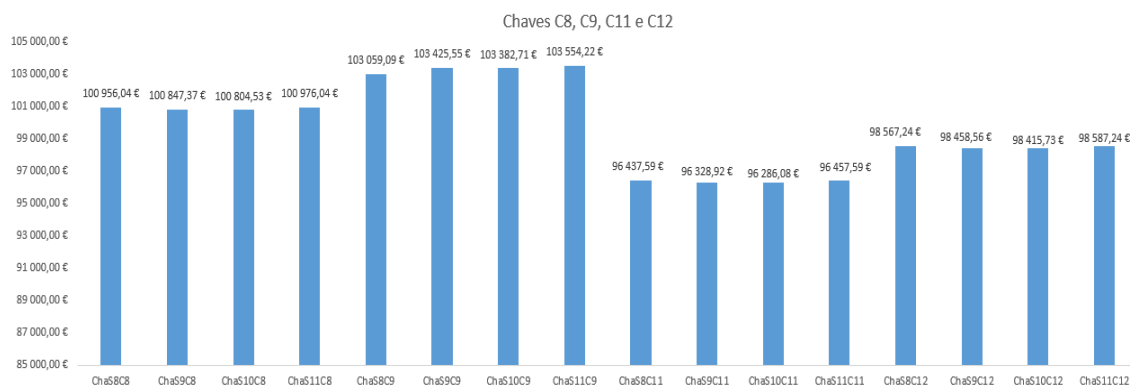


Fig.6.20. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Chaves com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12

O Custo do Ciclo de Vida das soluções construtivas de Chaves, que têm a mesma combinação de sistemas técnicos, tem uma enorme constância, praticamente não há oscilação entre as soluções de envolvente 8 e 11, dentro da mesma combinação.

A combinação de sistemas técnicos 7 é a que origina soluções construtivas finais com menor Custo de Ciclo de Vida e mesmo tendo uma grande constância, a solução construtiva final CHAS10C7 é a que tem o menor valor, 91 819,64 €, enquanto a solução final que origina um maior custo de ciclo de vida é a CHAS11C9, que tem um valor 103 554,22 €.

A diferença é bem significativa e obriga a ter uma atenção especial com este assunto, porque pode-se estar a gastar dinheiro a mais sem necessidade, bastando um estudo prévio para acautelar erros devido a más decisões.

A solução construtiva final ChaS10C7 tem a seguinte composição:

Vãos envidraçados:

- Área total dos vãos envidraçados é 12% da área útil da moradia (12,95 m²);
- Caixilharia em PVC com $U_f=0,89 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$;
- Vidro duplo Standard;
- Persiana de cor clara;

Envolvente opaca:

- Parede dupla com 12 cm de XPS na envolvente exterior e na envolvente do espaço interior não útil (despensa)
- Cobertura com 12 cm de XPS;
- Pavimento com 8 cm de XPS;

Sistemas técnicos:

- Sistema de AQS: Caldeira a pellets;
- Sistema aquecimento: Caldeira a pellets;
- Sistema de arrefecimento: Multi-split ar-ar;

Ao se repetir a análise já efetuada em Albufeira sobre o benefício, ou não, de se usar o SST2 em vez do SST1 constata-se o mesmo, a substituição nunca originou um menor Custo de Ciclo de vida, ou seja, com as soluções de envolvente e de sistemas técnicos estudadas neste documento, quando a moradia tipo se localiza em Albufeira e Chaves e se pretende escolher entre SST1 e SST2, deve-se optar pelo SST1.

6.4.3. PENAFIEL

O custo de investimento inicial das soluções construtivas de Penafiel têm um valor intermédio entre o apresentado pelas soluções de Albufeira (I1) e Chaves (I3), o que faz todo o sentido, dado que, Penafiel apresenta requisitos mínimos de zona climática de inverno I2.

A Fig.6.21. e a Fig.6.22. têm representado o gráfico do custo de investimento inicial de todas as soluções construtivas analisadas em Penafiel, que torna a moradia tipo num edifício com necessidades energéticas quase nulas.

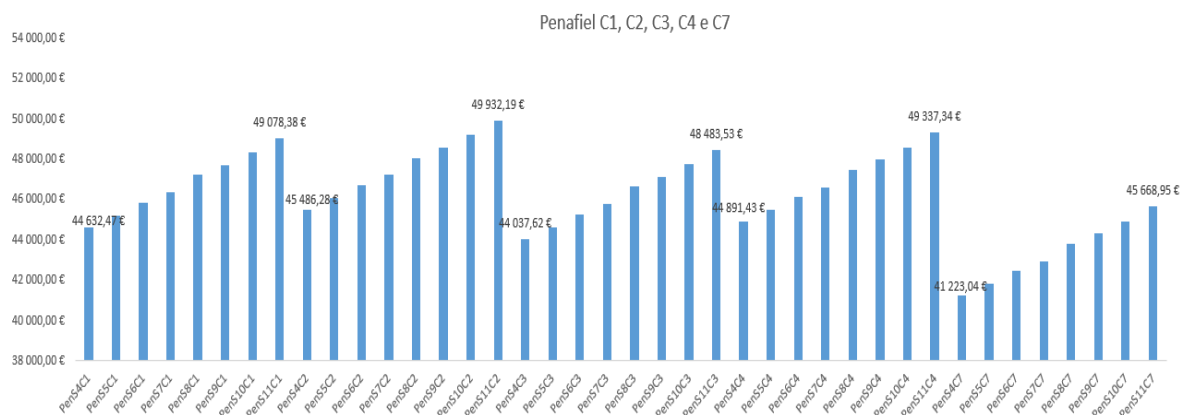


Fig.6.21. - Custo investimento inicial das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

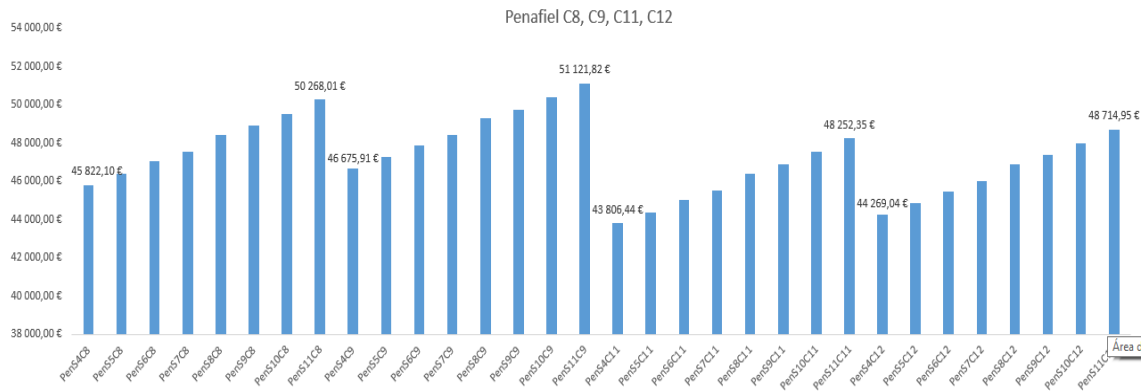


Fig.6.22. - Custo investimento inicial das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12

Focando a análise do Custo do Ciclo de Vida das soluções construtivas de Penafiel que se encontram representadas na Fig.6.23. e na Fig.6.24. observa-se o mesmo tipo de gráfico das soluções construtivas de Albufeira e Chaves. As soluções apresentam uma espécie de patamares e degraus que representa a constância, já falada, do Custo do Ciclo de Vida das soluções construtivas finais que têm a mesma combinação de sistemas técnicos.

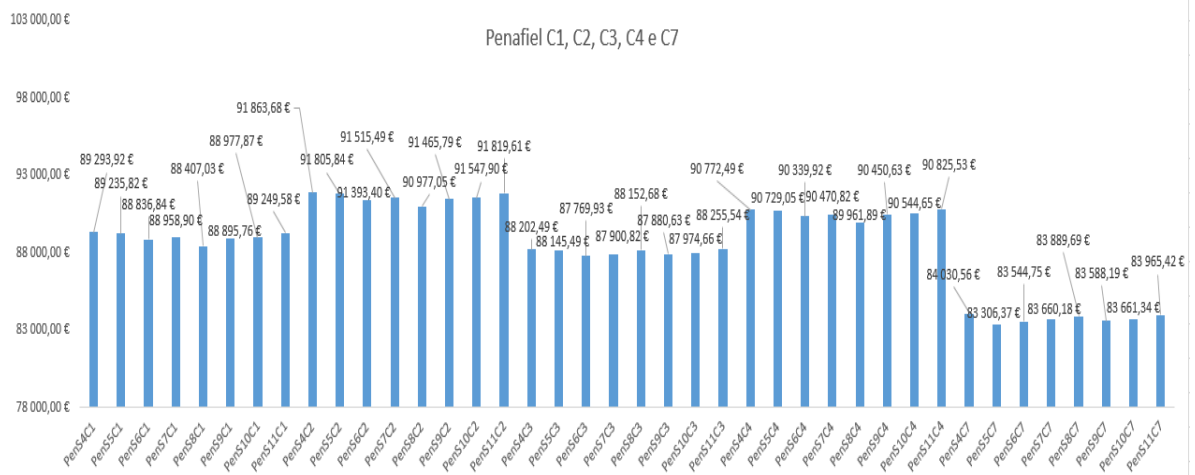


Fig.6.23. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 1. 2. 3. 4 e 7

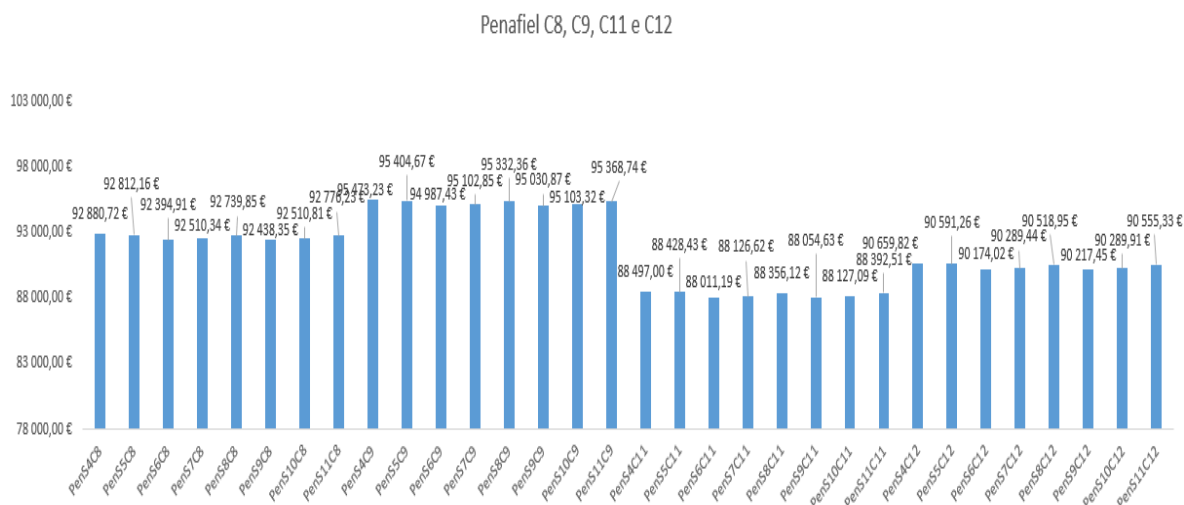


Fig.6.24. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Penafiel com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11, e 12

Esta constância verificada para a mesma combinação de sistemas técnicos é indicadora da preponderância que os sistemas técnicos têm a longo prazo no custo das soluções construtivas. Os sistemas técnicos ao longo do tempo, com o custo da energia que têm a si associados, diluem as diferenças inicialmente observadas pelos diferentes custos iniciais a ter com a envolvente, equilibrando o custo final.

A oscilação verificada em Penafiel é um bocado maior do que a verificada em Chaves e menor da verificada em Albufeira. Tal facto poderá estar relacionado com as necessidades energéticas de Penafiel serem menores do que as de Chaves e maiores do que as de Albufeira. Assim sendo, a diluição provocada ao longo do tempo pelos custos inerentes aos sistemas técnicos é mais acentuada em Chaves, seguida por Penafiel e por último Albufeira.

Em Penafiel a combinação de sistemas técnicos analisada que origina um menor Custo do Ciclo de Vida é, tal como em Albufeira e Chaves, a combinação 7. O menor custo em Penafiel é obtido quando a combinação 7 está aliada a solução construtiva 5, ou seja, a solução construtiva final Pen.S5C7. Esta solução construtiva final tem um Custo de Ciclo de Vida de 83 306,37 € e é composta por:

Vãos envidraçados:

- Área total dos vãos envidraçados é 15,5% da área útil da moradia (16,73 m²);
- Caixilharia em PVC com $U_f=1,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Vidro duplo Standard;
- Persiana de cor clara;

Envolvente opaca:

- Parede dupla com 6 cm de XPS na envolvente exterior
- Parede do espaço interior não útil (despensa) constituída por um pano de tijolo de 11 e 1,5 cm de reboco em ambas as faces;
- Cobertura com 9 cm de XPS;
- Pavimento com 6 cm de XPS;

Sistemas técnicos:

- Sistema de AQS: Caldeira a pellets;
- Sistema aquecimento: Caldeira a pellets;
- Sistema de arrefecimento: Multi-split ar-ar;

Efetuada-se a análise que permite tirar ilações sobre o benefício, ou não, de se usar o SST2 em vez do SST1 constata-se o mesmo, a substituição nunca originou um menor Custo de Ciclo de vida, ou seja, com as soluções de envolvente e de sistemas técnicos estudadas neste documento, quer a moradia tipo se localize em Penafiel, Albufeira ou Chaves e se pretenda escolher entre SST1 e SST2, deve-se optar pelo SST1.

6.4.4. SEIA

O custo de investimento inicial das soluções construtivas de Seia têm um valor próximo das soluções de Albufeira e bem menor do que Chaves, a outra zona climática de inverno, I3, estudada neste documento. Como já foi referido, isto deve-se ao facto de Seia ter necessidades de arrefecimento muito reduzidas e por isso não ter sido incluído sistema de arrefecimento.

A Fig.6.25. e a Fig. 6.26. têm representado o gráfico do custo de investimento inicial de todas as soluções construtivas analisadas em Seia, que torna a moradia tipo num edifício com necessidades energéticas quase nulas.

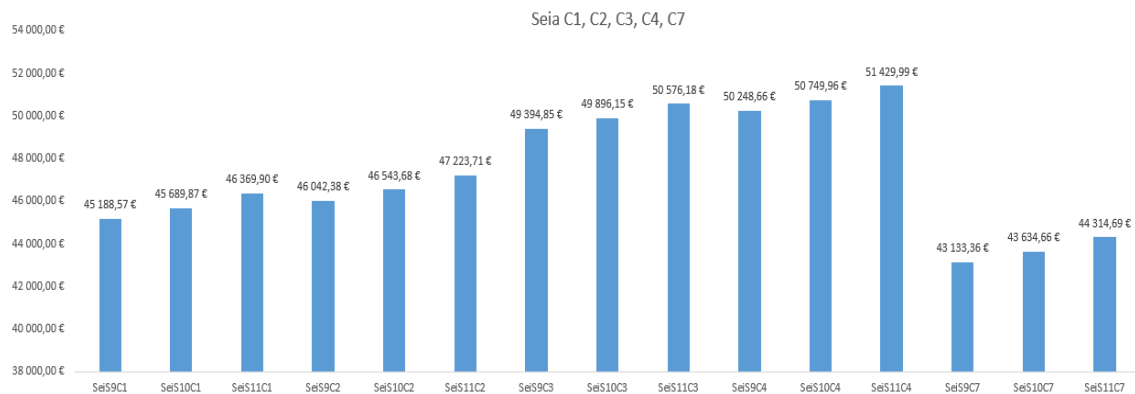


Fig.6.25. - Custo investimento inicial das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

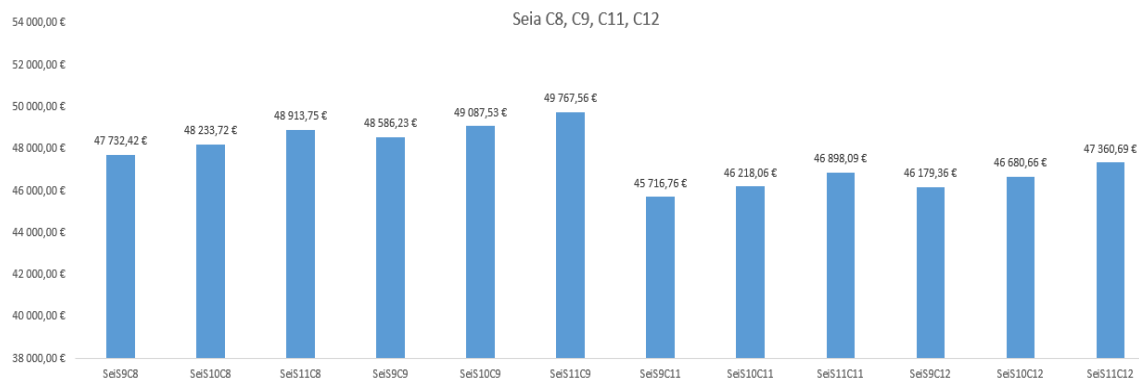


Fig. 6.26. - Custo investimento inicial das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11 e 12

Pela análise da Fig.6.25. e da Fig.6.26. verifica-se que o gráfico do custo de investimento inicial das soluções construtivas finais que originam edifícios nZEB em Seia tem a mesma forma das outras cidades aqui estudadas.

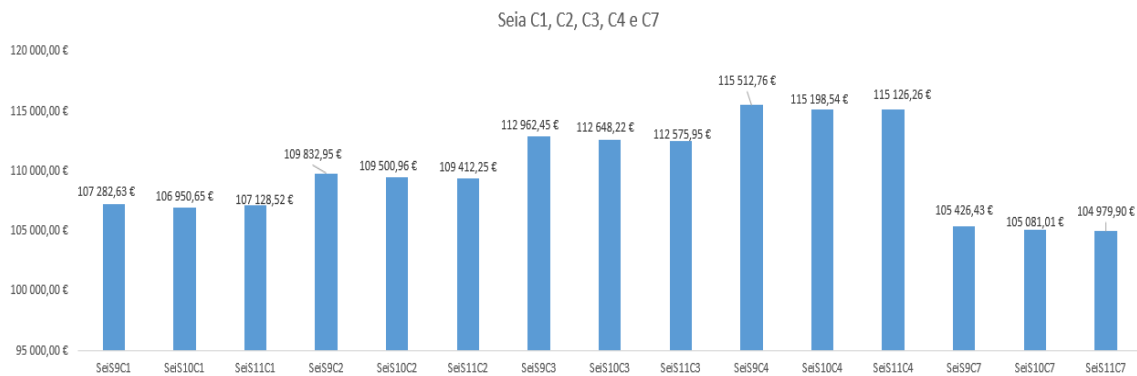


Fig.6.27. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 1, 2, 3, 4 e 7

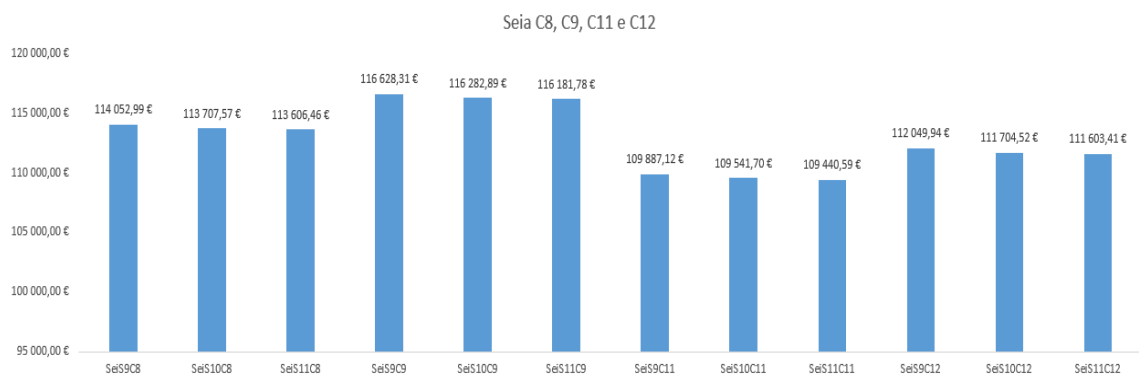


Fig.6.28. - Custo do ciclo de vida das soluções finais de Seia com as combinações de sistemas técnicos 8, 9, 11, e 12

A solução construtiva final que tem um menor Custo de Ciclo de Vida em Seia é a SeiS11C7 que tem um custo final de 104 979,90 €.

