



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Edifícios de energia quase nula no contexto do regulamento português: um estudo de caso

Andreia Sofia Carrilho Sequeira de Macedo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Ciclo de estudos Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, junho de 2018

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho só foi possível devido à colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Gostaria, assim de agradecer a todos aqueles que contribuíram para que esta tarefa se tornasse realidade:

Em primeiro lugar quero agradecer ao Prof. Doutor Miguel Nepomuceno, orientador, por todo o apoio, transmissão de conhecimentos, disponibilidade e simpatia com que sempre me recebeu.

Aos meus amigos, pelo apoio prestado, incentivo e pelos bons momentos de convívio e amizade.

Aos meus familiares, que me apoiaram em todos os aspetos durante o meu percurso académico e todo incentivo que me deram para a conclusão desta última etapa.

Por fim, ao meu marido, por toda a paciência, apoio e incentivo nestes últimos anos.

Resumo

O conceito de edifício de energia quase nula (nZEB) foi introduzido pela Diretiva Europeia 2010/31/EU, relativa ao desempenho energético dos edifícios. A ideia de construir edifícios nZEB surgiu em consequência da necessidade de reduzir a dependência energética da União Europeia (UE), reduzir o consumo de combustíveis de origem fóssil e as emissões de gases com efeito de estufa, permitindo à UE cumprir os compromissos internacionais assumidos quanto à redução de emissões e à sua contribuição para a mitigação das alterações climáticas. A referida Diretiva prevê que a partir de 2020, ou final de 2018 no caso de edifícios de entidades públicas, todos os edifícios novos sejam nZEB. Contudo, em Portugal, ainda não estão definidos os requisitos para os nZEB. Existem, no entanto, algumas sugestões para tais requisitos, como aquela proposta por S. Attia *et al.*(2017) para os países do sul da Europa.

Neste contexto, na presente dissertação foram analisadas, mediante um caso de estudo, as alterações necessárias para implementar os nZEB, adotando como referência os requisitos de desempenho térmico e energético sugeridos por S. Attia *et al.*(2017). O caso de estudo analisado na presente dissertação consistiu numa moradia unifamiliar isolada, localizada numa zona climática I2-V3, e projetada à luz do REH para uma classe energética A⁺ utilizando o “Roadmap 2016”. Estudaram-se várias medidas de melhoria isoladas a incorporar no edifício e analisou-se o seu impacto na redução das necessidades energéticas. Posteriormente, essas medidas foram combinadas entre elas para se perceber quais as que teriam mais impacto na redução das necessidades energéticas. Para além das necessidades energéticas, houve dois pontos que foram analisados e tiveram uma importância significativa na escolha das medidas a aplicar no edifício, a percentagem de energia renovável no edifício e as emissões de CO₂ do mesmo, optando assim pela melhor combinação entre estes três parâmetros.

O estudo realizado permitiu identificar medidas que podem ser aplicadas em edifícios semelhantes, localizados na mesma zona climática, ou mesmo em outras zonas climáticas, bastando apenas adaptar às necessidades energéticas do edifício. Concluiu-se neste estudo que, com pequenos ajustamentos, os valores sugeridos S. Attia *et al.*(2017) não serão difíceis de alcançar se a referência for colocada ao nível dos edifícios da classe energética A⁺ definida atualmente no REH usando o “Roadmap 2016”. Para além dos limites das necessidades energéticas, tais como aqueles sugeridos por S. Attia *et al.*(2017), existem outros limites que têm que ser estabelecidos, principalmente no que diz respeito às emissões de CO₂ e ao limite mínimo de energia fornecida por fontes renováveis. Estes aspetos terão de ser avaliados observando o nível ótimo de rentabilidade, como sugere a Diretiva 2010/31/EU.

Palavras-chave:

nZEB; REH; Desempenho energético; Necessidades energéticas

Abstract

The concept of an almost zero energy building (nZEB) was introduced by the European Directive 2010/31/EU, relative to buildings' energy performance. The idea of nZEB buildings construction arose as a result of the need to decrease the European Union's dependence on energy, to reduce the consumption of fossil fuel and greenhouse gas emissions, allowing the EU to meet the assumed international compromise relative to emission reductions and their contribution to climate change mitigation. That Directive foresees that from 2020, or the end of 2018 in the case of public entities buildings, all new buildings will be nZEB. However, in Portugal, nZEB requirements are not yet defined. However, there are some suggestions for those requirements, such as S. Attia et al.(2017) proposal for southern European countries.

In this context and according to a case study, in the present dissertation the necessary changes to implement the nZEB were analyzed adopting as reference the thermal and energetic performance requirements suggested by S. Attia et al.(2017). The case study analyzed in this dissertation consisted of an isolated single-family dwelling, located in a I2-V3 climatic zone, and projected for an energy class A + in the light of the REH using the "Roadmap 2016". Several isolated improvement measures to be incorporated into the building were studied and their impact on the reduction of energy needs was analyzed. Subsequently, those measures were mixed to see which ones would have the most impact on reducing energy needs. In addition to the energy needs, two points were analyzed that had a significant importance in choosing the measures to be applied in the building: the percentage of renewable energy in the building and CO₂ emissions, thus choosing the best combination of these three parameters.