A sua composição é a seguinte:

Vãos envidraçados:

- Área total dos vãos envidraçados é 15,5% da área útil da moradia (16,73 m²);
- Caixilharia em PVC com $U_f=0,89 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Vidro duplo Standard;
- Persiana de cor clara;

Envolvente opaca:

- Parede dupla com 12 cm de XPS na envolvente exterior e na envolvente do espaço interior não útil (despensa)
- Cobertura com 14 cm de XPS;
- Pavimento com 8 cm de XPS;

Sistemas técnicos:

- Sistema de AQS: Caldeira a pellets;
- Sistema aquecimento: Caldeira a pellets;

Agora, depois de analisarmos as soluções construtivas nZEB em todas as localidades, voltamos à questão retórica aqui já levantada: “Veremos se o panorama se mantém (soluções finais com as combinação 7 continuam a ser as mais baratas e com a combinação 9 as mais caras) ou se o custo da energia, essencialmente, faz mudar a tendência”.

Tendo em conta as condições e as soluções construtivas finais analisadas neste documento, já se está em condições de afirmar que o panorama não foi alterado, o custo com a energia não alterou o panorama induzido pelo custo de investimento inicial. As combinações de sistemas técnicos que originavam soluções construtivas finais mais baratas e mais caras são as mesmas que originam Custos do Ciclo de Vida mais reduzidos e mais elevados. Tal acontece, porque todas as soluções construtivas finais anteriormente analisadas são soluções construtivas de edifícios com necessidades energéticas quase nulas, o custo com a energia não lhes faz variar muito o Custo do Ciclo de Vida, devido as suas reduzidas necessidades energéticas.

6.5 LCC nZEB vs LCC NÃO nZEB

Até ao último dia do ano civil de 2020 podiam ser licenciados, em Portugal, edifícios novos sem serem edifícios com necessidades energéticas quase nulas.

Assim sendo, com o objetivo de perceber qual o impacto que as exigências nZEB poderão ter no bolso dos portugueses, irá ser feita uma comparação entre algumas soluções construtivas finais nZEB, analisadas neste documento, e uma solução que cumpria todos os requisitos térmicos necessários para poder ser licenciada até ao dia 31 de Dezembro de 2020, mas que já não pode ser licenciada desde o primeiro dia de 2021.

Esta solução construtiva, que já não pode ser licenciada, tem como solução de envolvente a Solução Base (respeita os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis por zona climática de inverno), que está caracterizada por localidade no capítulo 3.1., e tem como sistemas técnicos o coletor

solar térmico, SST2, a caldeira a gás natural (CALD2), que é responsável pelo aquecimento e também funciona como sistema auxiliar para AQS e o multi-split ar-ar (MS) é o sistema técnico que faz o arrefecimento. A escolha recaiu por usar um dispositivo a gás natural no processo de aquecimento, porque o gás é, por larga margem, o combustível mais consumido em Portugal, tendo em conta os dados de 2010 [70].

A Fig.6.29, a Fig.6.30., a Fig.6.31. e a Fig.6.32. mostra-nos, respetivamente, o Balanço Energético em Albufeira, Chaves, Penafiel e Seia, quando a moradia tipo era composta pela solução base de cada localidade e a combinação de sistemas técnicos 13.

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	37,70	41,74	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	12,52	18,37	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		998,64	Ntc/Nt
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	3451	0	0,78
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2285	0	
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00	Classe Energética
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	67,73	87,46	B-

Fig.6.29. - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Albufeira

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	93,57	97,40	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	7,01	12,86	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		998,64	Ntc/Nt
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2092	0	0,86
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2092	0	
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00	Classe Energética
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	124,57	144,30	B-

Fig.6.30. - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Chaves

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	70,20	84,46	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	6,08	10,77	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		998,64	Ntc/Nt
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2134	0	0,77
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2134	0	
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00	Classe Energética
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	99,53	128,62	B-

Fig.6.31 - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Penafiel

Balanço energético				
Indicadores energéticos				
Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	166,79	171,95	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	1,02	3,00	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		998,64	Nic/Nt
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2216	0	0,91
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2216	0	
Eren,ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00	Classe Energética
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	200,36	220,45	B-

Fig.6.32 - Balanço Energético da Solução base com Combinação 13 em Seia

Verificamos que os dois critérios de necessidades nominais de energia útil, $Nic \leq Ni$ e $Nvc \leq Nv$, e o critério de necessidades de energia primária, $Ntc \leq Nt$, são cumpridos em todas as localidades, ou seja, a solução construtiva final, respeitava todos os requisitos térmicos, e poderia ser licenciada até 31 de Dezembro de 2020, e ficaria com certificação energética B^- .

Repetindo o processo já feito para os edifícios nZEB, calculou-se o LCC da solução construtiva acima descrita em cada localidade, estando apresentado o resultado na Fig.6.33. e o do seu correspondente custo de investimento inicial, na Fig.6.34..

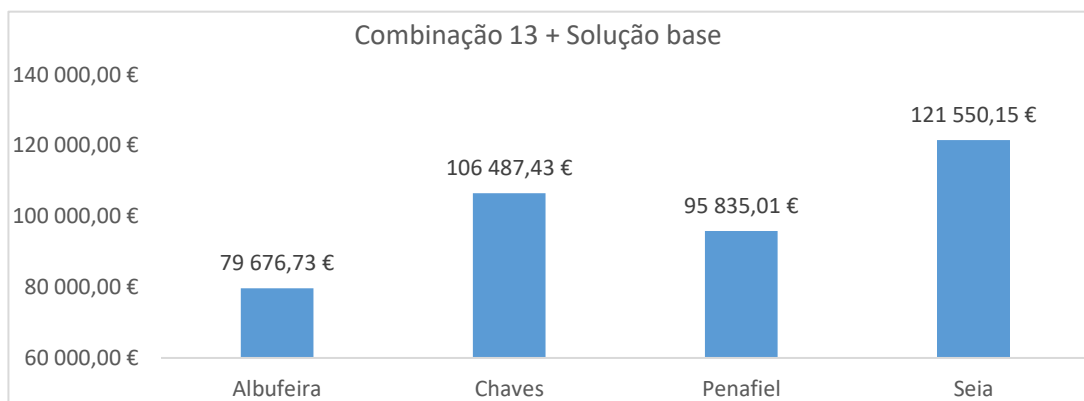


Fig.6.33. - Custo do Ciclo de Vida da solução construtiva Combinação 13 + Solução base por localidade

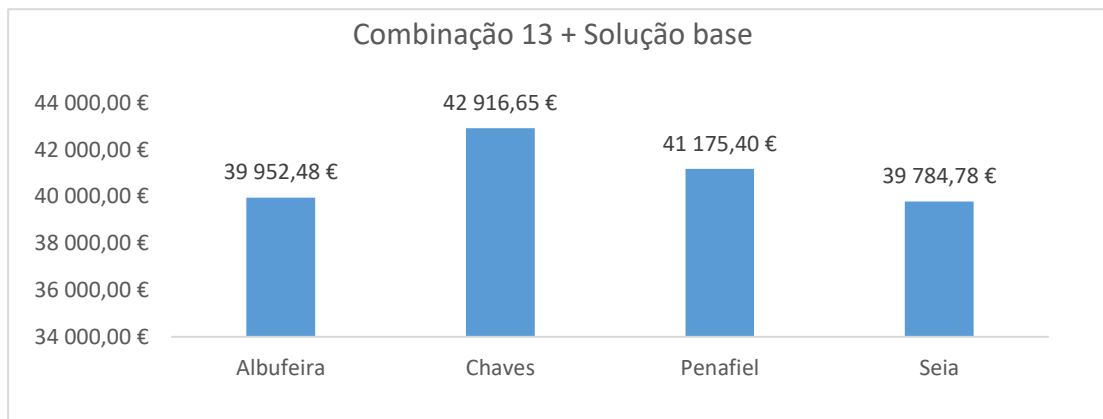


Fig.6.34. - Custo do investimento inicial da solução construtiva Combinação 13 + Solução base por localidade

O custo de investimento inicial da solução construtiva final que em cada localidade não é nZEB (Combinação 13 + Solução base), é substancialmente menor do que as originam a solução construtiva final com maior e menor Custo do Ciclo de Vida. A solução não nZEB, aqui apresentada, tem um custo de investimento inicial menor em cerca de 10 000 € do que a nZEB que origina um maior LCC em Albufeira, Chaves e Seia, enquanto que em Penafiel a diferença cifra-se em cerca de 5 000 €, relativamente à solução com menor LCC as diferenças são bem menor, tal como podemos observar na Fig.6.35..

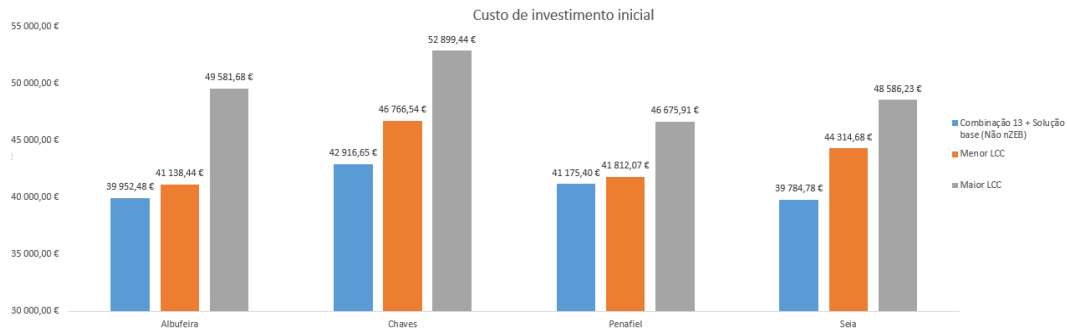


Fig.6.35. - Custo de investimento inicial da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC

No que diz respeito ao custo com manutenção anual, também ele é menor na solução construtiva não nZEB do que na nZEB com maior LCC, mas a solução nZEB com menor LCC é a que tem sempre um menor custo de manutenção anual.

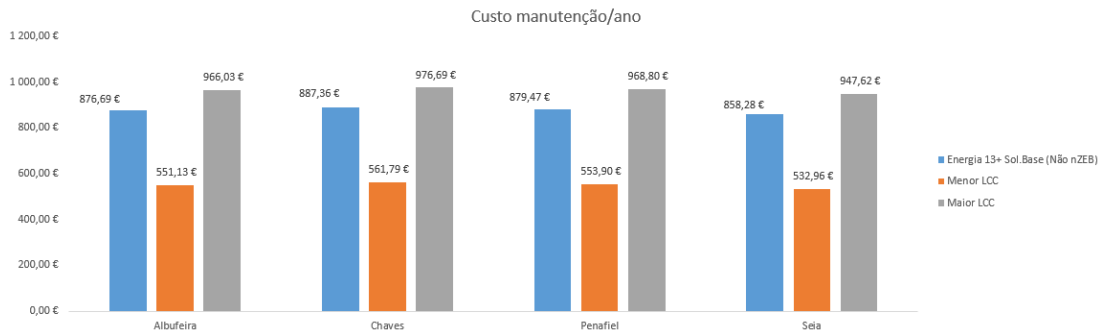


Fig.6.36. - Custo da manutenção anual da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC

Seguidamente, ao ser incorporado na equação o custo anual a ter com a energia, de cada uma das três solução construtiva finais que estamos a analisar nesta fase do documento, representado na Fig.6.37., podemos interpretar o Custo do Ciclo de Vida de cada uma, na Fig.6.38..

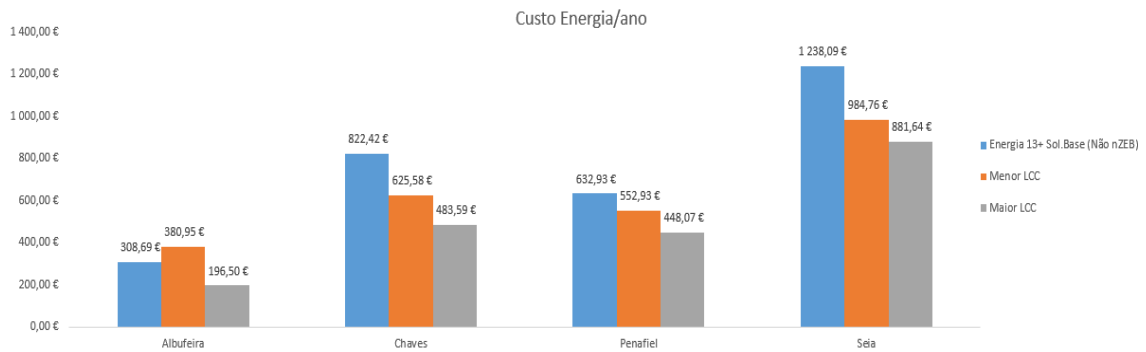


Fig.6.37. - Custo anual da energia da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC

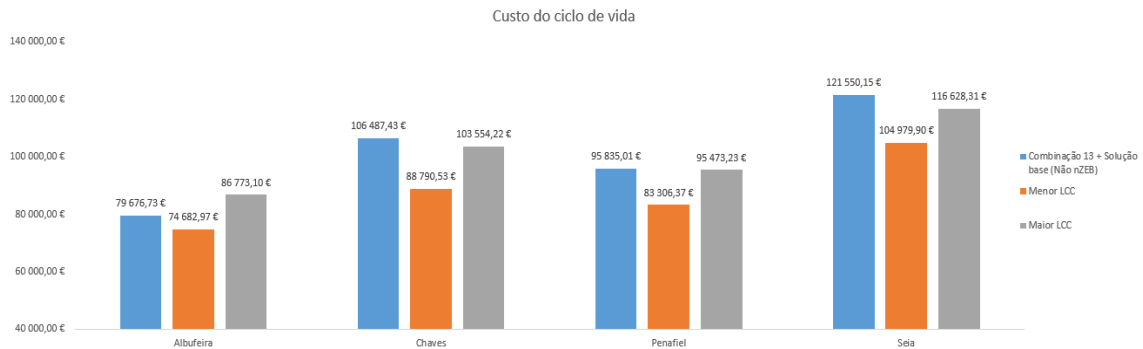


Fig.6.38. - Custo do Ciclo de Vida da solução não nZEB e das nZEB estudadas que conduzem a um maior e um menor LCC

O Custo do Ciclo de Vida da solução construtiva final não nZEB, aqui analisada, é superior em todas as localidades ao da solução nZEB com menor Custo de Ciclo de Vida. Nas localidades com maiores necessidades energéticas (Chaves e Seia) a diferença é bem significativa, perto de 20 000 €.

Quando se faz a comparação entre a solução construtiva final não nZEB e a nZEB com maior LCC, apesar da grande diferença de investimento inicial a favor da solução não nZEB e também do seu menor valor de manutenção, verificamos que só em Albufeira, onde as necessidades energéticas são menores, é que o Custo do Ciclo de Vida da solução não nZEB é menor. Nas outras localidades as enormes diferenças iniciais seriam compensadas ao longo dos anos pelo menor custo a ter com a energia.

A solução construtiva final analisada neste documento, que só poderia ser licenciada até dia 31 de Dezembro de 2020, solução não nZEB, tem um maior Custo de Ciclo de Vida do que praticamente todas as nZEB analisadas.

Para perceber se os benefícios monetários que a solução nZEB com menor LCC tem relativamente à não nZEB são a curto, médio ou longo prazo calculou-se o custo de vida das duas soluções finais, ao longo dos anos. A Fig.6.39. mostra os resultados de Albufeira, enquanto que os das outras localidades estão no Anexo X.

n	Albufeira	
	Não nZEB	nZEB com Menor LCC
1	41 144,34 €	42 079,46 €
2	42 342,88 €	43 029,67 €
3	43 548,32 €	43 989,36 €
4	44 760,88 €	44 958,78 €
5	45 980,80 €	45 938,22 €
6	47 208,31 €	46 927,97 €
7	48 443,65 €	47 928,32 €
8	49 687,06 €	48 939,59 €
9	50 938,81 €	49 962,07 €
10	52 199,15 €	50 996,10 €
11	53 468,35 €	52 041,99 €
12	54 746,68 €	53 100,08 €
13	56 034,42 €	54 170,72 €
14	57 331,87 €	55 254,27 €
15	58 639,31 €	56 351,08 €

Fig.6.39. – Payback Solução nZEB com menor LCC em Albufeira

Pela análise da Fig.6.39. percebe-se que ainda antes do final do 5º ano de vida do edifício, o maior custo de investimento inicial da solução nZEB com menor LCC de Albufeira já foi amortizado.

Em Penafiel a amortização ainda foi mais rápida, ocorrendo ao 2º ano, enquanto em Chaves e Seia ocorreu à passagem do 8º ano de vida do edifício.

Posto isto, tendo como base as soluções de envolvente e as combinações de sistemas técnicos estudados neste documento, conclui-se que, para além dos benefícios ambientais derivados da maioritária utilização de energias renováveis, os proprietários dos edifícios com necessidades energéticas quase nulas, apesar do maior investimento inicial, também serão beneficiados pelo seu menor custo a curto/médio prazo.

7

CONCLUSÕES

7.1. CONCLUSÕES GERAIS

Após a conclusão deste estudo, verifica-se que os objetivos inicialmente propostos foram respondidos durante o mesmo.

Tendo por base as diversas soluções construtivas finais analisadas neste estudo, constatou-se que as alterações impostas pela legislação Portuguesa à edificação, para que esta alcance os requisitos nZEB são cirúrgicas, isto é, são poucas e têm consequências muito benéficas. Essas medidas assentam fundamentalmente, em três pontos: redução de 25% no valor de N_{ic} e redução de 50% no valor de N_{tc} , em relação aos valores máximos admissíveis, e exigir que os sistemas técnicos para aproveitamento de fontes de energia renovável supram 50% das necessidades anuais de energia primária. Para além dos benefícios ambientais, inerentes ao menor uso de combustíveis fósseis, há o benefício monetário demonstrado pelo menor custo do ciclo de vida dos edifícios nZEB.

Os requisitos impostos aos edifícios nZEB pela Portaria nº 98/2019, acerca das necessidades nominais de energia de aquecimento, não são cumpridos quando são utilizados os coeficientes de transmissão térmica máximos impostos pelo REH para cada zona climática de inverno, U_{max} . Na edificação nZEB têm de ser utilizados, necessariamente, coeficientes de transmissão térmica menores do que os U_{max} impostos pelo REH.

A área envidraçada, o fator solar do vidro e a proteção solar móvel utilizada têm influência nas necessidades nominais de energia útil e o seu estudo prévio não pode ser descurado, tendo como objetivo minimizar as necessidades energéticas, mas sem incorrer no risco de sobreaquecimento no verão, essencialmente na zona climática de verão V3.

Uma bomba de calor ar-água, quando utilizada para aquecimento e arrefecimento, se não for conjugada com outro (s) sistema (s) técnico (s), de entre as localidades analisadas, só em Penafiel é que cumpre as exigências nZEB, com espessuras de isolamento térmico razoáveis. Nas outras localidades (Albufeira, Chaves e Seia), na situação de utilização exclusiva da bomba de calor ar-água, as espessuras de isolamento necessárias para cumprir as exigências nZEB seriam demasiado elevadas para a realidade climática portuguesa. Por outro lado, a caldeira a biomassa (usada para AQS e aquecimento) para além de satisfazer facilmente os requisitos para a edificação nZEB, também é (quando conjugada com o multisplit ar-ar) a combinação de sistemas técnicos que origina o menor investimento inicial e o menor custo de ciclo de vida, em todas as localizações estudadas para a habitação unifamiliar tipo.

7.2. POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para desenvolvimentos futuros, sugere-se distribuir a área envidraçada de forma distinta pelas diferentes fachadas da habitação unifamiliar tipo, para perceber o impacto que a orientação tem nas necessidades energéticas e consequentemente nos requisitos nZEB.

O estudo de diferentes sistemas técnicos ou sistemas técnicos com outras eficiências, principalmente de arrefecimento, seria apropriado devido à amostra aqui estudada para esse efeito ser muito reduzida. Acrescentar ao estudo as combinações de zonamento climático que aqui não foram abordadas, também seria interessante para perceber se a análise diferia muito da aqui observada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wackernagel, M. & Rees, W. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. 1996.
- [2] Klugman, J., Rodríguez, F. & Choi, H. *The HDI 2010: New controversies, old critiques*. The journal of Economic Inequality. 24/5/2011.
- [3] Alves, J. E. *Desenvolvimento Humano e o aumento da Pegada Ecológica*. 1/6/2016. <https://www.ecodebate.com.br/2016/06/01/desenvolvimento-humano-e-o-aumento-da-pegada-ecologica-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/> Visitado em 8/10/2020.
- [4] [Data.footprintnetwork.org/?fbclid=IwAR0IdNR72mBLCRVSha98W3TU7NJo2E8CDIf_Q8DbZ4U25lpcoAsLkxv1oKY#/sustainableDevelopment?cn=all&yr=2017&type=BCpc,EFCpc](https://data.footprintnetwork.org/?fbclid=IwAR0IdNR72mBLCRVSha98W3TU7NJo2E8CDIf_Q8DbZ4U25lpcoAsLkxv1oKY#/sustainableDevelopment?cn=all&yr=2017&type=BCpc,EFCpc). Visitado em 8/10/2020.
- [5] Roig, C., Silva, I. & Guerra, S. *Eficiência energética e o retorno às energias renováveis no século XXI*. Revista OIDLES, Vol 3, Nº7, 7/12/2009.
- [6] Paone, A. & Bacher, J. P. *The Impact of Building Occupant Behavior on Energy Efficiency and Methods to Influence It: A Review of the State of the Art*, University of Applied Sciences and Arts. Western Switzerland—Fribourg, 11/4/2018.
- [7] Energy Performance of Building Directive [EPBD]- DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. 18/6/2010
- [8] Diario da República Eletrónico [DRE], *Portaria n.º 98/2019*. 2/4/2019.
- [9] Sartoria, I., Voss, K., Napolitano, A. *Net zero energy buildings: A consistent definition framework*, Energy Buildings. 28/01/2012.
- [10] Energy Performance of Building Directive [EPBD]- DIRECTIVE 2002/91/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION 16/12/2002.
- [11] Energy Performance of Building Directive [EPBD]- DIRECTIVE 2006/32/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. 5/4/2006.
- [12] Energy Performance of Building Directive [EPBD]- DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. 25/10/2012.
- [13] Energy Performance of Building Directive [EPBD]- DIRECTIVE 2018/844/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. 30/5/2018.
- [14] Guerra, F. *nZEB - Quantificação do impacto nos edifícios residenciais da nova legislação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020.
- [15] Energy Performance of Building Directive [EPBD]- DIRECTIVE 93/76/CEE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. Official Journal of the European Union, 13/9/1993.
- [16] Diario da República Eletrónico [DRE], *Decreto-Lei n.º 40/90*, 6/2/1990.

- [17] Diário da República Eletrónico [DRE], Decreto-Lei n.º 78/2016, 4/4/2006.
- [18] Diário da República Eletrónico [DRE], Decreto-Lei n.º 79/2016, 4/4/2006.
- [19] Diário da República Eletrónico [DRE], Decreto-Lei n.º 80/2016, 4/4/2006.
- [20] Diário da República Eletrónico [DRE], Decreto-Lei n.º 118/2013, 20/8/2013.
- [21] Santos, P. *NZEB: Nearly Zero Energy Building Metodologias para Implementação NZEB Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo*, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2017.
- [22] Agência para a energia [ADENE]. *Isolamento de paredes*, 10 Soluções Eficiência Energética, Vol. 1, 2016.
- [23] Araújo, L. *Caracterização de uma biblioteca de paredes na metodologia BIM*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2016.
- [24] Horta, R. *Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [25] Freitas, V. *Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS*. Relatório do Laboratório de Física das Construções, Porto, 2014.
- [26] Leão, B. *Estudo da durabilidade do sistema ETICS em paredes exteriores através da inspeção de edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2017.
- [27] Blazius, C. *Fachada Ventilada: Materiais e Técnicas Adotadas no Brasil e no Exterior*. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2019.
- [28] Pranto, S. *Utilização de Elementos cerâmicos colados em fachada ventilada*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2010.
- [29] <http://www.tecnofront.pt/pt/paginas/10/sistema-frontal-al-4.html>. Visitado em 3/11/2020.
- [30] Friling, G. *Implementação De Uma Solução Inteligente De Controlo De Estores*. Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, 2019.
- [31] www.solarinnova.net/pt/produtos/fotovoltaica/modulos/bipv/personalizado#fator-solar-g. Visitado em 5/11/2020.
- [32] Diário da República Eletrónico [DRE], Portaria 379-A/2015, 22/10/2015.
- [33] Agência para a energia [ADENE], *Isolamento de coberturas*, 10 Soluções Eficiência Energética, Vol. 2, 2016.
- [34] Paulo, P., Brito, J. *Classificação e descrição geral das soluções de revestimentos de coberturas inclinadas em edifícios*. <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-cor/19%20Revestimentos%20de%20coberturas%20inclinadas%20-%2019%C2%AA%20e%2020%C2%AA%20aulas%20te%C3%B3ricas%20-%20COR.pdf>. Visitado em: 8/11/2020
- [35] Camacho, J., *Custo do ciclo de vida das coberturas*. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2018
- [36] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0|2|QAD020|qad_020_021%20asfaltica:c3_0_1c13_0_5c30_0_5_0 Visitado em 3/11/2020
- [37] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0|0|QAD020|qad_020_021%20asfaltica:c3_0_1c13_0_5c30_0_5_0 Visitado em 3/11/2020

- [38] Ribeiro, V. *Dimensionamento de instalações solares térmicas em edifícios projeto e análise de viabilidade económica*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [39] Martins, A. *A Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado*. Universidade Fernando Pessoa Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.
- [40] Santos, A. *Dimensionamento de uma caldeira com produção de água quente queimando peletes de biomassa*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [41] <http://apj.pt/circulacao.html> Visitado em 5/11/2020
- [42] https://www.solzaima.pt/storage/pdf/SZM_catalogo%20geral%202017_Aq.Central%20PT_web.pdf Visitado em: 7/11/2020
- [43] <https://www.enat.pt/bombas-de-calor>. Visitado em: 10/11/2020
- [44] <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> Visitado em: 10/11/2020
- [45] Diário da República Eletrónico [DRE], Portaria n.º 349-B/2013, 29/11/2019
- [46] Chvatal, K. *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [47] Instituto Nacional de Estatística, I. P. *Estatísticas da Construção e Habitação – 2019, 2020*.
- [48] Agência para a energia [ADENE]. *Guia SCE – Indicadores de Desempenho Energético (REH)*, 13/03/2020.
- [49] M A Berawi et al 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 105 012097
- [50] <https://www.gsa.gov/node/81412> Visitado em: 30/11/2020.
- [51] [https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Infla%3%a7%3%a3o+\(Taxa+de+Varia%3%a7%3%a3o+do+%3%8ndice+de+Pre%3%a7os+no+Consumidor\)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315](https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Infla%3%a7%3%a3o+(Taxa+de+Varia%3%a7%3%a3o+do+%3%8ndice+de+Pre%3%a7os+no+Consumidor)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315). Visitado em: 30/11/2020.
- [52] <https://www.global-rates.com/pt/taxa-de-juros/euribor/taxa-de-juros-euribor-12-meses.aspx>. Visitado em: 5/12/2020.
- [53] <https://observador.pt/2020/05/14/banco-central-europeu-satisfeito-com-efeitos-das-taxas-de-juro-negativas-na-zona-euro/>. Visitado em: 8/12/2020.
- [54] <http://www.geradordeprecos.info/>. Visitado em: 15/11/2020.
- [55] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=6|0_0_0_0_0_0_0_0|2|NAU050|nau_050:c7_0_2c8_0 Visitado em: 16/11/2020
- [56] <https://orcamentos.eu/fichas-de-rendimento-com-precos-de-rebocos-e-betonilhas/>. Visitado em: 16/12/2020.
- [57] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Isolamentos_e_impermeabilizacoes/Impermeabilizacoes/Lajes_terreas/NIS011_Impermeabilizacao_de_laje_terrea__c.htm Visitado em: 16/11/2020
- [58] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Isolamentos_e_impermeabilizacoes/Isolamentos/Pavimentos_flutuantes/NAL050_Isolamento_de_pavimentos_flutuantes_0_0_1_0_0_0_3.html Visitado em: 16/11/2020

- [59] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas__divisoas_e_proteccoes/Alvenaria_nao_est_rutural/FFZ_Pano_exterior_para_revestir_em/FFZ015_Pano_exterior_de_fachada_dupla_de_.html Visitado em: 16/11/2020
- [60] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2|0_0_1_0_0_0|0|FFQ010|ffq_010_ffy020%20particion:c6_0_1c11_0_5_5c11_0 Visitado em: 16/11/2020
- [61] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0_0_0_0|4|LVC010|lvc_presentacion:_0_0_0_0_0_1_0_1_1_0_1_0_0_0_0 Visitado em: 16/11/2020
- [62] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0_0_0_0_0_0|4|LVC020|lvc_020:_0_0_4c6_0_2c6_0 Visitado em: 16/11/2020
- [63] <https://www.gealan.de/pt/sistemas/s-9000>. Visitado em: 20/11/2020
- [64] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=10|0_0_0_0_0_0|3|LCV015|lcv_015:_0_0c3_1c4_0_8c3_0_1_0_1 Visitado em: 25/11/2020
- [65] <https://www.smartfire.pt/categoria-produto/instalacao/distribuicao-de-ar-quente/> Visitado em: 25/11/2020
- [66] <http://docplayer.com.br/71670968-Rointe-solucoes-de-aquecimento.html> Visitado em :27/11/2020
- [67] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0_0_0_0_0_0_1|0|ICE110|ice_110:_0_9_0_0_1c7_0_2c4_0_1_6c25_0_1c4_0_1c7_0 Visitado em: 27/11/2020
- [68] Pereira, B. *Propriedades De Pellets: Biomassas, Aditivos E Tratamento Térmico*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais – Brasil, 2014.
- [69] https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Aquecimento-e-Climatizacao/Aquecimento-pellets-e-lenha/Combustiveis/WPR_REF_16119936. Visitado em: 13/12/2020.
- [70] https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0005994&contexto=bd&selTab=tab2. Visitado em 15/12/2020.

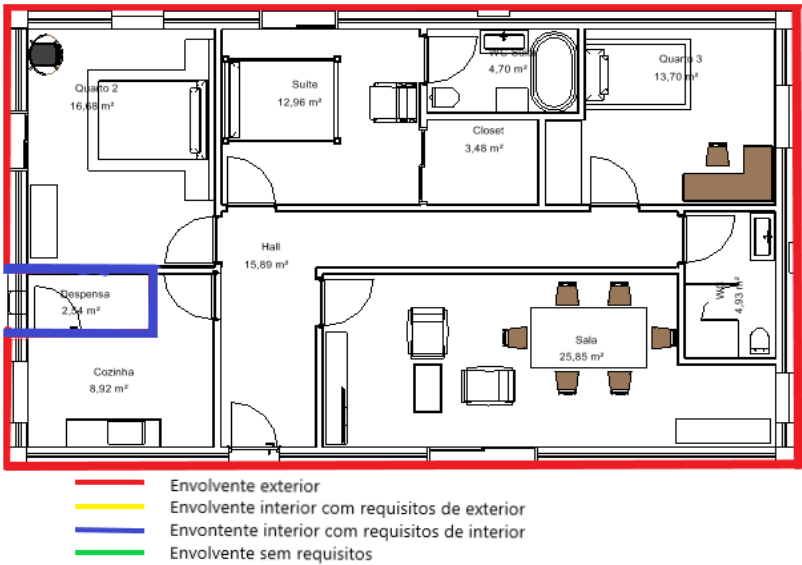
ANEXOS

ANEXO I. ELEMENTOS GERAIS DA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR TIPO

A1. PLANTA PISO TÉRREO DA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR TIPO , ESCALA 1/100



A2. DIVISÃO DE ENVOLVENTE DA HABITAÇÃO FAMILIAR TIPO EM PLANTA



ANEXO II. INÉRCIA TÉRMICA DA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR TIPO



Atualizar Inércia no separador Introdução de Dados

INÉRCIA TÉRMICA

EL1 - Elementos da envolvente exterior

Paredes exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDE1	35,92	100,44	100,44	1,00	3607,80
PDE1	18,17	100,44	100,44	1,00	1824,99
PDE1	36,40	100,44	100,44	1,00	3656,02
PDE1	17,84	100,44	100,44	1,00	1791,85
PTPPDE1	1,20		0,00		0,00
PTPPDE1	1,29		0,00		0,00
PTPPDE1	0,90		0,00		0,00
PTPPDE1	1,14		0,00		0,00
			0,00		
TOTAL					10880,67

Pavimentos exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		
TOTAL					0,00

Coberturas exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
CBE1	116,44	433,50	150,00	1,00	17466,00
			0,00		
TOTAL					17466,00

EL1 - Elementos da envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não úteis

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDI1	15,27	100,44	100,44	1,00	1533,72
VOI1	1,89		0,00		0,00
			0,00		
TOTAL					1533,72

Paredes em contacto com edifícios adjacentes

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		
TOTAL					0,00

Pavimentos sobre espaços não úteis

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		
					0,00

Coberturas interiores (sob espaços não úteis)

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		
TOTAL					0,00

EL1 - Elementos em contacto com outra fracção autónoma

Paredes em contacto com outra fracção autónoma

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
TOTAL					0,00

Pavimentos enterrados

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
TOTAL					0,00

Pavimentos térreos

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PVT1	107,93	622,32	150,00	1,00	16189,50
TOTAL					16189,50

It 426,85

Classe de inércia térmica Forte

ANEXO III. VALORES DE NIC E NVC [KWH/(M².°C)] E OS RESPECTIVOS LIMITES REGULAMENTARES PARA CADA COMBINAÇÃO VIDRO + PROTEÇÃO SOLAR MÓVEL + ÁREA ENVIDRAÇADA

Albufeira														
		Vid.1 +P1	Vid.1 +P2	Vid.1 +P3	Vid.1 +P4	Vid.2 +P1	Vid.2 +P2	Vid.2 +P3	Vid.2 +P4	Vid.3 +P1	Vid.3 +P2	Vid.3 +P3	Vid.3 +P4	Max.
Menor Área envidraçada	N _{ic}	25,79	25,79	25,79	25,79	28,05	28,05	28,05	28,05	30,17	30,17	30,17	30,17	41,74
	N _{vc}	16,68	17,48	19,24	22,16	15,39	16,08	17,59	20,10	14,23	14,83	16,12	18,27	18,97
	N _{ic} /N _i	61,8%	61,8%	61,8%	61,8%	67,2%	67,2%	67,2%	67,2%	72,3%	72,3%	72,3%	72,3%	
	N _{vc} /N _v	87,9%	92,1%	101,4%	116,8%	81,1%	84,8%	92,7%	106,0%	75,0%	78,2%	85,0%	96,3%	
Área envidraçada Média	N _{ic}	22,22	22,22	22,22	22,22	24,91	24,91	24,91	24,91	27,50	27,50	27,50	27,50	43,51
	N _{vc}	19,09	20,13	22,44	Não REG. gT>gTmax	17,45	18,31	20,29	23,56	15,9	16,68	18,36	21,17	18,97
	N _{ic} /N _i	51,1%	51,1%	51,1%	51,1%	57,3%	57,3%	57,3%	57,3%	63,2%	63,2%	63,2%	63,2%	
	N _{vc} /N _v	100,6%	106,1%	118,3%	-	92,0%	96,5%	107,0%	124,2%	83,8%	87,9%	96,8%	111,6%	
Maior Área envidraçada	N _{ic}	15,96	15,96	15,96	15,96	18,93	18,93	18,93	18,93	21,98	21,98	21,98	21,98	45,83
	N _{vc}	21,75	23,26	26,60	Não REG. gT>gTmax	19,37	20,67	23,54	Não REG. gT>gTmax	17,23	18,36	20,80	Não REG. gT>gTmax	18,97
	N _{ic} /N _i	34,8%	34,8%	34,8%	34,8%	41,3%	41,3%	41,3%	41,3%	48,0%	48,0%	48,0%	48,0%	
	N _{vc} /N _v	114,7%	122,6%	140,2%	-	102,1%	109,0%	124,1%	-	90,8%	96,8%	109,6%	-	