This study made it possible to identify the measures that can be applied in similar buildings, located in the same climatic zone or even in other climatic zones, by simply adapting to the energy needs of the building. In this study it was concluded that, with minor adjustments, the suggested values by S. Attia et al.(2017) will not be difficult to reach if the reference is placed at the level of energy class A + buildings currently defined in the REH using the "Roadmap 2016 ". Beyond the limits of energy needs, such as those suggested by S. Attia et al.(2017), there are other limits that must be established, especially with regard to CO₂ emissions and the minimum energy limit provided by renewable energy sources. These aspects will have to be evaluated by looking at the optimal level of profitability, as suggested by Directive 2010/31/EU.

Keywords

nZEB; REH; Energetic performance; Energy demand

Índice

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	6
1.3. Relevância da investigação	6
1.4. Organização da dissertação	6

Capítulo 2 - Requisitos de um nZEB

2.1. Conceito nZEB	9
2.2. Políticas na área da energia conducentes aos nZEB	9
2.3. Estratégias para alcançar os nZEB	11
2.3.1. Redução das necessidades energéticas do edifício	13
2.3.1.1. Otimização da solução arquitetónica	13
2.3.1.2. Otimização da envolvente	14
2.3.1.3. Utilização de sistemas passivos	16
2.3.1.4. Utilização de equipamentos eficientes	19
2.3.1.5. Utilização de sistemas centralizados de produção de energia	20
2.3.2. Utilização de fontes de energia renovável	21
2.4. Requisitos a adotar em Portugal	23

3. Estudo de caso

3.1. Introdução	27
3.2. Caracterização do edifício	27
3.2.1. Descrição geral	27
3.2.2. Caracterização dos espaços não úteis	27
3.2.3. Caracterização das necessidades energéticas	29
3.3. Proposta de alteração	29
3.3.1. Medida 1	30
3.3.2. Medida 2	34
3.3.3. Medida 3	43
3.3.4. Medida 4	45
3.3.5. Medida 5	46

4. Análise e discussão dos Resultados

4.1. Introdução	49
4.2. Análise individual das medidas	49
4.3. Análise da combinação das medidas	50
4.3.1. Combinação 1	50

4.3.2. Combinação 2	51
4.3.3. Combinação 3	52
4.3.4. Combinação 4	53
4.3.5. Parâmetros nZEB	54
4.3.5.1. Energia proveniente de fontes renováveis	54
4.3.5.2. Emissões de CO ₂	55
4.3.6. Escolha da combinação	56
5. Conclusões Gerais e Propostas para trabalhos futuros	
5.1. Conclusões Gerais	57
5.2. Propostas para trabalhos futuros	58
Referências Bibliográficas	59
Anexos	61
Anexo A	63
Anexo B	85

Índice de Figuras

Figura 1.1. Gráfico de emissões com efeito de estufa, com base o ano de 1990 [13]	2
Figura 2.1. Edifícios segundo a época de construção [13]	10
Figura 2.2. Edifícios por tipo de reparação e por época de construção [17]	10
Figura 2.3. Tipo de reparação em edifícios segundo a época de construção [17]	10
Figura 2.4. Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais [16]	11
Figura 2.5. Diferentes variantes e posição do intervalo de nível ótimo de rentabilidade [11]	12
Figura 2.6. Temperaturas em Portugal continental observadas entre 1961 e 1990 [3]	24
Figura 3.1. Identificação dos espaços não úteis	28
Figura 3.2. Delimitação da envolvente no piso 0	28
Figura 3.3. Delimitação da envolvente no piso 1	29
Figura 3.4. Delimitação da envolvente em corte	29
Figura 3.5. Exemplo de pormenor construtivo do vão envidraçado da proposta inicial	31
Figura 3.6. Exemplo de pormenor construtivo do vão envidraçado da proposta de alteração	32
Figura 3.7. Exemplo de pormenor construtivo da PPI1 da proposta de alteração	40
Figura 3.8. Exemplo de pormenor construtivo da PPI2 da proposta de alteração	41
Figura 4.1. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 1	51
Figura 4.2. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 2	52
Figura 4.3. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 3	53
Figura 4.4. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 4	54
Anexos	
Figura A.1. Identificação dos espaços não úteis	67
Figura A.2. Delimitação da envolvente em planta	68
Figura A.3. Delimitação da envolvente em corte	68
Figura A.4. Pormenor construtivo da PRE1	69
Figura A.5. Pormenor construtivo da PPE1	70
Figura A.6. Pormenor construtivo da PPE2	70
Figura A.7. Pormenor construtivo da PLB1	71
Figura A.8. Pormenor construtivo da PLC1	71
Figura A.9. Pormenor construtivo da PLD1	72
Figura A.10. Pormenor construtivo da PLE1	72

Figura A.11. Pormenor construtivo da PLF1	72
Figura A.12. Pormenor construtivo da PLG1	73
Figura A.13. Pormenor construtivo da PLH1	73
Figura A.14. Pormenor construtivo da PRI1	74
Figura A.15. Pormenor construtivo da PRI2	75
Figura A.16. Pormenor construtivo da PVI1	76
Figura A.17. Pormenor construtivo da PVI2	77
Figura A.18. Pormenor construtivo da CBI1	77
Figura A.19. Pormenor construtivo da CBI2	78
Figura A.20. Pormenor construtivo da PLB1i	79
Figura A.21. Pormenor construtivo da PLD1i	79
Figura A.22. Pormenor construtivo da PLE1i	79
Figura A.23. Pormenor construtivo da PLF1i	80
Figura B.1. Identificação dos espaços não úteis	89
Figura B.2. Delimitação da envolvente em planta	90
Figura B.3. Delimitação da envolvente em corte	90
Figura B.4. Pormenor construtivo da PRE1	91
Figura B.5. Pormenor construtivo da PPE1 devido à viga	92
Figura B.6. Pormenor construtivo da PPE1 devido ao pilar	92
Figura B.7. Pormenor construtivo da PPE2	93
Figura B.8. Pormenor construtivo da PLB1	93
Figura B.9. Pormenor construtivo da PLC1	94
Figura B.10. Pormenor construtivo da PLD1	94
Figura B.11. Pormenor construtivo da PLE1	94
Figura B.12. Pormenor construtivo da PLF1	95
Figura B.13. Pormenor construtivo da PLG1	95
Figura B.14. Pormenor construtivo da PLH1	95
Figura B.15. Pormenor construtivo da PRI1	97
Figura B.16. Pormenor construtivo da PRI2	97
Figura B.17. Pormenor construtivo da PVI1	99
Figura B.18. Pormenor construtivo da PVI2	99
Figura B.19. Pormenor construtivo da CBI1	100
Figura B.20. Pormenor construtivo da CBI2	101
Figura B.21. Pormenor construtivo da PLB1i	101
Figura B.22. Pormenor construtivo da PLD1i	102
Figura B.23. Pormenor construtivo da PLE1i	102
Figura B.24. Pormenor construtivo da PLF1i	102

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Sugestão para o limite de desempenho do nZEB para Portugal [3]	25
Tabela 3.1. Necessidades energéticas iniciais	29
Tabela 3.2. Caracterização dos vãos envidraçados das duas propostas	31
Tabela 3.3. Caracterização da PPE2 das duas propostas	32
Tabela 3.4. Caracterização da PLG1 das duas propostas	33
Tabela 3.5. Caracterização das portas das duas propostas	34
Tabela 3.6. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 1	34
Tabela 3.7. Caracterização das PRE1 das duas propostas	36
Tabela 3.8. Caracterização das PPE1 das duas propostas	37
Tabela 3.9. Caracterização da PLB1 das duas propostas	38
Tabela 3.10. Caracterização da PLC1 das duas propostas	38
Tabela 3.11. Caracterização da PLD1 das duas propostas	38
Tabela 3.12. Caracterização da PLE1 das duas propostas	38
Tabela 3.13. Caracterização da PLF1 das duas propostas	39
Tabela 3.14. Caracterização das PLH das duas propostas	39
Tabela 3.15. Caracterização das PRI1 das duas propostas	40
Tabela 3.16. Caracterização das PPI das duas propostas	41
Tabela 3.17. Caracterização da PLB1i das duas propostas	42
Tabela 3.18. Caracterização da PLD1i das duas propostas	42
Tabela 3.19. Caracterização da PLE1i das duas propostas	42
Tabela 3.20. Caracterização da PLF1i das duas propostas	42
Tabela 3.21. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 2	43
Tabela 3.22. Caracterização das CBI das duas propostas	43
Tabela 3.23. Redução da área das pontes térmicas planas devido ao teto falso	44
Tabela 3.24. Alteração do valor de ψ da PLD1 devido à mudança de localização do isolamento	44
Tabela 3.25. Alteração do valor de ψ da PLD1i devido à mudança de localização do isolamento	44
Tabela 3.26. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 3	45
Tabela 3.27. Caracterização dos PVI das duas propostas	46
Tabela 3.28. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 4	46
Tabela 3.29. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da 5ª Medida	47
Tabela 4.1. Resumo da influência de cada medida no edifício original	49
Tabela 4.2. Combinações estudadas	50
Tabela 4.3. Resumo da Combinação 1	50
Tabela 4.4. Resumo da Combinação 2	51
Tabela 4.5. Resumo da Combinação 3	52

Tabela 4.6. Resumo da Combinação 4	53
Tabela 4.7. Percentagem de energia renovável de cada combinação	55
Tabela 4.8. Emissões de CO ₂ de cada combinação	55
Tabela 4.9. Resumo das necessidades energéticas, da percentagem de energia proveniente de fontes renováveis e emissões de CO ₂ de todas as combinações	56

Anexos

Tabela A.1. Caracterização da PRE1	69
Tabela A.2. Caracterização da PPE1	66
Tabela A.3. Caracterização da PPE2	70
Tabela A.4. Caracterização da POE1	71
Tabela A.5. Caracterização das pontes térmicas lineares exteriores	73
Tabela A.6. Caracterização da PRI1	74
Tabela A.7. Caracterização da PRI2	75
Tabela A.8. Caracterização da POI1	75
Tabela A.9. Caracterização da PVI1	76
Tabela A.10. Caracterização da PVI2	76
Tabela A.11. Caracterização da CBI1	77
Tabela A.12. Caracterização da CBI2	78
Tabela A.13. Caracterização das pontes térmicas lineares interiores	80
Tabela A.14. Caracterização dos vãos envidraçados de EEV1 a EEV10	81
Tabela A.15. Caracterização do vão envidraçado EEV11	81
Tabela A.16. Caracterização energética do edifício	83
Tabela B.1. Caracterização da PRE1	91
Tabela B.2. Caracterização da PPE1	91
Tabela B.3. Caracterização da PPE2	92
Tabela B.4. Caracterização da POE1	93
Tabela B.5. Caracterização das pontes térmicas lineares exteriores	96
Tabela B.6. Caracterização da PRI1	96
Tabela B.7. Caracterização da PRI2	97
Tabela B.8. Caracterização da POI1	98
Tabela B.9. Caracterização da PVI1	98
Tabela B.10. Caracterização da PVI2	99
Tabela B.11. Caracterização da CBI1	100
Tabela B.12. Caracterização da CBI2	101
Tabela B.13. Caracterização das pontes térmicas lineares interiores	103
Tabela B.14. Caracterização dos vãos envidraçados de EEV1 a EEV10	104
Tabela B.15. Caracterização do vão envidraçado EEV11	104
Tabela B.16. Caracterização energética do edifício	105