Chaves														
		Vid.1 +P1	Vid.1 +P2	Vid.1 +P3	Vid.1 +P4	Vid.2 +P1	Vid.2 +P2	Vid.2 +P3	Vid.2 +P4	Vid.3 +P1	Vid.3 +P2	Vid.3 +P3	Vid.3 +P4	Max.
Menor Área envidraçada	N _{ic}	75,51	75,51	75,51	75,51	78,71	78,71	78,71	78,71	81,62	81,62	81,62	81,62	97,4
	N _{vc}	8,88	9,51	10,96	13,43	7,87	8,40	9,61	11,67	6,99	7,44	8,43	10,15	12,86
	N _{ic} /N _i	77,5%	77,5%	77,5%	77,5%	80,8%	80,8%	80,8%	80,8%	83,8%	83,8%	83,8%	83,8%	
	N _{vc} /N _v	69,1%	74,0%	85,2%	104,4%	61,2%	65,3%	74,7%	90,7%	54,4%	57,9%	65,6%	78,9%	
Área envidraçada Média	N _{ic}	71,17	71,17	71,17	71,17	75,29	75,29	75,29	75,29	79,06	79,06	79,06	79,06	100,87
	N _{vc}	10,62	11,48	13,43	Não REG. gT/gTmax	9,26	9,98	11,61	14,40	8,07	8,68	10,02	12,35	12,86
	N _{ic} /N _i	70,6%	70,6%	70,6%	70,6%	74,6%	74,6%	74,6%	74,6%	78,4%	78,4%	78,4%	78,4%	
	N _{vc} /N _v	82,6%	89,3%	104,4%	-	72,0%	77,6%	90,3%	112,0%	62,8%	67,5%	77,9%	96,0%	
Maior Área envidraçada	N _{ic}	64,09	64,09	64,09	64,09	69,60	69,60	69,60	69,60	74,73	74,73	74,73	74,73	105,26
	N _{vc}	14,08	15,39	Não REG. gT/gTmax	Não REG. gT/gTmax	12,05	13,15	15,64	Não REG. gT/gTmax	10,28	11,21	13,26	Não REG. gT/gTmax	12,86
	N _{ic} /N _i	60,9%	60,9%	60,9%	60,9%	66,1%	66,1%	66,1%	66,1%	71,0%	71,0%	71,0%	71,0%	
	N _{vc} /N _v	109,5%	119,7%	-	-	93,7%	102,3%	121,6%	-	79,9%	87,2%	103,1%	-	

Penafiel														
		Vid.1 +P1	Vid.1 +P2	Vid.1 +P3	Vid.1 +P4	Vid.2 +P1	Vid.2 +P2	Vid.2 +P3	Vid.2 +P4	Vid.3 +P1	Vid.3 +P2	Vid.3 +P3	Vid.3 +P4	Max.
Menor Área envidraçada	N _{ic}	60,3	60,3	60,3	60,3	63,41	63,41	63,41	63,41	66,25	66,25	66,25	66,25	81,32
	N _{vc}	6,42	6,95	8,16	10,31	5,60	6,03	7,03	8,78	4,9	5,26	6,06	7,49	10,77
	N _{ic} /N _i	74,2%	74,2%	74,2%	74,2%	78,0%	78,0%	78,0%	78,0%	81,5%	81,5%	81,5%	81,5%	
	N _{vc} /N _v	59,6%	64,5%	75,8%	95,7%	52,0%	56,0%	65,3%	81,5%	45,5%	48,8%	56,3%	69,5%	
Área envidraçada Média	N _{ic}	55,77	55,77	55,77	55,77	59,72	59,72	59,72	59,72	63,36	63,36	63,36	63,36	84,46
	N _{vc}	7,92	8,56	10,35	13,35	6,78	7,38	8,76	11,21	5,81	6,31	7,42	9,41	10,77
	N _{ic} /N _i	66,0%	66,0%	66,0%	66,0%	70,7%	70,7%	70,7%	70,7%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	
	N _{vc} /N _v	73,5%	79,5%	96,1%	124,0%	63,0%	68,5%	81,3%	104,1%	53,9%	58,6%	68,9%	87,4%	
Maior Área envidraçada	N _{ic}	48,64	48,64	48,64	48,64	53,77	53,77	53,77	53,77	58,63	58,63	58,63	58,63	88,18
	N _{vc}	10,78	11,95	14,63	Não REG. gT/gTmax	9,03	9,97	12,17	16,04	7,53	8,31	10,08	Não REG. gT/gTmax	10,77
	N _{ic} /N _i	55,2%	55,2%	55,2%	55,2%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	66,5%	66,5%	66,5%	66,5%	
	N _{vc} /N _v	100,1%	111,0%	135,8%	-	83,8%	92,6%	113,0%	148,9%	69,9%	77,2%	93,6%	-	

Seia														
		Vid.1 +P1	Vid.1 +P2	Vid.1 +P3	Vid.1 +P4	Vid.2 +P1	Vid.2 +P2	Vid.2 +P3	Vid.2 +P4	Vid.3 +P1	Vid.3 +P2	Vid.3 +P3	Vid.3 +P4	Max.
Menor Área envidraçada	N _{ic}	141,45	141,45	141,45	141,45	145,13	145,13	145,13	145,13	148,45	148,45	148,45	148,45	166,54
	N _{vc}	1,15	1,31	1,64	2,34	0,95	1,05	1,32	1,83	0,78	0,87	1,06	1,44	3,00
	N _{ic} /N _i	84,9%	84,9%	84,9%	84,9%	87,1%	87,1%	87,1%	87,1%	89,1%	89,1%	89,1%	89,1%	
	N _{vc} /N _v	38,3%	43,7%	54,7%	78,0%	31,7%	35,0%	44,0%	61,0%	26,0%	29,0%	35,3%	48,0%	
Área envidraçada Média	N _{ic}	137,72	137,72	137,72	137,72	142,53	142,53	142,53	142,53	146,84	146,84	146,84	146,84	171,95
	N _{vc}	1,56	1,78	2,34	3,46	1,24	1,41	1,82	2,64	1,01	1,12	1,42	2,02	3,00
	N _{ic} /N _i	80,1%	80,1%	80,1%	80,1%	82,9%	82,9%	82,9%	82,9%	85,4%	85,4%	85,4%	85,4%	
	N _{vc} /N _v	52,0%	59,3%	78,0%	115,3%	41,3%	47,0%	60,7%	88,0%	33,7%	37,3%	47,3%	67,3%	
Maior Área envidraçada	N _{ic}	132,50	132,50	132,50	132,55	138,15	138,15	138,15	138,15	144,20	144,20	144,20	144,20	178,91
	N _{vc}	2,43	2,83	3,94	Não REG. gT/gTmax	1,88	2,18	2,96	4,55	1,44	1,66	2,21	Não REG. gT/gTmax	3,00
	N _{ic} /N _i	74,1%	74,1%	74,1%	74,1%	77,2%	77,2%	77,2%	77,2%	80,6%	80,6%	80,6%	80,6%	
	N _{vc} /N _v	81,0%	94,3%	131,3%	-	62,7%	72,7%	98,7%	151,7%	48,0%	55,3%	73,7%	-	

ANEXO III. CARACTERÍSTICAS E PREÇO DOS SISTEMAS TÉCNICOS

A.1. COLETOR SOLAR TÉRMICO "JUNKERS", COMPOSTO POR: DOIS PAINÉIS FKT-2 S, SUPERFÍCIE ÚTIL 4,852 M², RENDIMENTO ÓPTICO 0,794 (SST1)

Coletor solar térmico completo, dividido, para instalação individual, modelo Top F2 / 300-5 / FKT-2 "JUNKERS", composto por: dois painéis, FKT-2 S, superfície útil 4,852 m², rendimento óptico 0,794, coeficiente de perdas primário 3,863 W/m²K e coeficiente de perdas secundário 0,013 W/m²K, segundo NP EN 12975-2, composto de: caixa de fibra de vidro com chapa posterior de aço galvanizado e esquadras de plástico, cobertura protectora de vidro, absorvedor de cobre e alumínio com tratamento selectivo (PVD), isolamento térmico de lã mineral de 55 mm de espessura, circuito hidráulico de dupla serpentina, uniões mediante mangas flexíveis com abraçadeiras de ajuste rápido, estrutura de suporte de alumínio sobre cobertura plana, kit de tubagens e acessórios de ligação de aço inoxidável, depósito de aço vitrificado, com duas serpentinas, SKE 290-5 Solar, de 293 litros, controlador solar por diferencial de temperatura, vaso de expansão de 25 litros com suporte e ligações, válvula de segurança e purgador automático. Inclusive líquido de enchimento para coletor solar térmico. Totalmente montado, ligado e testado.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38csj201aa	Ud	Coletor solar térmico completo, dividido, para instalação individual, modelo Top F2 / 300-5 / FKT-2 "JUNKERS", composto por: dois painéis, FKT-2 S, superfície útil 4,852 m ² , rendimento óptico 0,794, coeficiente de perdas primário 3,863 W/m ² K e coeficiente de perdas secundário 0,013 W/m ² K, segundo NP EN 12975-2, composto de: caixa de fibra de vidro com chapa posterior de aço galvanizado e esquadras de plástico, cobertura protectora de vidro, absorvedor de cobre e alumínio com tratamento selectivo (PVD), isolamento térmico de lã mineral de 55 mm de espessura, circuito hidráulico de dupla serpentina, uniões mediante mangas flexíveis com abraçadeiras de ajuste rápido, estrutura de suporte de alumínio sobre cobertura plana, kit de tubagens e acessórios de ligação de aço inoxidável, depósito de aço vitrificado, com duas serpentinas, SKE 290-5 Solar, de 293 litros, controlador solar por diferencial de temperatura, vaso de expansão de 25 litros com suporte e ligações, válvula de segurança e purgador automático.	1,000	4.299,00	4.299,00
mt38csj050a	Ud	Bidão de 10 l, modelo WTF 10 S "JUNKERS", de solução água-glicol (glicol 30%, água 70%), para enchimento de coletor solar térmico, para uma temperatura de trabalho até -15°C.	1,000	40,00	40,00
mo009	h	Oficial de 1ª instalador de colectores solares.	4,500	19,38	87,21
mo108	h	Ajudante de instalador de colectores solares.	4,500	18,37	82,67
	%	Custos directos complementares	2,000	4.508,88	90,18
Custo de manutenção decenal: 3.495,29€ nos primeiros 10 anos.				Total:	4.599,06

A.2. COLETOR SOLAR TÉRMICO FKC-2 "JUNKERS", COMPOSTO POR: TRÊS PAINÉIS, FKC-2 S CTE, SUPERFÍCIE ÚTIL 6,69 M², RENDIMENTO ÓTICO 0,766 (SST2)

Coletor solar térmico completo, dividido, para instalação individual, modelo Top F3 / 400-5 / FKC-2 "JUNKERS", composto por: três painéis, FKC-2 S CTE, superfície útil 6,69 m², rendimento óptico 0,766, coeficiente de perdas primário 3,216 W/m²K e coeficiente de perdas secundário 0,015 W/m²K, segundo NP EN 12975-2, composto de: caixa de fibra de vidro com chapa posterior de aço galvanizado e esquadras de plástico, cobertura protectora de vidro, absorvedor com tratamento selectivo (cromo preto), isolamento térmico de lã mineral de 55 mm de espessura, circuito hidráulico de grelha de tubos, uniões mediante mangas flexíveis com abraçadeiras de ajuste rápido, estrutura de suporte de alumínio sobre cobertura plana, kit de tubagens e acessórios de ligação de aço inoxidável, depósito de aço vitrificado, com duas serpentinas, SKE 400-5 Solar, de 388 litros, controlador solar por diferencial de temperatura, vaso de expansão de 25 litros com suporte e ligações, válvula de segurança e purgador automático. Inclusive líquido de enchimento para coletor solar térmico. Totalmente montado, ligado e testado.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38csj201jn	Ud	Coletor solar térmico completo, dividido, para instalação individual, modelo Top F3 / 400-5 / FKC-2 "JUNKERS", composto por: três painéis, FKC-2 S CTE, superfície útil 6,69 m ² , rendimento óptico 0,766, coeficiente de perdas primário 3,216 W/m ² K e coeficiente de perdas secundário 0,015 W/m ² K, segundo NP EN 12975-2, composto de: caixa de fibra de vidro com chapa posterior de aço galvanizado e esquadras de plástico, cobertura protectora de vidro, absorvedor com tratamento selectivo (cromo preto), isolamento térmico de lã mineral de 55 mm de espessura, circuito hidráulico de grelha de tubos, uniões mediante mangas flexíveis com abraçadeiras de ajuste rápido, estrutura de suporte de alumínio sobre cobertura plana, kit de tubagens e acessórios de ligação de aço inoxidável, depósito de aço vitrificado, com duas serpentinas, SKE 400-5 Solar, de 388 litros, controlador solar por diferencial de temperatura, vaso de expansão de 25 litros com suporte e ligações, válvula de segurança e purgador automático.	1,000	5.087,00	5.087,00
mt38csj050a	Ud	Bidão de 10 l, modelo WTF 10 S "JUNKERS", de solução água-glicol (glicol 30%, água 70%), para enchimento de coletor solar térmico, para uma temperatura de trabalho até -15°C.	1,000	40,00	40,00
mo009	h	Oficial de 1ª instalador de colectores solares.	5,800	19,38	112,40
mo108	h	Ajudante de instalador de colectores solares.	5,800	18,37	106,55
	%	Custos directos complementares	2,000	5.345,95	106,92
Custo de manutenção decenal: 4.144,18€ nos primeiros 10 anos.				Total:	5.452,87

A.3 SALAMANDRA A PELLETS (SAL1)

Salamandra a pellets, potência térmica nominal de 4,8 a 11 kW, rendimento 89%, volume de aquecimento, calculado com um requisito de 40 W/m², 270 m², revestimento de maílica cor antracite, sistema de ventilação forçada controlada electronicamente, com comando à distância.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38arc020e	Ud	Salamandra a pellets, potência térmica nominal de 4,8 a 11 kW, rendimento 89%, volume de aquecimento, calculado com um requisito de 40 W/m ² , 270 m ² , revestimento de maílica cor antracite, sistema de ventilação forçada controlada electronicamente, com comando à distância, composta de frontal (porta, grelha e porta inferior) de ferro fundido, queimador de tijolos refractários, queimador de ferro fundido, cristal cerâmico resistente a 800°C, painel de controlo com ecrã de led, termostato-programador, difusor de fluxo de ar direccionável, punho oculto para abertura, humidificador de ar ambiental e depósito para pellets de 32,5 litros, segundo EN 13240.	1,000	3.266,25	3.266,25
mt38arc600a	Ud	Colocação em funcionamento e formação no manuseamento de salamandra a pellets.	1,000	60,00	60,00
mo004	h	Oficial de 1ª instalador de aquecimento.	1,000	19,38	19,38
mo103	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	1,000	18,37	18,37
	%	Custos directos complementares	2,000	3.364,00	67,28
Custo de manutenção decenal: 583,32€ nos primeiros 10 anos.				Total:	3.431,28

A.4. SALAMANDRA A PELLETS (SAL2)



SALAMANDRA A PELLETS
Potência nominal: 3.5 - 13.0 kW

REF. 3834751 branco
REF. 3834793 vermelho
REF. 3834819 preto
REF. 3834777 bege

DESD €3999

A++
CLASSE ENERGÉTICA

dielle
Tecnologia

POTÊNCIAS DISPONÍVEIS	14 kW	18 kW	22 kW
Ø chaminé	80 mm	80 mm	80 mm
Potência nominal	3.5 - 13.0 kW	3.5 - 16.7 kW	3.5 - 20.5 kW
Potência água	2.0 - 10.0 kW	2.0 - 13.0 kW	2.0 - 16.0 kW
Consumo de pellets	0.7 - 2.9 kg/h	0.7 - 3.7 kg/h	0.7 - 4.7 kg/h
Capacidade do reservatório	27.5 kg	27.5 kg	27.5 kg
Rendimento	94.5%	93.5 - 94.5%	92 - 94.5%
Volume aquecido	325 m³	415 m³	510 m³
Dimensões (LxAxD)	520X1082X576 mm	520X1082X576 mm	520X1082X576 mm
Cores disponíveis:	branco, vermelho, preto e bege		
Optional:	silenciador; AQS (água quente sanitária)		

A.5. CALDEIRA A PELLETS (CALD1)

Caldeira a pellets, modelo Vap 24 "ECOFOREST", eficiência energética classe A++, potência térmica nominal 24 kW, rendimento 93%, Classe 5, cor cinzento, capacidade da tremonha 54 kg, consumo de combustível 1390 - 5080 g/h, autonomia 39 - 11 h, dimensões 880x883x1522 mm, peso 250 kg, diâmetro de saída de gases 100 mm, com permutador tubular, queimador de cerâmica, sistema electrónico anti-condensação, controlo electrónico da temperatura de impulsão, alimentação desde tremonha por sem-fim ou por sistema pneumático, limpeza automática do permutador, sistemas de segurança, regulação automática do ar de combustão, do fornecimento de combustível e do caudal da bomba de circulação, comunicação via Wi-Fi para controlo remoto desde um smartphone, tablet ou PC com navegador de internet, sistema electrónico próprio de regulação e controlo, bomba de circulação, vaso de expansão, válvula de segurança limpeza automática da cesta perfurada de combustão e arraste automático de cinzas a gaveta cinzeiro móvel, sem incluir a conduta para evacuação dos produtos da combustão. Totalmente montada, ligada e colocada em funcionamento pela empresa instaladora para a verificação do seu correcto funcionamento.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38eco064a	Ud	Caldeira a pellets, modelo Vap 24 "ECOFOREST", eficiência energética classe A++, potência térmica nominal 24 kW, rendimento 93%, Classe 5, cor cinzento, capacidade da tremonha 54 kg, consumo de combustível 1390 - 5080 g/h, autonomia 39 - 11 h, dimensões 880x883x1522 mm, peso 250 kg, diâmetro de saída de gases 100 mm, com permutador tubular, queimador de cerâmica, sistema electrónico anti-condensação, controlo electrónico da temperatura de impulsão, alimentação desde tremonha por sem-fim ou por sistema pneumático, limpeza automática do permutador, sistemas de segurança, regulação automática do ar de combustão, do fornecimento de combustível e do caudal da bomba de circulação, comunicação via Wi-Fi para controlo remoto desde um smartphone, tablet ou PC com navegador de internet, sistema electrónico próprio de regulação e controlo, bomba de circulação, vaso de expansão, válvula de segurança limpeza automática da cesta perfurada de combustão e arraste automático de cinzas a gaveta cinzeiro móvel, segundo EN 303-5.	1,000	4.675,00	4.675,00
mo004	h	Oficial de 1ª instalador de aquecimento.	1,000	19,38	19,38
mo103	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	1,000	18,37	18,37
	%	Custos directos complementares	2,000	4.712,75	94,26
Custo de manutenção decenal: 2.163,15€ nos primeiros 10 anos.				Total:	4.807,01

A.6. Caldeira de condensação a gás Natural (CALD2)



Caldeira a gás

VULCANO AQUASTAR ZSBE 30-2E N

REF 17908303  PACK PROJETO*

★★★★★ (0)

Gás

Natural

A **A**

2099 €

IVA incluído

 Disponível Online

Disponibilidade Loja 

ADICIONAR AO CARRINHO

Norma	CE
Modulação de potência	Sim
Internet of Things (IoT): Objeto conectado	Não
Superfície de aquecimento indicativa (em m²)	Superior a 150 (mais de 25 kW)
Classe energética de aquecimento	A
Classe energética da água quente sanitária	A
Diâmetro de evacuação de fumos (em mm)	60 / 100
Acendimento	Eletrónico
Tipo de ecrã	Digital
Marca do produto	VULCANO

t/pt/lojas

A.7. BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE AQS (BC1)



Características técnicas

- Potência calorífica nominal 1.8 kW
- Consumo eléctrico nominal 0.43 kW
- Depósito de A.Q.S. de 196 litros
- Perfil de consumo L
- Classe de eficiência energética A+
- Resistência eléctrica de apoio de 1.5 kW
- Diâmetro 650 mm
- Altura 1750 mm
- Peso 83 kg
- Potência sonora 53 dBA

Unidade interior, para produção de A.Q.S., bomba de calor, série Altherma M H/V, modelo EKHH2E200AV33 "DAIKIN", para gás refrigerante R-134a, potência calorífica nominal 1.8 kW, consumo eléctrico nominal 0.43 kW, depósito de A.Q.S. de 196 litros, perfil de consumo L, classe de eficiência energética A+, diâmetro 650 mm, altura 1750 mm, peso 83 kg, potência sonora 53 dBA, alimentação monofásica (230V/50Hz), limites operativos: entrada de ar entre -7°C e 38°C, saída de água entre 25°C e 70°C, com compressor rotativo, e resistência eléctrica de apoio de 1.5 kW. Totalmente montada, ligada e colocada em funcionamento pela empresa instaladora para a verificação do seu correcto funcionamento.