Siglas e acrónimos

AQS	Águas Quentes Sanitárias
CBI	Cobertura interior em zona corrente, sobre o espaço não útil
CO2	Dióxido de carbono
EEV	Envidraçado exterior vertical
EM	Estados Membros
ENU	Espaço não útil
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
GEE	Gases com Efeito de Estufa
nZEB	Edifício com necessidades energéticas quase nulas
PLB	Ponte térmica linear (ligação de fachada com pavimento sobre locais não aquecidos ou exterior)
PLBi	Ponte térmica linear (ligação de parede interior com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores)
PLC	Ponte térmica linear (ligação de fachada com pavimentos intermédios)
PLD	Ponte térmica linear (ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço)
PLDi	Ponte térmica linear (ligação da parede interior com cobertura inclinada ou terraço)
PLE	Ponte térmica linear (ligação de fachada com varanda)
PLEi	Ponte térmica linear (ligação da parede interior com varanda)
PLF	Ponte térmica linear (ligação entre duas paredes verticais)
PLFi	Ponte térmica linear (ligação de duas paredes verticais interiores)
PLG	Ponte térmica linear (ligação de fachada com caixa de estore)
PLH	Ponte térmica linear (ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril)
POE	Porta da envolvente exterior
POI	Porta da envolvente interior
PPE	Ponte térmica plana da envolvente exterior
PRE	Parede exterior em zona corrente
PRI	Parede interior em zona corrente, em contacto com espaços não úteis ou edifício adjacentes
PVI	Pavimento interior em zona corrente, sobre espaço não útil
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
UE	União Europeia

Simbologia

Alfabeto Latino

A_i	Somatório das áreas dos elementos que separam o EU interior do ENU, m^2
A_p	Área útil do pavimento, m^2
A_u	Somatório das áreas dos elementos que separam o ENU do ambiente exterior, m^2
b_{tr}	Coefficiente de redução de perdas térmicas por transmissão
N_i	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento limite, $kWh/(m^2.ano)$
N_{ic}	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento, $kWh/(m^2.ano)$
N_t	Necessidades nominais anuais globais de energia primária limite, $kWh_{EP}/(m^2.ano)$
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária, $kWh_{EP}/(m^2.ano)$
N_v	Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento limite, $kWh/(m^2.ano)$
N_{vc}	Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, $kWh/(m^2.ano)$
R_{Nt}	Rácio de classe energética
U	Coefficiente de transmissão térmica, $W/(m^2.°C)$
U_w	Coefficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados com a proteção aberta, $W/(m^2.°C)$
U_{wdn}	Coefficiente de transmissão térmica médio dia-noite, $W/(m^2.°C)$

Alfabeto grego

Ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear, $W/(m.°C)$
λ	Coefficiente de condutibilidade térmica, $W/(m.°C)$

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Atualmente, o setor dos edifícios representa cerca de 35% do consumo total de energia em Portugal e são responsáveis por 10% das emissões globais de CO₂ [8]. Se se associar as emissões do uso de energia elétrica e de aquecimento a percentagem de emissões globais de CO₂ aumenta para 42% [8]. Mas não são só esses fatores que contribuem para as emissões globais de CO₂, em Portugal a idade do sector habitacional é também uma preocupação constante, visto que cerca de metade das habitações foram construídas em períodos anteriores a 1980 e ainda não havia legislação para regulamentar o comportamento térmico dos edifícios, esta só surge em 1990 quando é publicado o Decreto-Lei n.º 40/90 que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Com a introdução do RCCTE ocorreram algumas alterações na configuração da alvenaria, pela necessidade de corrigir as pontes térmicas planas. As novas alterações trouxeram inicialmente alguns problemas de instabilidade por fissuração nas fachadas junto aos cunhais, vãos e juntas de apoio dos panos exteriores de alvenaria. Por outro lado, as correções das pontes térmicas planas em vigas e pilares tiveram pouca expressão na redução das pontes térmicas, ainda que tenham contribuído para reduzir parcialmente o problema da condensação superficial nesses elementos. Basicamente eram propostas de correções simples e duplas, com a aplicação de panos de alvenaria de tijolo furado normal de 4 e de 7 cm, respetivamente. Importa ainda referir que eram apenas contabilizadas as necessidades energéticas para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento, desprezando as perdas dos elementos que estavam em contacto com o solo e não se quantificava as perdas por pontes térmicas lineares. As perdas devido às pontes térmicas planas eram contabilizadas através de um fator de concentração de perdas aplicado a toda a envolvente [19].

Um dos problemas do RCCTE de 1990 era o facto da conformidade regulamentar dos cálculos do projeto de especialidade não ser verificada, nem a sua execução ser confrontada aquando da construção do edifício. Em muitos casos, a constituição das paredes construídas em obra não correspondia às especificações do projeto [19].

Em 1998 é aprovado o Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE), com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/98. Este Regulamento era destinado a grandes edifícios de comércio e serviços onde os sistemas técnicos têm maior impacto, mas teve pouca expressão na prática, a não ser na responsabilidade técnica [19].