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt42da1325a	Ud	Unidade interior, para produção de A.Q.S., bomba de calor, série Altherma M H/V, modelo EKHH2E200AV33 "DAIKIN", para gás refrigerante R-134a, potência calorífica nominal 1.8 kW, consumo eléctrico nominal 0.43 kW, depósito de A.Q.S. de 196 litros, perfil de consumo L, classe de eficiência energética A+, diâmetro 650 mm, altura 1750 mm, peso 83 kg, potência sonora 53 dBA, alimentação monofásica (230V/50Hz), limites operativos: entrada de ar entre -7°C e 38°C, saída de água entre 25°C e 70°C, com compressor rotativo, e resistência eléctrica de apoio de 1.5 kW.	1.000	2.486,00	2.486,00
mt37ave010d	Ud	Válvula de esfera de latão niquelado para enroskar de 1".	2.000	9.81	19.62
mo005	h	Oficial de 1º instalador de ar condicionado.	0.720	19.38	13.95
mo104	h	Ajudante de instalador de ar condicionado.	0.720	18.37	13.23
	%	Custos directos complementares	2.000	2.532,80	50.66
Custo de manutenção decenal: 1.653.41€ nos primeiros 10 anos.				Total:	2.583.46

A.8. BOMBA DE CALOR, CLIMATIZAÇÃO (BC2)



Bomba de calor ar/água 

CLIMATIZAÇÃO 16KW

EH1615DC

REF 81934081  PACK PROJETO+

★★★★★ (0)

5599 €

IVA incluído

 Disponível Online  Disponibilidade Loja

ADICIONAR AO CARRINHO

 **ENVIO GRÁTIS** a partir de 50€ e peso total < 300kg

 Entrega em sua casa a partir de 6 dias.

 Levantamento em linha a partir de 2 horas

Reversível	Sim
Tipo de gás	R410A
Marca do compressor	PANASONIC
SCOP	4,6
Tipo de emissor	Piso radiante refrescante / ventiloconvetor
Caudal de água em quente (em m³/h)	3
Caudal de água em frio (em m³/h)	3
Rendimento em frio (SEER)	5,79
Garantia do compressor (em anos)	2

A.9. BOMBA DE CALOR, PARA PRODUÇÃO DE A.Q.S (BC3)

Bombas de calor

Bombas de calor AQS



BC ACS 200/300

Alta eficiência: as bombas de calor BC ACS 200/300 têm um rendimento muito elevado, com SCOP até 3,5, o que permite conseguir uma poupança muito importante relativamente a outros equipamentos de produção de água quente sanitária.

Conforto: a bomba de calor pode aquecer a água até 65°C. Além disso o equipamento inclui uma resistência elétrica de 2,4 kW que pode ser ativada para aquecer de maneira mais rápida a água do acumulador, permitindo alcançar uma temperatura até 70°C para o tratamento antilegionela.

Robustez, durabilidade e fiabilidade: o acumulador é fabricado em aço esmaltado, e incorpora proteção eletrónica permanente para evitar a corrosão.

Energia solar: o modelo BC ACS 300 1E dispõe duma serpentina para ligar diretamente à instalação de energia solar, ou mesmo o apoio de uma caldeira, para aquecer rapidamente o depósito.

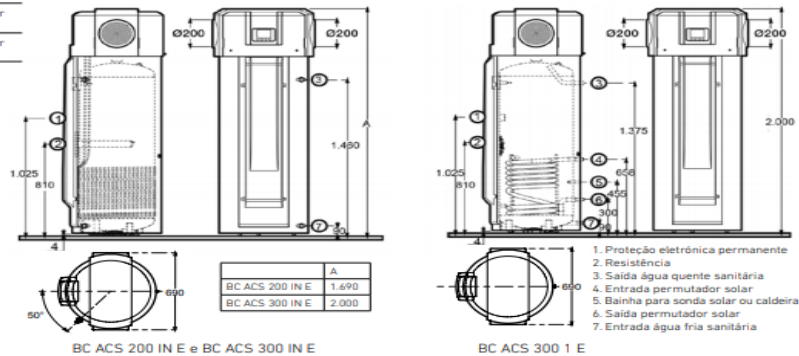
Fluido frigorífico: R134a (PAG 1430).

Possibilidade de conduzir o ar de entrada e de saída da bomba de calor: pode-se ligar uma conduta Ø200, ou Ø160 mm com a correspondente redução, para conduzir a aspiração e/ou a descarga de ar da bomba de calor.

Kits bomba de calor e energia solar para usufruir da máxima eficiência na produção de AQS: **Solar Easy BC AQS** com apoio de energia solar térmica (ver capítulo Energia Solar Térmica e Acumuladores) ou **Solar Easy PV BC AQS** com apoio de sistema fotovoltaico para autoconsumo (ver capítulo Energia Solar Fotovoltaica).

		BC ACS IN		BC ACS 1E
		200	300	300
Capacidade Acumulador	l	210	270	265
SCOP AQS, ar a 14°C (clima quente) (1)		3,70	3,69	3,27
SCOP AQS, ar a 7°C (clima médio) (1)		3,16	3,08	2,90
COP a 15°C ambiente (2)		3,17	3,31	3,26
Classe eficiência AQS/Perfil carga declarado		A+/L	A+/XL	A+/XL
Potência AQS com ar a 15°C	W	1.700	1.700	1.700
Consumo elétrico médio	W	500	500	500
Tensão alimentação	VHz~	230,50,1	230,50,1	230,50,1
Potência acústica	dB(A)	57	57	57
Superfície serpentina	m²	-	-	1
Comprimento máx. ligação ar Ø160mm	m	26	26	26
Peso vazio	kg	92	105	123
Referência		144300002	144300000	144300001
PVP		2.733 €	2.844 €	3.046 €

(1) Conforme norma EN 16147:2017, tomada de ar no exterior
(2) Conforme norma EN 16147:2017, tomada de ar no interior do local.



A.10. ESQUENTADOR JUNKERS VENTILADO HYDRONEXT (ESQ)



575,00€

 comprar

Descrição do Produto:

- Baixo nível de emissões de NOx
- Design diferenciado e exclusivo
- Display digital de controlo tátil
- Fácil de instalar, já que mantém a mesma ligação hidráulica de todos os esquentadores a gás Junkers
- Ligação WiFi através de um acessório (não incluído)
- Grande modulação do queimador (1:6)
- Mais possibilidades de instalação, até 12m de tubo para evacuação de gases
- Controlo automático do caudal de água
- Capacidade: 17 lts/min
- Classificação energética: A
- Perfil de consumo: XL
- Potência útil: 30,5 kW
- Potência útil mínima: 5,1 kW
- Intervalo de regulação: 5,1 - 30,5
- Caudal térmico: 32 kW
- Caudal térmico mínimo: 5,7 kW
- Rendimento 100% da carga nominal: 90%
- Rendimento 30% da carga nominal: 93%
- Conexão do gás: 1/2"
- Gás Natural: 20 mbar
- Consumo de gás Natural: 3,4m3/h
- Pressão máxima permitida: 12bar
- Pressão mínima de funcionamento: 0,1 bar
- Pressão mínima de funcionamento para caudal máximo: 1 bar
- Caudal de arranque: 2,8 lts/min
- Caudal máximo, correspondente a um aumento de temperatura de 25°C: 17 lts/min
- Conexão de água fria: 3/4"
- Conexão de água quente: 1/2"
- Tensão elétrica: 230V
- Frequência: 50Hz
- Dimensões (axlpx): 575x365x170mm
- Peso (sem embalagem): 15kg
- Nota: Preparado para funcionar como aparelho ventilado. Para funcionar como estaque é necessário adicionar o acessório de exaustão 80/110mm

17L Gás Natural | ventilado ou estaque (acresce € 8 - acessório de exaustão estaque)

A.11. MULTI-SPLIT AR-AR (MS)

LG Life's Good **QUADRI-SPLITS STANDARD PLUS WIFI**

= 25 m²
= 15 m²
= 15 m²
= 15 m²

ClimAffaires **WiFi Include** **LA CLIMATISATION LA MOINS CHÈRE DU WEB**

2069,00€ [comprar](#)

Multisplit com WIFI INCORPORADO 3 unidades interiores de 7000 btu e 1 interior de 18 000 btu

Peso e Volume

Peso Bruto: 67,00 Kg
Peso Líquido: 60,70 Kg
Volume: 0,45 m³

Gás R32
Tipo de Unidade: Multi-split exterior
Nível de ruído mínimo dB(A): 49
Nº Máximo de Unidades Interiores: 4
Capacidade de arrefecimento: 7kW
Capacidade de combinação (Min-Máx)[BTU]: 12000-39000
SEER:
- Arrefecimento: A++ / 8,2
SCOP:
- Aquecimento: A+ / 4,2
Diâmetro de Tubagem (Liq.;Gás) [pol.] - [mm]: [1/4; 3/8] - [6,35; 9,52] x4
Dimensões (LxAXP): 950x834x330mm

3 INTERIOR DE 7000 BTU - LG PM07SP

Descrição do produto

Gás R32/R410
Sistema Multi Split
Capacidade de arrefecimento: 2.1kW
Dimensões (Lxaxp): 837x302x189mm
Nível de ruído mínimo: 27 dB(A)
Diâmetro da tubagem (Liq; Gás) [pol.] - [mm]: [1/4; 3/8] - [6.35; 9.52]

PC18SQ X 1 UNIDADE INTERIOR

Descrição do produto

Gás R32
Tipo de equipamento: Mural
Tipo de produto: Standard Plus
Tipo de Unidade: Multisplit
Capacidade de arrefecimento: 5,0 kW
Dimensões (LxAXP): 998x345x210mm
Nível de ruído mínimo: 31 dB(A)

ANEXO V. TABELAS SOLUÇÕES FINAIS

B.1. ALBUFEIRA

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	Sigla
Solução 6	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	83,41	0,34	Alb. S6C1
	Comb2		94,78	84,36	0,33	Alb. S6C2
	Comb3		91,41	81,98	0,39	Alb. S6C3
	Comb4		94,78	82,98	0,38	Alb. S6C4
	Comb5		91,41	73,40	0,63	Alb. S6C5
	Comb6		94,78	74,36	0,62	Alb. S6C6
	Comb7		100,00	86,22	0,31	Alb. S6C7
	Comb8		100,00	85,95	0,31	Alb. S6C8
	Comb9		100,00	85,95	0,31	Alb. S6C9
	Comb10		94,78	74,51	0,65	Alb. S6C10
	Comb11		79,18	76,08	0,49	Alb. S6C11
	Comb12		65,62	76,20	0,56	Alb. S6C12
	Comb13		94,78	43,05	0,69	Alb. S6C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 7	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	83,28	0,34	Alb. S7C1
	Comb2		94,78	84,24	0,33	Alb. S7C2
	Comb3		91,41	82,03	0,38	Alb. S7C3
	Comb4		94,78	82,97	0,37	Alb. S7C4
	Comb5		91,41	73,40	0,62	Alb. S7C5
	Comb6		94,78	74,37	0,61	Alb. S7C6
	Comb7		100,00	86,10	0,31	Alb. S7C7
	Comb8		100,00	85,83	0,31	Alb. S7C8
	Comb9		100,00	85,82	0,31	Alb. S7C9
	Comb10		94,78	74,52	0,65	Alb. S7C10
	Comb11		76,08	79,01	0,49	Alb. S7C11
	Comb12		65,52	76,02	0,56	Alb. S7C12
	Comb13		94,78	42,76	0,68	Alb. S7C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 8	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	82,91	0,33	Alb. S8C1
	Comb2		94,78	83,90	0,32	Alb. S8C2
	Comb3		91,41	81,69	0,38	Alb. S8C3
	Comb4		94,78	82,66	0,37	Alb. S8C4
	Comb5		91,41	73,20	0,61	Alb. S8C5
	Comb6		94,78	74,19	0,60	Alb. S8C6
	Comb7		100,00	85,82	0,31	Alb. S8C7
	Comb8		100,00	85,63	0,31	Alb. S8C8
	Comb9		100,00	85,52	0,31	Alb. S8C9
	Comb10		94,78	74,33	0,64	Alb. S8C10
	Comb11		76,08	78,51	0,49	Alb. S8C11
	Comb12		65,52	75,42	0,56	Alb. S8C12
	Comb13		94,78	44,00	0,67	Alb. S8C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 9	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	82,47	0,33	Alb. S9C1
	Comb2		94,78	83,48	0,32	Alb. S9C2
	Comb3		91,41	80,93	0,38	Alb. S9C3
	Comb4		94,78	81,94	0,37	Alb. S9C4
	Comb5		91,41	73,06	0,60	Alb. S9C5
	Comb6		94,78	74,13	0,59	Alb. S9C6
	Comb7		100,00	85,46	0,31	Alb. S9C7
	Comb8		100,00	85,16	0,31	Alb. S9C8
	Comb9		100,00	85,15	0,31	Alb. S9C9
	Comb10		94,78	74,28	0,62	Alb. S9C10
	Comb11		76,08	77,94	0,49	Alb. S9C11
	Comb12		65,52	74,77	0,56	Alb. S9C12
	Comb13		94,78	45,08	0,64	Alb. S9C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 10	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	82,12	0,33	Alb. S10C1
	Comb2		94,78	83,19	0,32	Alb. S10C2
	Comb3		91,41	81,03	0,37	Alb. S10C3
	Comb4		94,78	82,04	0,37	Alb. S10C4
	Comb5		91,41	72,97	0,59	Alb. S10C5
	Comb6		94,78	74,01	0,58	Alb. S10C6
	Comb7		100,00	85,21	0,31	Alb. S10C7
	Comb8		100,00	84,90	0,31	Alb. S10C8
	Comb9		100,00	84,89	0,31	Alb. S10C9
	Comb10		94,78	74,24	0,61	Alb. S10C10
	Comb11		76,08	77,55	0,49	Alb. S10C11
	Comb12		65,52	74,32	0,56	Alb. S10C12
	Comb13		94,78	45,84	0,63	Alb. S10C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	Sigla
Solução 11	Comb1	1576 Kwh/ano 66,33% Eren	91,41	81,95	0,33	Alb. S11C1
	Comb2		94,78	82,99	0,32	Alb. S11C2
	Comb3		91,41	80,73	0,37	Alb. S11C3
	Comb4		94,78	81,77	0,36	Alb. S11C4
	Comb5		91,41	72,81	0,58	Alb. S11C5
	Comb6		94,78	73,87	0,57	Alb. S11C6
	Comb7		100,00	84,97	0,31	Alb. S11C7
	Comb8		100,00	84,64	0,31	Alb. S11C8
	Comb9		100,00	84,63	0,31	Alb. S11C9
	Comb10		94,78	74,09	0,60	Alb. S11C10
	Comb11		76,08	77,10	0,49	Alb. S11C11
	Comb12		65,52	73,81	0,56	Alb. S11C12
	Comb13		94,78	46,18	0,62	Alb. S11C13

B.2. CHAVES

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 8	Comb1	1337 Kwh/ano 56% Eren	84,16	88,13	0,20	Cha S8C1
	Comb2		86,84	88,65	0,20	Cha S8C2
	Comb3		84,16	86,01	0,26	Cha S8C3
	Comb4		86,84	86,51	0,26	Cha S8C4
	Comb5		84,16	73,35	0,60	Cha S8C5
	Comb6		86,84	73,88	0,59	Cha S8C6
	Comb7		100	91,35	0,18	Cha S8C7
	Comb8		100	91,25	0,18	Cha S8C8
	Comb9		100	91,25	0,18	Cha S8C9
	Comb10		86,84	72,94	0,67	Cha S8C10
	Comb11		76,08	86,76	0,28	Cha S8C11
	Comb12		65,52	84,78	0,32	Cha S8C12
	Comb13		86,84	23,26	0,72	Cha S8C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 9	Comb1	1337 Kwh/ano 56% Eren	84,16	87,87	0,20	Cha S9C1
	Comb2		86,84	88,39	0,20	Cha S9C2
	Comb3		84,16	85,76	0,26	Cha S9C3
	Comb4		86,84	86,29	0,26	Cha S9C4
	Comb5		84,16	73,25	0,58	Cha S9C5
	Comb6		86,84	73,78	0,58	Cha S9C6
	Comb7		100	91,16	0,18	Cha S9C7
	Comb8		100	91,05	0,18	Cha S9C8
	Comb9		100	91,05	0,18	Cha S9C9
	Comb10		86,84	72,88	0,66	Cha S9C10
	Comb11		76,08	86,46	0,28	Cha S9C11
	Comb12		65,52	84,44	0,32	Cha S9C12
	Comb13		86,84	23,80	0,71	Cha S9C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 10	Comb1	1337 Kwh/ano 56% Eren	84,16	87,67	0,20	Cha S10C1
	Comb2		86,84	88,20	0,20	Cha S10C2
	Comb3		84,16	85,60	0,26	Cha S10C3
	Comb4		86,84	86,12	0,26	Cha S10C4
	Comb5		84,16	73,17	0,58	Cha S10C5
	Comb6		86,84	73,71	0,57	Cha S10C6
	Comb7		100	91,01	0,18	Cha S10C7
	Comb8		100	90,90	0,18	Cha S10C8
	Comb9		100	90,90	0,18	Cha S10C9
	Comb10		86,84	72,83	0,65	Cha S10C10
	Comb11		76,08	86,23	0,28	Cha S10C11
	Comb12		65,52	84,18	0,32	Cha S10C12
	Comb13		86,84	24,22	0,69	Cha S10C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 11	Comb1	1337 Kwh/ano 56% Eren	84,16	87,48	0,20	Cha S11C1
	Comb2		86,84	88,02	0,20	Cha S11C2
	Comb3		84,16	85,43	0,26	Cha S11C3
	Comb4		86,84	85,96	0,26	Cha S11C4
	Comb5		84,16	73,07	0,57	Cha S11C5
	Comb6		86,84	73,63	0,56	Cha S11C6
	Comb7		100	90,89	0,18	Cha S11C7
	Comb8		100	90,77	0,18	Cha S11C8
	Comb9		100	90,77	0,18	Cha S11C9
	Comb10		86,84	72,75	0,64	Cha S11C10
	Comb11		76,08	86,02	0,28	Cha S11C11
	Comb12		65,52	83,93	0,32	Cha S11C12
	Comb13		86,84	24,45	0,68	Cha S11C13

B.3. PENAFIEL

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 4	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	87,39	0,22	Pen S4C1
	Comb2		88,76	87,90	0,22	Pen S4C2
	Comb3		86,30	85,35	0,28	Pen S4C3
	Comb4		88,76	85,87	0,28	Pen S4C4
	Comb5		86,30	73,17	0,60	Pen S4C5
	Comb6		88,76	73,70	0,60	Pen S4C6
	Comb7		100,00	90,53	0,20	Pen S4C7
	Comb8		100,00	90,40	0,20	Pen S4C8
	Comb9		100,00	90,40	0,20	Pen S4C9
	Comb10		88,76	72,78	0,68	Pen S4C10
	Comb11		76,08	85,37	0,31	Pen S4C11
	Comb12		65,52	83,15	0,36	Pen S4C12
	Comb13		88,76	24,99	0,72	Pen S4C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 5	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	87,09	0,22	Pen S5C1
	Comb2		88,76	87,63	0,22	Pen S5C2
	Comb3		86,30	85,10	0,28	Pen S5C3
	Comb4		88,76	85,63	0,28	Pen S5C4
	Comb5		86,30	73,08	0,59	Pen S5C5
	Comb6		88,76	73,63	0,59	Pen S5C6
	Comb7		100,00	90,30	0,20	Pen S5C7
	Comb8		100,00	90,17	0,20	Pen S5C8
	Comb9		100,00	90,16	0,20	Pen S5C9
	Comb10		88,76	72,75	0,66	Pen S5C10
	Comb11		76,08	85,03	0,31	Pen S5C11
	Comb12		65,52	82,37	0,36	Pen S5C12
	Comb13		88,76	25,74	0,71	Pen S5C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 6	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	86,60	0,22	Pen S6C1
	Comb2		88,76	87,15	0,22	Pen S6C2
	Comb3		86,30	84,68	0,28	Pen S6C3
	Comb4		88,76	85,22	0,27	Pen S6C4
	Comb5		86,30	72,94	0,58	Pen S6C5
	Comb6		88,76	73,50	0,57	Pen S6C6
	Comb7		100,00	89,92	0,20	Pen S6C7
	Comb8		100,00	89,79	0,20	Pen S6C8
	Comb9		100,00	89,77	0,20	Pen S6C9
	Comb10		88,76	72,70	0,64	Pen S6C10
	Comb11		76,08	84,47	0,31	Pen S6C11
	Comb12		65,52	82,13	0,36	Pen S6C12
	Comb13		88,76	27,02	0,68	Pen S6C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 7	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	86,41	0,22	Pen S7C1
	Comb2		88,76	86,96	0,22	Pen S7C2
	Comb3		86,30	84,51	0,28	Pen S7C3
	Comb4		88,76	85,06	0,27	Pen S7C4
	Comb5		86,30	72,88	0,57	Pen S7C5
	Comb6		88,76	73,45	0,56	Pen S7C6
	Comb7		100,00	89,77	0,20	Pen S7C7
	Comb8		100,00	89,62	0,20	Pen S7C8
	Comb9		100,00	89,62	0,20	Pen S7C9
	Comb10		88,76	72,68	0,63	Pen S7C10
	Comb11		76,08	84,25	0,31	Pen S7C11
	Comb12		65,52	81,88	0,36	Pen S7C12
	Comb13		88,76	27,54	0,67	Pen S7C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 8	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	86,11	0,22	Pen S8C1
	Comb2		88,76	86,68	0,22	Pen S8C2
	Comb3		86,30	84,24	0,28	Pen S8C3
	Comb4		88,76	84,80	0,27	Pen S8C4
	Comb5		86,30	72,74	0,56	Pen S8C5
	Comb6		88,76	72,32	0,55	Pen S8C6
	Comb7		100,00	89,56	0,20	Pen S8C7
	Comb8		100,00	89,40	0,20	Pen S8C8
	Comb9		100,00	89,40	0,20	Pen S8C9
	Comb10		88,76	72,56	0,62	Pen S8C10
	Comb11		76,08	83,89	0,31	Pen S8C11
	Comb12		65,52	81,47	0,36	Pen S8C12
	Comb13		88,76	27,95	0,65	Pen S8C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 9	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	85,70	0,22	Pen S9C1
	Comb2		88,76	86,29	0,22	Pen S9C2
	Comb3		86,30	83,89	0,27	Pen S9C3
	Comb4		88,76	84,46	0,27	Pen S9C4
	Comb5		86,30	72,59	0,55	Pen S9C5
	Comb6		88,76	73,19	0,54	Pen S9C6
	Comb7		100,00	89,25	0,20	Pen S9C7
	Comb8		100,00	89,08	0,20	Pen S9C8
	Comb9		100,00	89,08	0,20	Pen S9C9
	Comb10		88,76	72,47	0,61	Pen S9C10
	Comb11		76,08	83,41	0,31	Pen S9C11
	Comb12		65,52	80,92	0,36	Pen S9C12
	Comb13		88,76	28,84	0,63	Pen S9C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 10	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	85,39	0,22	Pen S10C1
	Comb2		88,76	86,00	0,22	Pen S10C2
	Comb3		86,30	83,62	0,27	Pen S10C3
	Comb4		88,76	84,21	0,27	Pen S10C4
	Comb5		86,30	72,48	0,54	Pen S10C5
	Comb6		88,76	73,09	0,53	Pen S10C6
	Comb7		100,00	89,02	0,20	Pen S10C7
	Comb8		100,00	88,05	0,20	Pen S10C8
	Comb9		100,00	88,05	0,20	Pen S10C9
	Comb10		88,76	72,41	0,59	Pen S10C10
	Comb11		76,08	83,06	0,31	Pen S10C11
	Comb12		65,52	80,52	0,36	Pen S10C12
	Comb13		88,76	29,50	0,62	Pen S10C13

Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 11	Comb1	1 374 Kwh/ano 58% Eren	86,30	85,14	0,22	Pen S11C1
	Comb2		88,76	85,76	0,22	Pen S11C2
	Comb3		86,30	83,39	0,27	Pen S11C3
	Comb4		88,76	83,99	0,27	Pen S11C4
	Comb5		86,30	72,36	0,53	Pen S11C5
	Comb6		88,76	72,98	0,52	Pen S11C6
	Comb7		100,00	88,84	0,20	Pen S11C7
	Comb8		100,00	88,66	0,20	Pen S11C8
	Comb9		100,00	88,66	0,20	Pen S11C9
	Comb10		88,76	72,31	0,58	Pen S11C10
	Comb11		76,08	82,76	0,31	Pen S11C11
	Comb12		65,52	80,17	0,36	Pen S11C12
	Comb13		88,76	29,85	0,60	Pen S11C13

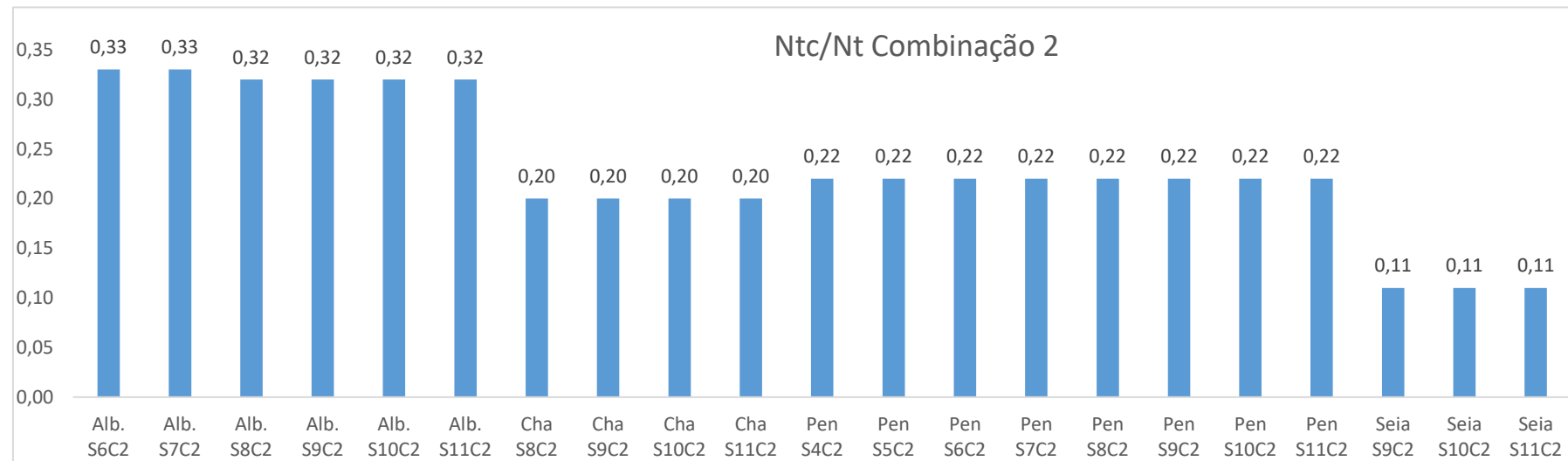
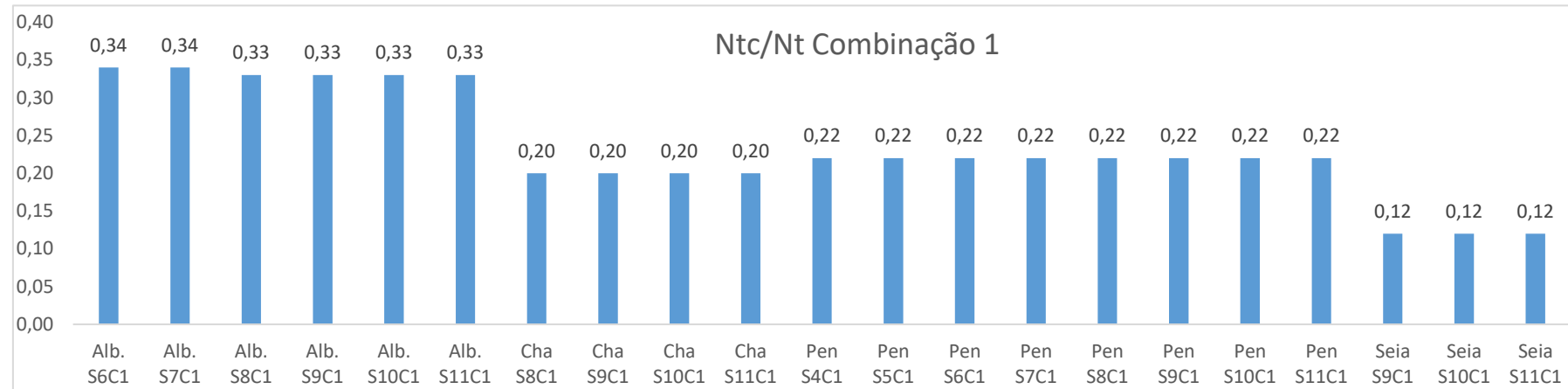
B.4. SEIA

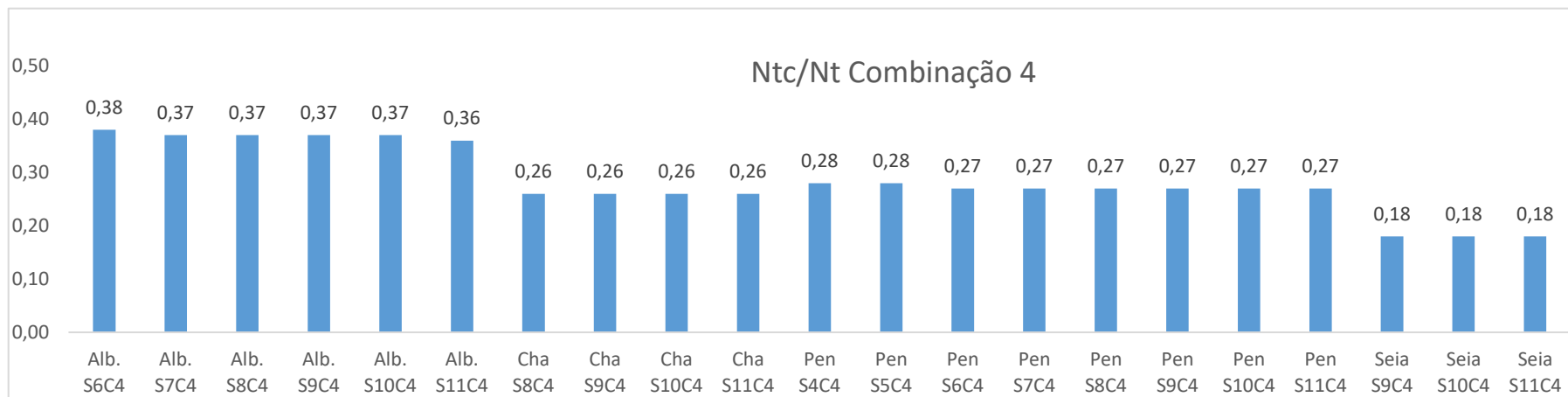
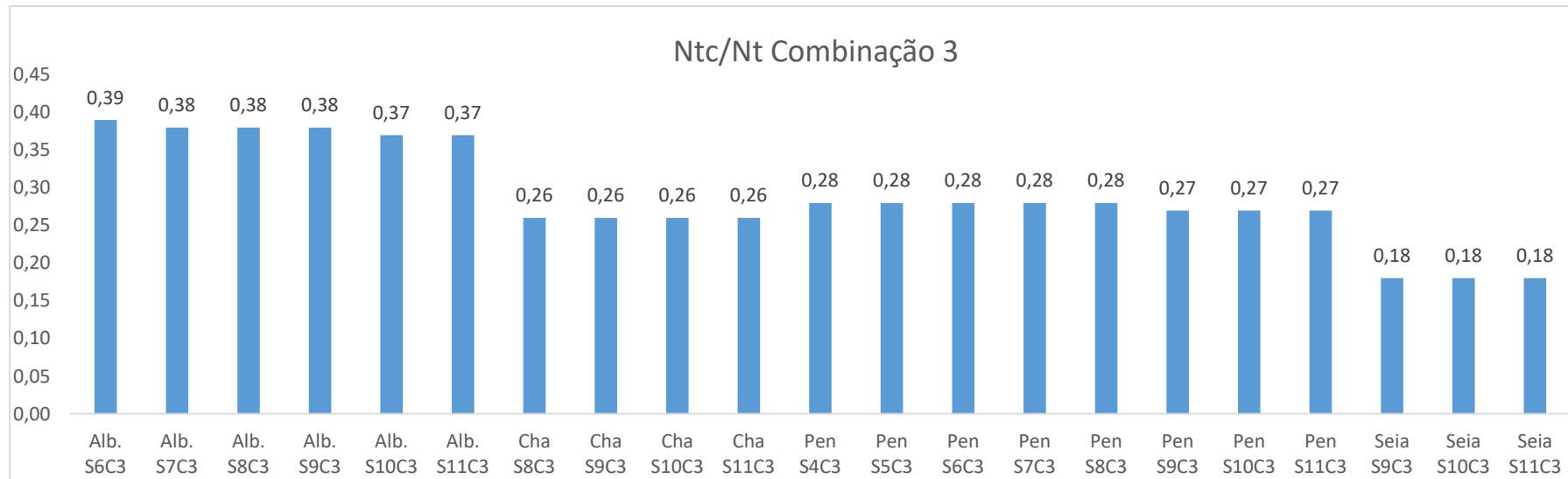
Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 9	Comb1	1474Kwh/ano 61% Eren	89,76	93,14	0,12	Seia S9C1
	Comb2		92,52	93,50	0,11	Seia S9C2
	Comb3		89,76	90,36	0,18	Seia S9C3
	Comb4		92,52	90,71	0,18	Seia S9C4
	Comb5		89,76	75,35	0,56	Seia S9C5
	Comb6		92,52	75,72	0,56	Seia S9C6
	Comb7		100,00	94,61	0,10	Seia S9C7
	Comb8		100,00	94,56	0,10	Seia S9C8
	Comb9		100,00	94,56	0,10	Seia S9C9
	Comb10		92,52	74,06	0,66	Seia S9C10
	Comb11		76,08	91,46	0,17	Seia S9C11
	Comb12		65,52	90,09	0,20	Seia S9C12
	Comb13		92,52	12,27	0,73	Seia S9C13

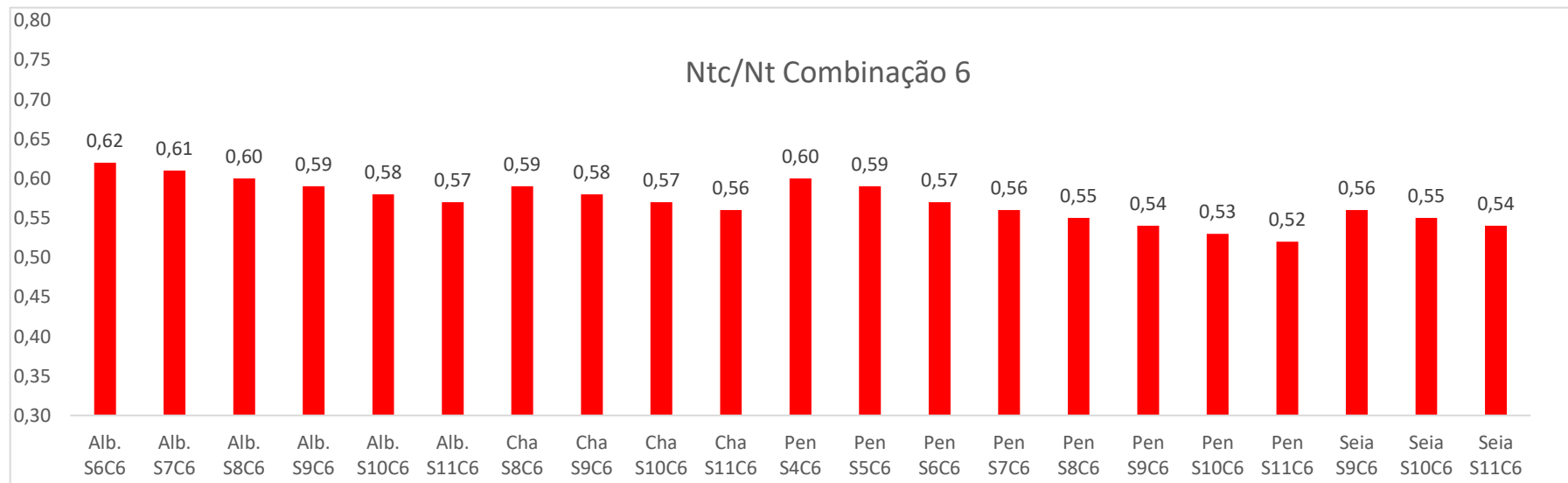
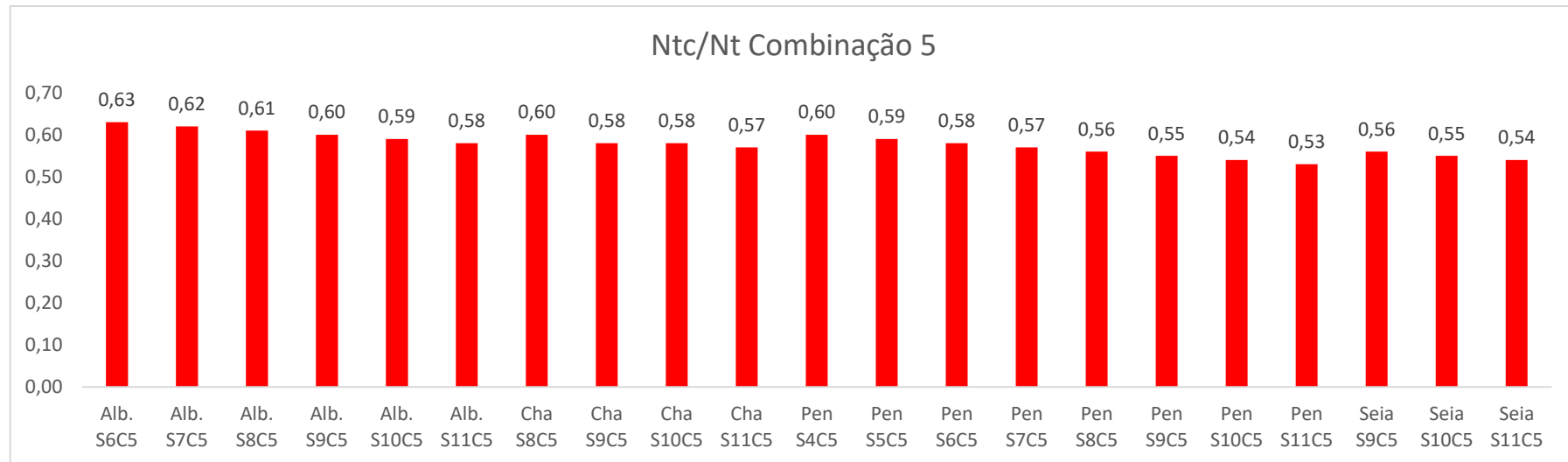
Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 10	Comb1	1474Kwh/ano 61% Eren	89,76	93,02	0,12	Seia S10C1
	Comb2		92,52	93,39	0,11	Seia S10C2
	Comb3		89,76	89,85	0,18	Seia S10C3
	Comb4		92,52	90,22	0,18	Seia S10C4
	Comb5		89,76	75,26	0,55	Seia S10C5
	Comb6		92,52	75,68	0,55	Seia S10C6
	Comb7		100,00	94,52	0,10	Seia S10C7
	Comb8		100,00	94,47	0,10	Seia S10C8
	Comb9		100,00	94,47	0,10	Seia S10C9
	Comb10		92,52	74,02	0,65	Seia S10C10
	Comb11		76,08	91,31	0,17	Seia S10C11
	Comb12		65,52	89,92	0,20	Seia S10C12
	Comb13		92,52	12,49	0,72	Seia S10C13