Ainda em 1998 surgiu o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, que só entrou a vigor em 2005. Os países que assinaram este protocolo estabeleceram o compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2°C e de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos

20% em relação aos níveis de 1990 [19]. A Fig. 1.1 mostra a evolução das emissões de gases com efeito de estufa, tendo por base o ano 1990 [13].

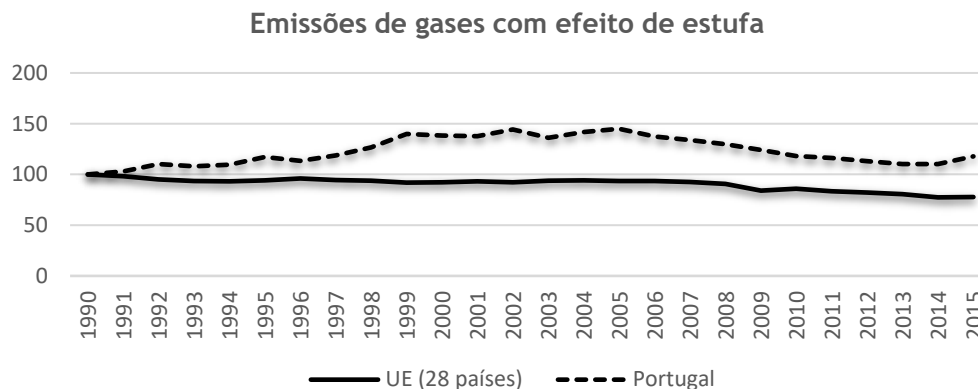


Figura 1.1. Gráfico de emissões com efeito de estufa, com base o ano de 1990 [13]

Em 2002 é aprovada pela UE a Diretiva n.º 2002/91/CE (*EPBD - Energy Performance of Buildings Directive*), relativa ao desempenho energético. Esta diretiva estabelece uma tabela de referência comum para os países da União relativamente ao desempenho energético dos edifícios, quantificação das necessidades energéticas, taxa de emissões de CO₂ e classificação energética. A mesma diretiva impõe aos Estados Membros (EM) a existência de Certificados Energéticos nos seguintes casos [19]:

- i. Para obter licença de utilização em edifícios novos;
- ii. Em grandes intervenções em edifícios existentes (custo superior a 25% do valor do edifício, excluindo o terreno);
- iii. Periodicamente para todos os edifícios públicos (de serviços) com mais de 1000 m²;
- iv. Aquando da locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes (validade do CE: máximo de 10 anos).

Em 2006 a Diretiva 2002/91/CE é transposta para a legislação portuguesa através de três Decretos-Lei, revogando o Decreto-Lei n.º 40/90 (RCCTE) e o Decreto-Lei n.º 118/98 (RSECE), nomeadamente [19]:

- i. Decreto-Lei n.º 78/2006, responsável pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE),
- ii. Decreto-Lei n.º 79/2006, responsável pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE),
- iii. Decreto-Lei n.º 80/2006, responsável pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Em termos organizacionais, a grande alteração introduzida pelo “pacote” legislativo de 2006, foi a criação do SCE, a quem cabia coordenar a certificação energética e implicitamente a aplicação de RCCTE e do RSECE [19].

Em 2010 a União Europeia aprova a Diretiva 2010/31/EU (*Recast EPBD - Energy Performance of Buildings Directive*) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta nova diretiva clarifica o quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e reforça as medidas da Diretiva 2002/91/CE no que respeita a melhoria do desempenho energético dos edifícios [19].

No preâmbulo da Diretiva 2010/31/EU [12] são evidenciados alguns aspetos que justificaram a sua implementação e os principais objetivos a alcançar:

- i. Os edifícios representam cerca de 40% do consumo de energia total da União Europeia. A redução de energia e a utilização de energia provenientes de fontes renováveis neste setor constituem medidas importantes, necessárias para reduzir a dependência energética da União Europeia e as emissões de gases com efeito de estufa. Estas medidas permitirão à União Europeia cumprir o Protocolo de Quioto e honrar o seu compromisso de manter a longo prazo a subida da temperatura global abaixo dos 2°C e o seu compromisso de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa pelo menos em 20% em relação aos níveis de 1990, e em 30% no caso de se alcançar um acordo internacional. É ainda objetivo da União Europeia a promoção da eficiência energética no contexto de um objetivo vinculativo para a energia proveniente de fontes renováveis equivalente a 20% do consumo de energia total da União em 2020.
- ii. As medidas de melhoria do desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica. Essas medidas não deverão afetar outros requisitos relativos aos edifícios, tais como a acessibilidade, a segurança e a utilização prevista do edifício.
- iii. O desempenho energético dos edifícios deve ser calculado com base numa metodologia diferenciada a nível nacional e regional e deve ter em conta as normas europeias. Para além das características térmicas, outros fatores com influência crescente devem ser considerados, como as instalações de aquecimento e arrefecimento, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a conceção dos próprios edifícios.
- iv. Os requisitos mínimos para os edifícios deverão ser estabelecidos visando alcançar um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade entre os investimentos efetuados e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida do edifício, ou seja, o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida estimado.

- v. São necessárias medidas para aumentar o número de edifícios que não se limitem a cumprir os atuais requisitos mínimos de desempenho energético, mas que os ultrapassem. Nessa medida, a nova diretiva estabelece que os Estados Membros (EM) deverão elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB). Os nZEB (*Nearly zero energy buildings*) são edifícios com desempenho energético muito elevado e necessidades quase nulas de energia ou muito pequenas, satisfeitas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis.
- vi. Deverá ser dado prioridade à implementação de estratégias que contribuam para melhorar o desempenho energético dos edifícios durante o verão, que evitem o uso excessivo de aparelhos de arrefecimento. Para tal, deverão privilegiar-se medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a proteção solar e uma inércia térmica suficiente na construção do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhoram a qualidade do clima interior e o microclima em torno do edifício.
- vii. Os EM deverão habilitar e incentivar os arquitetos e responsáveis pelo planeamento, a ponderar a combinação ótima das melhorias em matéria de eficiência energética, o recurso a energia proveniente de fontes renováveis e as redes urbanas de aquecimento e arrefecimento no planeamento, conceção, construção e renovação de zonas industriais ou residenciais.

Em 2013, a Diretiva n.º 2010/31/EU é transposta para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013, revogando assim os Decretos-Lei que aprovaram o SCE, o RCCTE e o RSECE. Com a aprovação deste Decreto-Lei houve duas principais modificações.

A primeira modificação foi em termos de estrutura legislativa, sendo que o novo regulamento passou a incluir num único diploma:

- i) O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE),
- ii) O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH),
- iii) O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A segunda modificação foi em termos de separação clara entre os edifícios de habitação e os edifícios de comércio e serviços. Assim, o REH inclui apenas os edifícios de habitação, enquanto o RECS inclui os edifícios de comércio e serviços.

A estrutura de funcionamento do SCE mantém-se, coordenando a certificação energética e, implicitamente, a aplicação do REH e do RECS.

Mantém-se a obrigatoriedade de certificação dos edifícios novos e dos edifícios sujeitos a grandes intervenções em duas fases: o pré-certificado emitido para a obtenção da Licença de Construção e o certificado SCE emitido no final da obra para obtenção da Licença de Utilização.

O pré-certificado e o certificado SCE são reconhecidos como certificações técnicas, clarificando a sua aplicação em matéria de consulta e vistorias, tornando tais certificações técnicas obrigatórias na instrução de operações urbanísticas. No caso dos edifícios existentes, para além da certificação obrigatória no ato da celebração de contratos de compra e venda ou locação, alargou-se essa exigência à fase de publicitação para venda ou arrendamento.

A definição dos requisitos mínimos é diferenciada para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes, e a avaliação do desempenho energético passa a basear-se nos seguintes pilares: no REH assumem posição de destaque o comportamento térmico e a eficiência energética; no RECS, para além do comportamento térmico e da eficiência dos sistemas, acrescem a instalação, a condução e a manutenção de sistema técnicos.

No caso de pré-certificados e certificados SCE de edifícios de habitação, a classe energética é determinada através do rácio de classe energética (R_{Nt}), sendo $R_{Nt} = N_{tc} / N_t$, onde N_{tc} é o valor das necessidades nominais anuais de energia primária em $kWh_{EP} / (m^2 \cdot ano)$ e N_t o valor limite regulamentar dessas necessidades.

O novo regulamento inclui um mapa evolutivo de requisitos com horizonte temporal no limite até 2020, no sentido da promoção de edifícios cada vez mais eficientes. É introduzido o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB), que passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como uma referência para as grandes intervenções no edificado existente.

São introduzidos requisitos mínimos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, nomeadamente os sistemas de climatização, de preparação de AQS, de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis. Mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com clarificação dos métodos de quantificação.

Desde de 2013, que se mantém em vigor o Decreto-Lei n.º 118/2013, embora este tenha sofrido quatro alterações, três em 2015 e uma em 2016. A primeira alteração, em 2015, que ocorreu com a publicação do Decreto-Lei n.º 68-A/2015, veio transpor a Diretiva n.º 2012/27/EU, que estabelece disposições em matéria de eficiência energética e cogeração. A segunda alteração, com a publicação do Decreto-Lei n.º 194/2015, veio estabelecer um regime excecional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional. A última alteração de 2015 ocorreu com a publicação do Decreto-Lei n.º 251/2015, que introduziu apenas alterações no que diz respeito ao desempenho energético. O Decreto-Lei n.º 28/2016, que foi a última alteração realizada ao Decreto-Lei n.º 118/2013 veio completar a transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU.

Em 2015, realizou-se a 21ª Conferência das partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, esta conferência permitiu um consenso global no

reconhecimento que as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) têm que ser limitadas e reduzidas. O acordo alcançado, denominado de Acordo de Paris, tem como principal objetivo fortalecer a resposta à ameaça das alterações climáticas, tendo como principais objetivos [7]:

- a) Limitar o aumento da temperatura média global até um máximo de 2°C, comparando com os registos pré-industriais,
- b) Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas,
- c) Estabelecer políticas económicas com baixas emissões de GEE.

Em maio de 2018, o Conselho Europeu aprovou a proposta de revisão da Diretiva europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD). Aguarda-se a publicação em Jornal Oficial da União Europeia. Após publicação em Jornal Oficial, os Estados-Membros terão 20 meses para transpor a diretiva para a lei nacional. A revisão da EPBD reforça as medidas de renovação energética dos edifícios, definindo como meta para o longo prazo a descarbonização do parque edificado europeu existente. Outro aspeto relativo aos edifícios é a introdução de domótica ou sistemas “inteligentes” para simplificar as inspeções dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado.