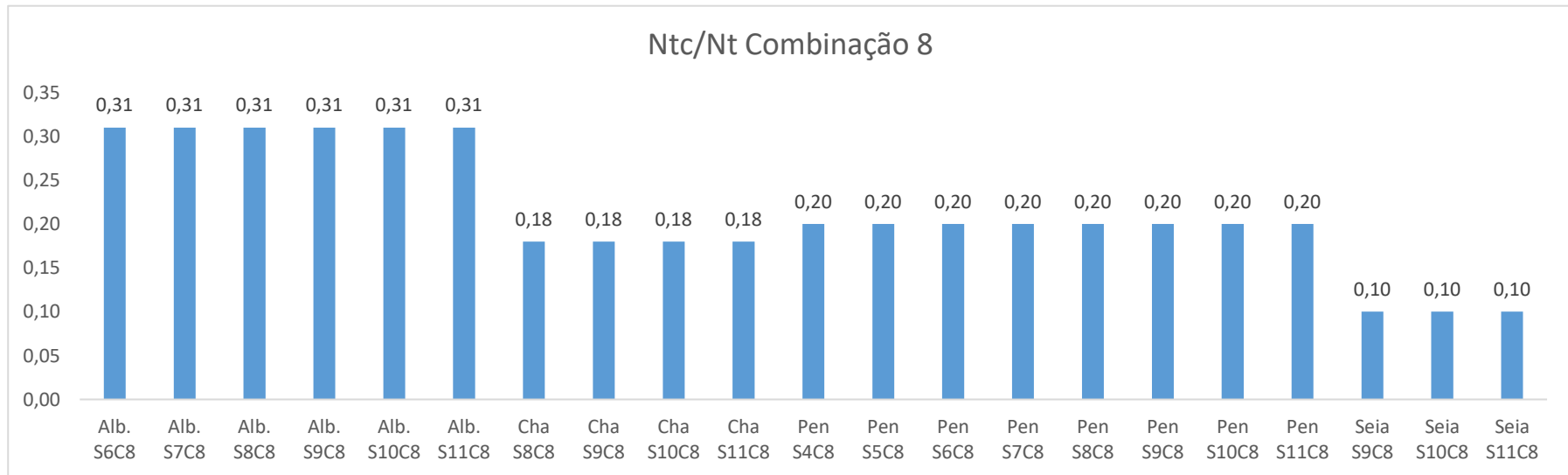
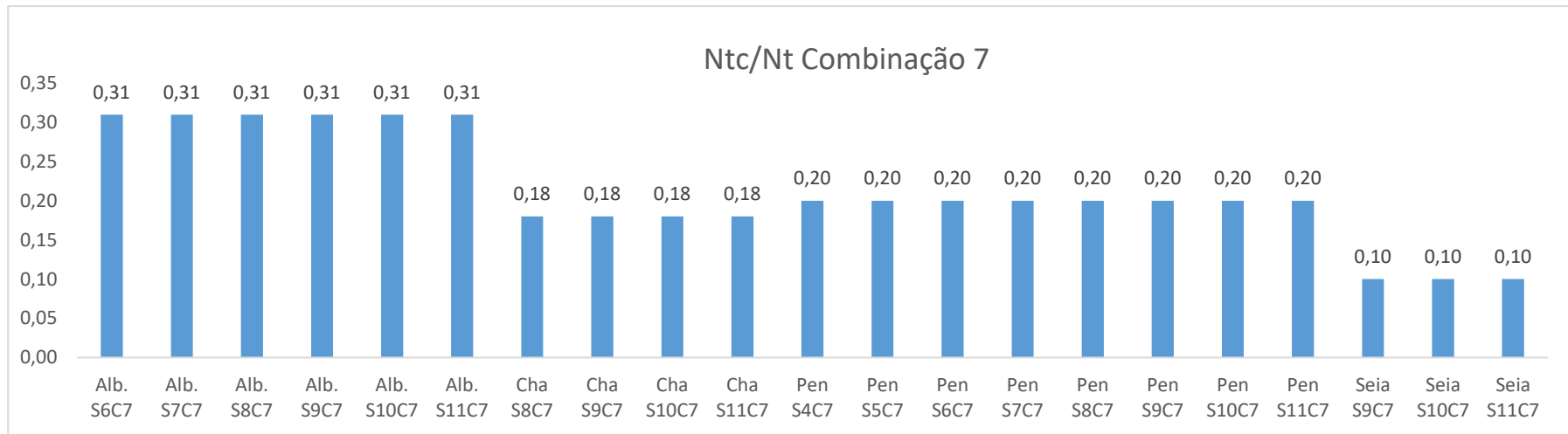
Solução	Combinação	Req. Min. AQS	% Eren AQS	% Eren	Ntc/Nt	
Solução 11	Comb1	1474Kwh/ano 61% Eren	89,76	92,90	0,12	Seia S11C1
	Comb2		92,52	93,28	0,11	Seia S11C2
	Comb3		89,76	90,15	0,18	Seia S11C3
	Comb4		92,52	90,52	0,18	Seia S11C4
	Comb5		89,76	75,25	0,54	Seia S11C5
	Comb6		92,52	75,63	0,54	Seia S11C6
	Comb7		100,00	94,43	0,10	Seia S11C7
	Comb8		100,00	94,38	0,10	Seia S11C8
	Comb9		100,00	94,38	0,10	Seia S11C9
	Comb10		92,52	73,98	0,64	Seia S11C10
	Comb11		76,08	91,17	0,17	Seia S11C11
	Comb12		65,52	89,75	0,20	Seia S11C12
	Comb13		92,52	12,69	0,70	Seia S11C13

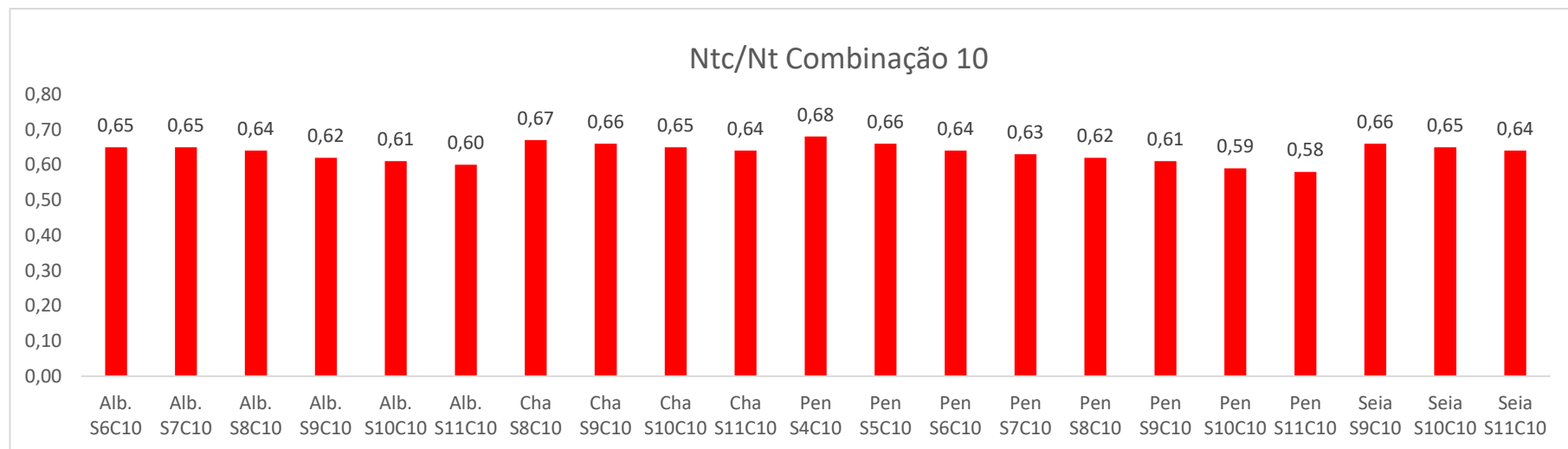
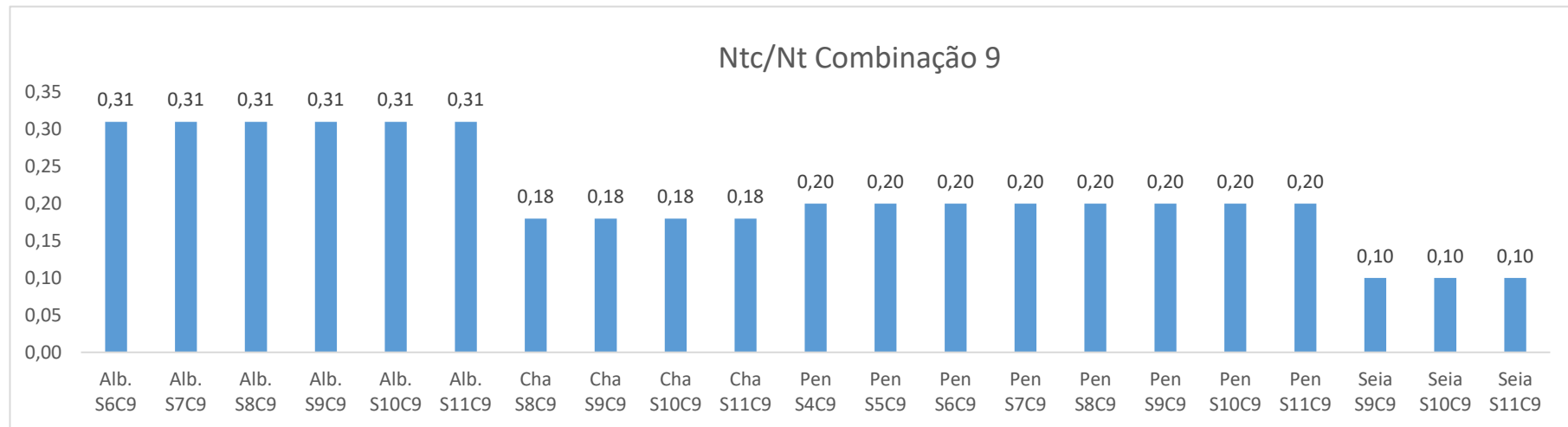
ANEXO VI. GRÁFICOS SOLUÇÕES FINAIS

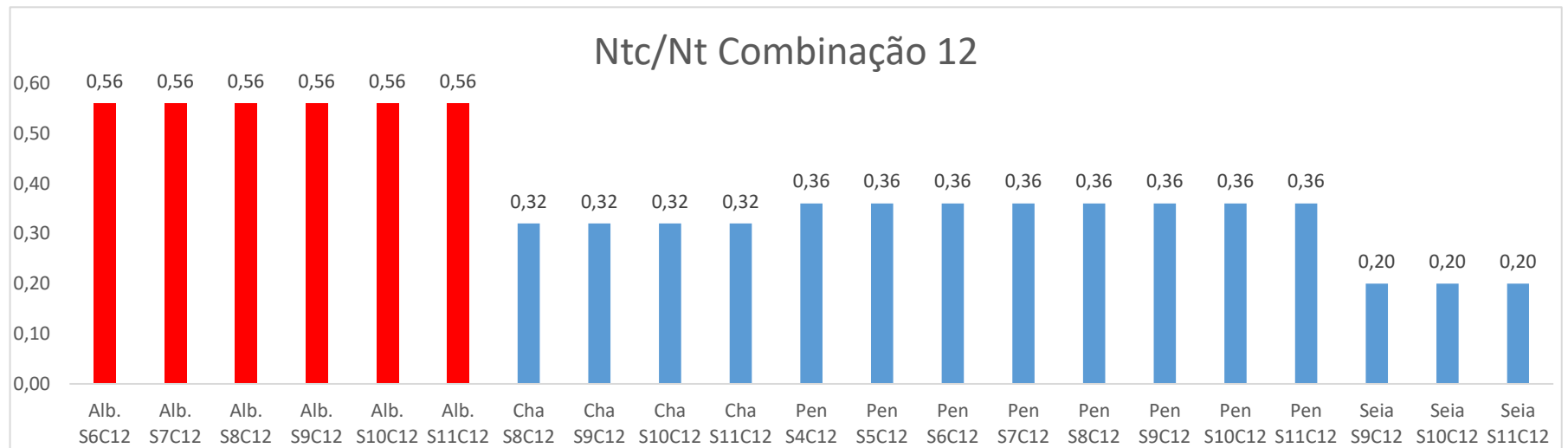
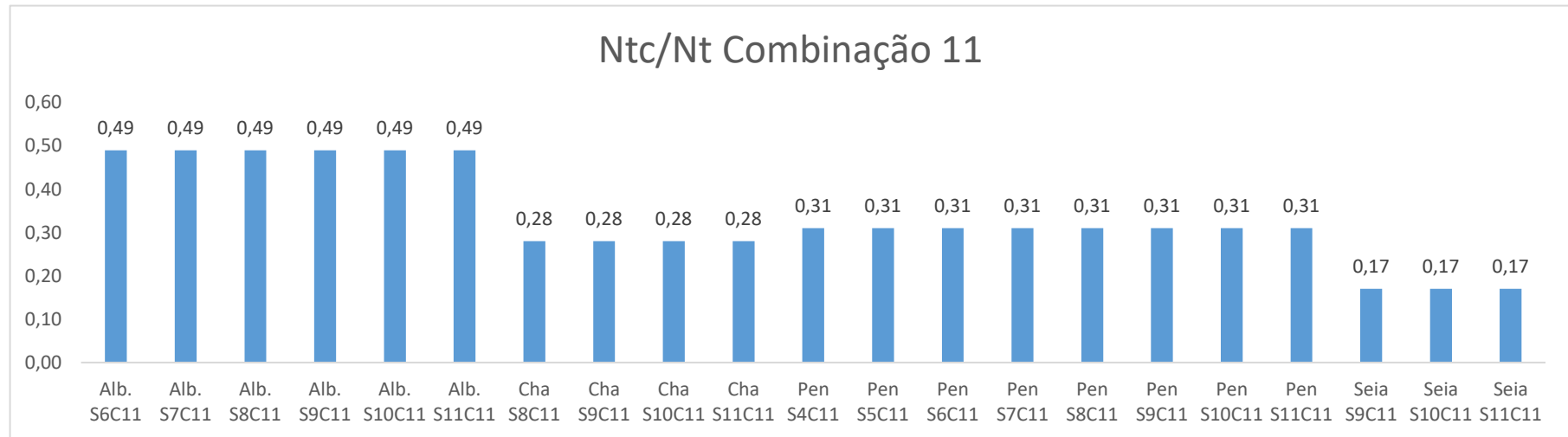


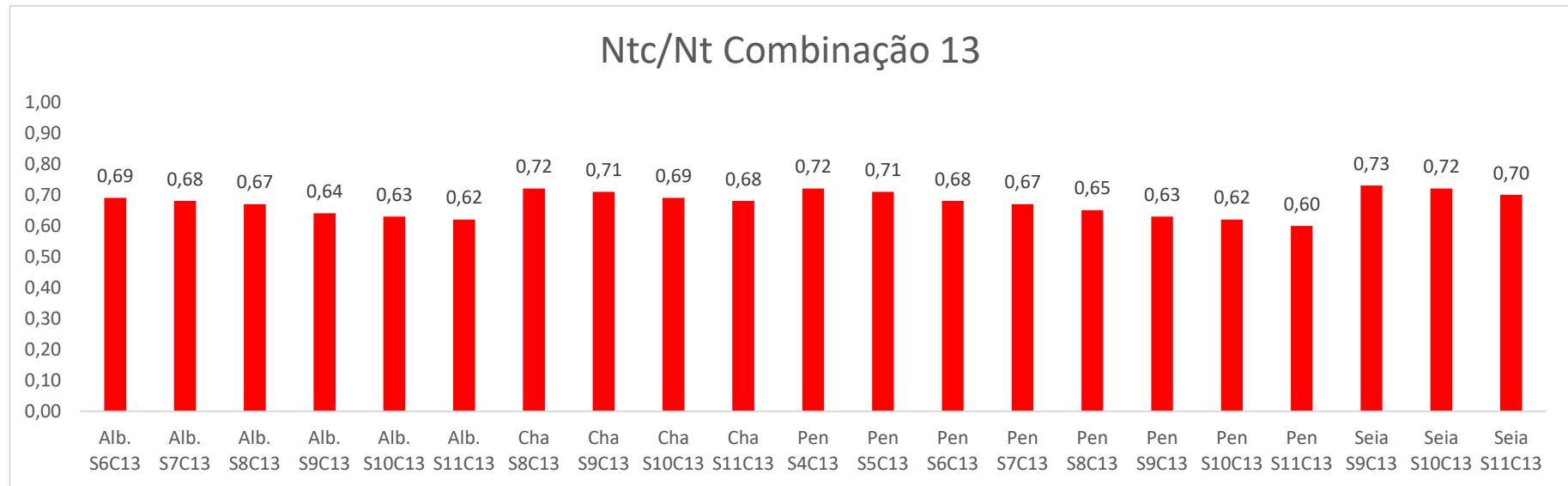












ANEXO VII. PREÇO VÃOS ENVIDRAÇADOS

Albufeira

	b	h	A vidro	Preço caixilharia	Preço manutenção caixilharia	Preço vidro	Preço vidro manutenção
V1	1,8	1,2	1,5392	330,92	2,978	136,20	3,14
V2	0,6	0,5	0,0952	215,45	2,012	8,42	0,19
V3	1	0,8	0,4352	254,98	2,095	38,51	0,89
V4	1,5	1,2	1,2272	307,49	2,767	108,59	2,50
V5	0,6	0,5	0,0952	215,45	2,012	8,42	0,19
V6	1,5	2,1	2,2892	524,26	4,718	202,57	4,67
V7	1,2	1	0,7392	276,79	2,491	65,41	1,51
V8	0,5	0,8	0,1152	221,49	2,078	10,19	0,24
V9	1,5	1,2	1,2272	307,49	2,767	108,59	2,50
V10	1	1	0,5712	272,68	2,457	50,55	1,17
			8,334	2 927,00 €	26,38 €	737,48 €	17,00 €
Preço vidro g=0,56	88,49						
Manutenção anual	2,04						
U vidro	3,1						
U caixi	1,3						