1.2. Objetivo

O objetivo da presente dissertação é estudar, mediante um caso de estudo, as alterações necessárias para implementar os nZEB, adotando como referência os requisitos de desempenho térmico e energético sugeridos por S. Atti *et al.* [3]. O caso de estudo analisado na presente dissertação consistiu numa moradia unifamiliar isolada, projetada à luz do REH utilizando o “*Roadmap 2016*”, para uma classe energética A*.

1.3. Relevância da investigação

Como obriga a Diretiva n.º 2010/31/EU, a partir de 2020 todos os edifícios novos deverão ser nZEB. Assim, a presente dissertação pretende contribuir para a percepção das alterações necessárias do ponto de vista da conceção dos edifícios, produzidos à luz da legislação em vigor, para os adequar aos requisitos de um nZEB.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, incluindo esta introdução, os quais se organizam de seguinte modo:

O Capítulo 2 define o conceito nZEB, refere as principais políticas na área da energia conducentes aos nZEB, apresenta as estratégias para alcançar os nZEB e apresenta uma proposta de requisitos energéticos a adotar em Portugal para alcançar as metas dos edifícios de energia quase zero.

No Capítulo 3 são analisadas as necessidades energéticas de cada uma das componentes do edifício e são propostas alterações de forma a alcançar os requisitos propostos por S. Atti et al..

No Capítulo 4 analisa-se e discute-se os resultados obtidos, depois de aplicadas as alterações necessárias para alcançar um desempenho energético adequado aos nZEB.

No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões do estudo realizado e algumas propostas para trabalhos futuros.

Por último, apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos referenciados ao longo do texto.

2. Requisitos de um edifício nZEB

2.1. O Conceito nZEB

Um edifício de energia quase nula, ou como descrito na Diretiva 2010/31/EU, edifício com necessidades quase nulas de energia, é “um edifício com desempenho energético muito elevado”, onde a quantidade de energia que requer deve ser obtida em grande parte de fontes de energia renovável, incluindo energia obtida a partir de fontes renováveis produzidas no local ou nas imediações do edifício [12].

2.2. Políticas na área da energia conducentes aos nZEB

As políticas na área da energia conducentes aos nZEB têm sido promovidas e clarificadas desde a publicação da Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Essas medidas foram transpostas para a ordem jurídica nacional em 2013, com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013. Inicialmente estas medidas tinham por alvo os edifícios novos e as grandes renovações, com efeitos a partir do final de 2018 e início de 2020, dependendo do tipo de utilização do edifício. Contudo, as medidas previstas para os nZEB deveriam, de acordo com a referida Diretiva, servir como referência para as medidas de melhoria nos edifícios existentes. Previa-se já, nessa altura, a necessidade de intervir nos edifícios existentes face aos compromissos assumidos pela UE.

Com a aprovação recente da proposta de revisão da Diretiva europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), em maio de 2018, pelo Conselho Europeu, aguarda-se para breve o reforço das medidas de renovação energética dos edifícios. Este reforço define metas a longo prazo de descarbonização do parque edificado europeu existente.

Em artigo publicado na revista Edifícios e Energia, M. Almeida e R. Barbosa [2] salientam o potencial das intervenções de renovação a nível urbano para edifícios nZEB, evidenciando que a reabilitação energética destes edifícios é absolutamente decisiva para que a União Europeia consiga cumprir os objetivos definidos para 2020 e 2030.

Existe hoje a perceção clara de que não basta intervir nos edifícios novos em Portugal para se atingirem as metas definidas. Quando se analisa o parque habitacional percebe-se que a construção nova, por ser em número inferior, vai ter pouco impacto, comparada com os edifícios existentes. Conclui-se então que vai ser necessário reabilitar os edifícios existentes para conseguir cumprir as metas impostas.

Devido à idade do parque habitacional português, edificado numa grande percentagem até à década de 70 do séc. XX, quando não existiam normas e requisitos quanto à qualidade térmica e energética, estes apresentam deficiências. Tais deficiências localizam-se essencialmente nas envolventes, com um isolamento térmico insatisfatório à luz dos requisitos atuais. Assim, ao reabilitar os edifícios na sua componente térmica e energética, proporciona-se a melhoria da

qualidade térmica e das condições de conforto dos seus habitantes, permitindo assim reduzir o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento, ventilação e iluminação, contribuindo também para alcançar o objetivo da redução das necessidades energéticas em Portugal [11].

A Fig. 2.1 apresenta a construção de edifícios em percentagem de acordo com a época de construção, segundo os dados presentes nos Censos de 2011, sendo possível constatar que 36,8% dos edifícios foram construídos antes da década de 70.

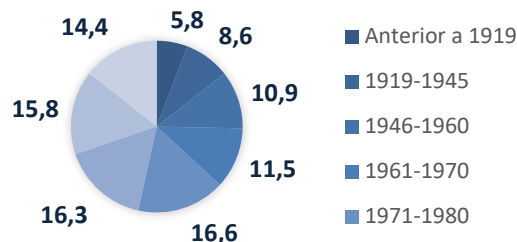


Figura 2.1. Edifícios segundo a época de construção [13]

A Fig. 2.2 mostra a necessidade de reparações nos edifícios construídos antes e depois de 1970. Observa-se que os edifícios que foram construídos antes da década de 70 carecem de reparações maiores do que os edifícios construídos depois da década de 70.