Penafiel

	b	h	A vidro	Preço caixilharia	Preço manutenção caixilharia	Preço vidro	Preço vidro manutenção	Perimetro contorno vidro	Uw
V1	1,5	2,1	2,2892	524,26	4,718	151,73	3,05	10,12	2,43
V2	0,6	0,5	0,0952	215,45	2,012	6,31	0,13	1,92	2,19
V3	1	0,8	0,4352	254,98	2,28	28,85	0,58	3,92	2,34
V4	1,2	2,1	1,7072	507,17	4,565	113,15	2,27	9,52	2,42
V5	0,6	0,5	0,0952	215,45	2,012	6,31	0,13	1,92	2,19
V6	2,1	2,1	3,4532	561,12	5,05	228,88	4,60	11,32	2,44
V7	1,2	1	0,7392	276,79	2,491	48,99	0,98	5,12	2,38
V8	0,5	0,8	0,1152	221,49	2,078	7,64	0,15	2,92	2,23
V9	1,8	1,5	1,9832	354,44	3,19	131,45	2,64	8,32	2,43
V10	1	1	0,5712	272,68	2,457	37,86	0,76	4,72	2,36
			11,484	3 403,83 €	30,85 €	761,16 €	15,30 €		2,4
				Preço vidro g=0,75	66,28				
				Manutenção anual	1,332				
				U vidro	2,5				
				U caixi	1,3				

Chaves

	b	h	A vidro	Preço caixilharia	Preço manutenção caixilharia	Preço vidro	Preço vidro manutenção
V1	1,80	1,20	1,54	463,288	4,1692	102,02	2,05
V2	0,60	0,50	0,10	301,63	2,8168	6,31	0,13
V3	1,00	0,80	0,44	356,972	2,295	28,85	0,58
V4	1,50	1,20	1,23	430,486	3,8738	81,34	1,63
V5	0,60	0,50	0,10	301,63	2,8168	6,31	0,13
V6	1,50	2,10	2,29	733,964	6,6052	151,73	3,05
V7	1,20	1,00	0,74	387,506	3,4874	48,99	0,98
V8	0,50	0,80	0,12	310,086	2,9092	7,64	0,15
V9	1,50	1,20	1,23	430,486	3,8738	81,34	1,63
V10	1,00	1,00	0,57	381,752	3,4398	37,86	0,76
			8,33	4 097,80 €	36,29 €	552,38 €	11,10 €
				Preço vidro g=0,75	66,28		
				Manutenção anual	1,332		
				U vidro	2,4		
				U caixi	0,89		

Seia

	b	h	A vidro	Preço caixilharia	Preço manutenção caixilharia	Preço vidro	Preço vidro manutenção
V1	1,5	2,1	2,2892	733,964	6,6052	151,73	3,05
V2	0,6	0,5	0,0952	301,63	2,8168	6,31	0,13
V3	1	0,8	0,4352	356,972	3,192	28,85	0,58
V4	1,2	2,1	1,7072	710,038	6,391	113,15	2,27
V5	0,6	0,5	0,0952	215,45	2,8168	6,31	0,13
V6	2,1	2,1	3,4532	785,568	7,07	228,88	4,60
V7	1,2	1	0,7392	387,506	3,4874	48,99	0,98
V8	0,5	0,8	0,1152	310,086	2,9092	7,64	0,15
V9	1,8	1,5	1,9832	496,216	4,466	131,45	2,64
V10	1	1	0,5712	381,752	2,457	37,86	0,76
			11,484	4 679,18 €	42,21 €	761,16 €	15,30 €
				Preço vidro g=0,75	66,28		
				Manutenção anual	1,332		
				U vidro	2,4		
				U caixi	0,89		

ANEXO VIII. PREÇO TOTAL DE CADA SOLUÇÃO DE ENVOLVENTE

	Custo inicial /m ²	Custo manutenção anual /m ²						
Cobertura sem e suporte isolamento	85,31 €	1,65 €						
Pavimento térreo sem suporte e isolamento	16,69 €	0,00 €						
Parede dupla sem isolamento	64,47 €	0,15 €						
Parede divisória tij-11	42,10 €	0,02 €						
	Envolvente							
	Albufeira		Chaves		Penafiel		Seia	
	Custo inicial	Custo manutenção	Custo inicial	Custo manutenção	Custo inicial	Custo manutenção	Custo inicial	Custo manutenção
S4					30 658,28 €	273,18 €		
S5					31 247,31 €	273,18 €		
S6	30 583,58 €	270,40 €			31 883,97 €	273,18 €		
S7	31 100,55 €	270,40 €			32 400,94 €	273,18 €		
S8	31 652,92 €	270,40 €	34 594,63 €	274,41 €	33 261,73 €	273,18 €		
S9	32 165,53 €	270,40 €	35 225,35 €	274,41 €	33 750,47 €	273,18 €	36 015,51 €	284,53 €
S10	32 703,27 €	270,40 €	35 726,65 €	274,41 €	34 381,18 €	273,18 €	36 516,81 €	284,53 €
S11	33 564,05 €	270,40 €	36 406,68 €	274,41 €	35 104,19 €	273,18 €	37 196,84 €	284,53 €

ANEXO IX. PREÇO DE INVESTIMENTO E INICIAL DE COMBINAÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 1	AlbS6	13 974,19 €	554,34 €	242,24 €
	AlbS7			238,41 €
	AlbS8			227,76 €
	AlbS9			215,92 €
	AlbS10			207,99 €
	AlbS11			202,73 €
	ChaS8			521,79 €
	ChaS9			505,96 €
	ChaS10			494,27 €
	ChaS11			483,34 €
	PenS4			447,78 €
	PenS5			433,66 €
	PenS6			411,05 €
	PenS7			402,43 €
	PenS8			371,60 €
	PenS9			371,60 €
	PenS10			359,62 €
	PenS11			349,77 €
	SeiS9	9 173,06 €	471,91 €	873,57 €
	SeiS10			855,38 €
	SeiS11			844,42 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 2	AlbS6	14 828,00 €	619,23 €	237,01 €
	AlbS7			233,18 €
	AlbS8			222,53 €
	AlbS9			210,69 €
	AlbS10			202,78 €
	AlbS11			197,50 €
	ChaS8			517,56 €
	ChaS9			501,68 €
	ChaS10			490,04 €
	ChaS11			479,11 €
	PenS4			443,91 €
	PenS5			429,79 €
	PenS6			406,89 €
	PenS7			398,27 €
	PenS8			367,73 €
	PenS9			367,73 €
	PenS10			355,75 €
	PenS11			345,90 €
	SeiS9	10 026,87 €	536,80 €	869,27 €
	SeiS10			851,08 €
	SeiS11			834,30 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 3	AlbS6	13 379,34 €	551,17 €	210,12 €
	AlbS7			206,08 €
	AlbS8			197,34 €
	AlbS9			176,82 €
	AlbS10			178,20 €
	AlbS11			171,62 €
	ChaS8			494,48 €
	ChaS9			478,85 €
	ChaS10			467,34 €
	ChaS11			457,09 €
	PenS4			425,22 €
	PenS5			410,58 €
	PenS6			387,50 €
	PenS7			378,69 €
	PenS8			365,96 €
	PenS9			349,16 €
	PenS10			337,30 €
	PenS11			328,08 €
	SeiS9			855,25 €
	SeiS10			837,45 €
	SeiS11			821,03 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 4	AlbS6	14 233,15 €	616,06 €	204,89 €
	AlbS7			200,85 €
	AlbS8			192,11 €
	AlbS9			180,63 €
	AlbS10			172,97 €
	AlbS11			166,38 €
	ChaS8			490,29 €
	ChaS9			474,62 €
	ChaS10			463,11 €
	ChaS11			426,61 €
	PenS4			421,35 €
	PenS5			406,98 €
	PenS6			383,63 €
	PenS7			374,82 €
	PenS8			345,29 €
	PenS9			345,29 €
	PenS10			333,43 €
	PenS11			324,21 €
	SeiS9			850,95 €
	SeiS10			833,15 €
	SeiS11			816,73 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 7	AlbS6	10 564,76 €	280,73 €	380,95
	AlbS7			377,05
	AlbS8			366,26
	AlbS9			354,23
	AlbS10			346,07
	AlbS11			338,20
	ChaS8	11 039,89 €	287,38 €	653,60
	ChaS9			637,46
	ChaS10			625,58
	ChaS11			614,48
	PenS4	10 564,76 €	280,73 €	581,59
	PenS5			552,93
	PenS6			544,23
	PenS7			535,47
	PenS8			521,69
	PenS9			504,44
	PenS10			492,27
	PenS11			483,13
	SeiS9	7 117,85 €	248,38 €	1 020,29
	SeiS10			1 001,81
	SeiS11			984,76

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 8	AlbS6	15 163,82 €	630,74 €	243,80 €
	AlbS7			239,90 €
	AlbS8			229,11 €
	AlbS9			217,08 €
	AlbS10			209,04 €
	AlbS11			201,07 €
	ChaS8	15 638,95 €	637,39 €	526,40 €
	ChaS9			510,26 €
	ChaS10			498,38 €
	ChaS11			487,28 €
	PenS4	15 163,82 €	630,74 €	451,45 €
	PenS5			437,09 €
	PenS6			414,09 €
	PenS7			405,32 €
	PenS8			391,54 €
	PenS9			374,30 €
	PenS10			362,11 €
	PenS11			352,12 €
	SeiS9	11 716,91 €	598,19 €	885,39 €
	SeiS10			866,91 €
	SeiS11			849,86 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 9	AlbS6	16 017,63 €	695,63 €	239,23 €
	AlbS7			235,33 €
	AlbS8			224,54 €
	AlbS9			212,51 €
	AlbS10			204,48 €
	AlbS11			196,50 €
	ChaS8	16 492,76 €	702,28 €	522,70 €
	ChaS9			506,57 €
	ChaS10			494,69 €
	ChaS11			483,59 €
	PenS4	16 017,63 €	695,63 €	448,07 €
	PenS5			433,72 €
	PenS6			410,71 €
	PenS7			401,95 €
	PenS8			388,17 €
	PenS9			370,92 €
	PenS10			358,73 €
	PenS11			348,74 €
	SeiS9	12 570,72 €	663,08 €	881,64 €
	SeiS10			863,15 €
	SeiS11			846,10 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 11	AlbS6	13 148,16 €	446,55 €	316,43 €
	AlbS7			312,54 €
	AlbS8			301,75 €
	AlbS9			289,71 €
	AlbS10			281,68 €
	AlbS11			273,71 €
	ChaS8	13 623,29 €	453,20 €	589,08 €
	ChaS9			572,94 €
	ChaS10			561,07 €
	ChaS11			549,97 €
	PenS4	13 148,16 €	446,55 €	517,08 €
	PenS5			502,72 €
	PenS6			479,72 €
	PenS7			470,95 €
	PenS8			457,17 €
	PenS9			439,92 €
	PenS10			427,74 €
	PenS11			417,75 €
	SeiS9	9 701,25 €	414,01 €	955,77 €
	SeiS10			937,29 €
	SeiS11			920,24 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 12	ChaS8	14 085,89 €	453,10 €	625,54 €
	ChaS9			609,40 €
	ChaS10			597,52 €
	ChaS11			586,42 €
	PenS4	13 610,76 €	446,45 €	554,25 €
	PenS5			539,90 €
	PenS6			516,89 €
	PenS7			508,13 €
	PenS8			494,35 €
	PenS9			477,10 €
	PenS10			464,91 €
	PenS11			454,93 €
	SeiS9	10 163,85 €	413,91 €	992,95 €
	SeiS10			974,47 €
	SeiS11			957,42 €

		Valor instalação dos sistemas	Valor manutenção dos sistemas	Valor anual energia
Combinação 13+ Solução base	Albufeira	13 257,61 €	673,78 €	287,27
	Chaves	13 732,74 €	680,43 €	719,80
	Penafiel	13 257,61 €	673,78 €	629,06
	Seia	9 810,70 €	641,23 €	1235,78

ANEXO X. PAYBACK DA SOLUÇÃO COM MENOR LCC RELATIVAMENTE A UMA SOLUÇÃO NÃO nZEB

	Investimento inicial		
	Não nZEB	Menor LCC	Maior LCC
Albufeira	39 952,48 €	41 138,44 €	49 581,68 €
Chaves	42 916,65 €	46 766,54 €	52 899,44 €
Penafiel	41 175,40 €	41 812,07 €	46,675,91 €
Seia	39 784,78 €	44 314,68 €	48 586,23 €

Energia 13+ Sol.Base (Não nZEB)		Menor LCC		Maior LCC	
Ener./ano	Manut./ano	Ener/ano	Manut./ano	Ener/ano	Manut./ano
308,69 €	876,69 €	380,95 €	551,13 €	196,50 €	966,03 €
822,42 €	887,36 €	625,58 €	561,79 €	483,59 €	976,69 €
632,93 €	879,47 €	552,93 €	553,90 €	448,07 €	968,80 €
1 238,09 €	858,28 €	984,76 €	532,92 €	881,64 €	947,62 €

Payback

n	Albufeira	
	Não nZEB	nZEB com Menor LCC
1	41 144,34 €	42 079,46 €
2	42 342,88 €	43 029,67 €
3	43 548,32 €	43 989,36 €
4	44 760,88 €	44 958,78 €
5	45 980,80 €	45 938,22 €
6	47 208,31 €	46 927,97 €
7	48 443,65 €	47 928,32 €
8	49 687,06 €	48 939,59 €
9	50 938,81 €	49 962,07 €
10	52 199,15 €	50 996,10 €
11	53 468,35 €	52 041,99 €
12	54 746,68 €	53 100,08 €
13	56 034,42 €	54 170,72 €
14	57 331,87 €	55 254,27 €
15	58 639,31 €	56 351,08 €
16	59 957,05 €	57 461,53 €

17	61 285,41 €	58 585,99 €
18	62 624,69 €	59 724,87 €
19	63 975,23 €	60 878,57 €
20	65 337,36 €	62 047,49 €
21	66 711,43 €	63 232,06 €
22	68 097,80 €	64 432,72 €
23	69 496,81 €	65 649,90 €
24	70 908,85 €	66 884,08 €
25	72 334,30 €	68 135,71 €
26	73 773,55 €	69 405,28 €
27	75 226,99 €	70 693,28 €
28	76 695,05 €	72 000,22 €
29	78 178,13 €	73 326,61 €
30	79 676,69 €	74 673,00 €

n	Chaves	
	Não nZEB	Menor LCC
1	44 646,27 €	47 969,20 €
2	46 396,28 €	49 187,59 €
3	48 167,27 €	50 422,12 €
4	49 959,83 €	51 673,27 €
5	51 774,55 €	52 941,48 €
6	53 612,07 €	54 227,23 €
7	55 473,03 €	55 531,01 €
8	57 358,06 €	56 853,31 €
9	59 267,86 €	58 194,63 €
10	61 203,10 €	59 555,52 €
11	63 164,49 €	60 936,49 €
12	65 152,76 €	62 338,11 €
13	67 168,65 €	63 760,94 €
14	69 212,93 €	65 205,56 €
15	71 286,37 €	66 672,56 €
16	73 389,78 €	68 162,56 €
17	75 523,99 €	69 676,18 €
18	77 689,84 €	71 214,06 €
19	79 888,19 €	72 776,86 €
20	82 119,95 €	74 365,27 €

21	84 386,01 €	75 979,97 €
22	86 687,32 €	77 621,67 €
23	89 024,84 €	79 291,12 €
24	91 399,55 €	80 989,05 €
25	93 812,47 €	82 716,23 €
26	96 264,63 €	84 473,47 €
27	98 757,10 €	86 261,55 €
28	101 290,97 €	88 081,32 €
29	103 867,37 €	89 933,63 €
30	106 487,43 €	91 819,36 €

Penafiel		
n	Não nZEB	Menor LCC
1	42 702,71 €	42 932,31 €
2	44 245,37 €	44 066,35 €
3	45 803,82 €	45 214,56 €
4	47 378,52 €	46 377,35 €
5	48 969,93 €	47 555,12 €
6	50 578,53 €	48 748,29 €
7	52 204,82 €	49 957,30 €
8	53 849,30 €	51 182,56 €
9	55 512,48 €	52 424,55 €
10	57 194,89 €	53 683,73 €
11	58 897,09 €	54 960,56 €
12	60 619,62 €	56 255,53 €
13	62 363,07 €	57 569,16 €
14	64 128,02 €	58 901,94 €
15	65 915,07 €	60 254,40 €
16	67 724,84 €	61 627,09 €
17	69 557,97 €	63 020,55 €
18	71 415,11 €	64 435,37 €
19	73 296,92 €	65 872,11 €
20	75 204,10 €	67 331,38 €
21	77 137,34 €	68 813,79 €
22	79 097,37 €	70 319,97 €
23	81 084,92 €	71 850,57 €
24	83 100,76 €	73 406,25 €
25	85 145,67 €	74 987,69 €
26	87 220,44 €	76 595,59 €
27	89 325,89 €	78 230,66 €
28	91 462,87 €	79 893,64 €
29	93 632,24 €	81 585,28 €
30	95 834,89 €	83 306,35 €

N	Seia	
	Não nZEB	Menor LCC
1	41 911,87 €	45 857,06 €
2	44 070,53 €	47 424,82 €
3	46 261,62 €	49 018,64 €
4	48 486,02 €	50 639,23 €
5	50 744,66 €	52 287,31 €
6	53 038,45 €	53 963,62 €
7	55 368,37 €	55 668,93 €
8	57 735,39 €	57 404,01 €
9	60 140,53 €	59 169,68 €
10	62 584,81 €	60 966,75 €
11	65 069,31 €	62 796,06 €
12	67 595,11 €	64 658,49 €
13	70 163,33 €	66 554,93 €
14	72 775,11 €	68 486,28 €
15	75 431,64 €	70 453,48 €
16	78 134,12 €	72 457,49 €
17	80 883,80 €	74 499,30 €
18	83 681,93 €	76 579,91 €
19	86 529,83 €	78 700,37 €
20	89 428,84 €	80 861,73 €
21	92 380,32 €	83 065,09 €
22	95 385,69 €	85 311,58 €
23	98 446,40 €	87 602,33 €
24	101 563,91 €	89 938,53 €
25	104 739,77 €	92 321,38 €
26	107 975,52 €	94 752,14 €
27	111 272,77 €	97 232,07 €
28	114 633,16 €	99 762,47 €
29	118 058,39 €	102 344,70 €
30	121 550,17 €	104 980,12 €