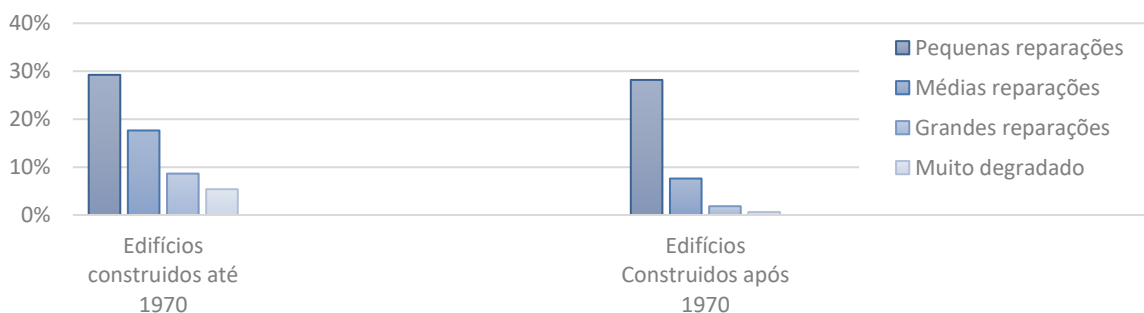


Figura 2.2. Edifícios por tipo de reparação e por época de construção [17]

A Fig. 2.3 mostra qual o tipo de reparação que é necessária para casa época de construção.

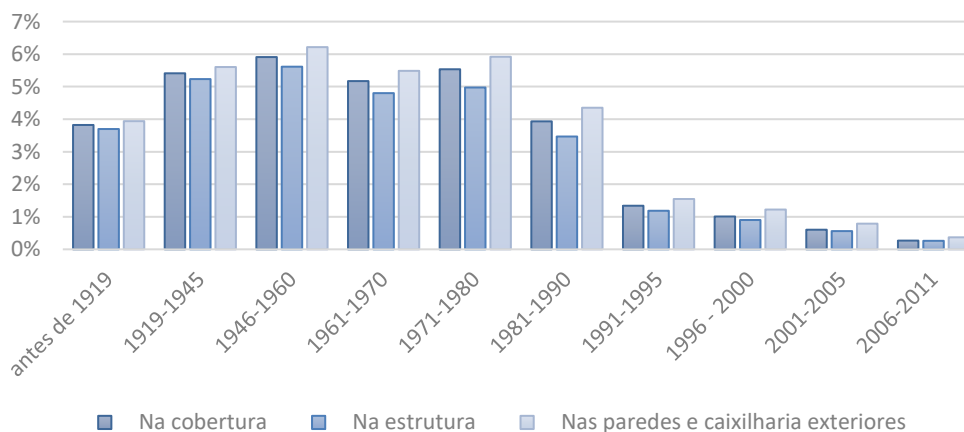


Figura 2.3. Tipo de reparação em edifícios segundo a época de construção [17]

O consumo final de energia dos edifícios depende de vários fatores, desde a localização do edifício, a qualidade de construção, o nível de isolamento, o tipo de equipamentos utilizados e o uso que se dá a esses equipamentos. O setor residencial em Portugal tem cerca de 3,9 milhões de alojamentos que contribuem com 17,7% do consumo de energia final, em termos nacionais, representando cerca de 30% do consumo de eletricidade, o que mostra a necessidade de moderar o consumo elétrico. Uma das principais causas do aumento do consumo de energia deve-se à ineficiência dos equipamentos utilizados, dos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos e ao comportamento dos utilizadores, mas também ao período necessário para a substituição dos equipamentos e progressiva recuperação dos edifícios [16].

Com pequenas intervenções nos edifícios é possível poupar entre 30 a 35% de energia, mantendo as mesmas condições de conforto [16]. Existem medidas de baixo custo, ou sem qualquer custo adicional, que permitem reduzir o consumo de energia entre 10 a 40%, dependendo dos hábitos dos consumidores [16]. Os consumos energéticos das habitações portuguesas têm registado um crescimento significativo, em parte, devido ao aumento da aquisição de equipamentos consumidores de energia [16]. Em Portugal, uma habitação média consome cerca de 3700 kWh por ano de energia elétrica, sendo que esse consumo inclui o aquecimento e o arrefecimento do ambiente, o aquecimento de águas, cozinha, equipamentos elétricos e iluminação. A Fig. 2.4 mostra a percentagem de energia consumida nos diferentes usos, numa habitação [16].

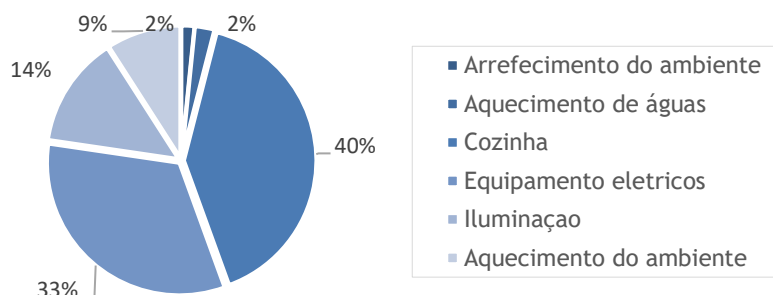


Figura 2.4. Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais [16]

2.3. Estratégias para alcançar os nZEB

Desde que a preocupação com o desempenho de edifícios começou a ser discutida, surgiram vários estudos com o intuito de estabelecer métodos e estratégias para se chegar a um edifício eficiente, como o *Passivhaus* (Alemanha), a *Zero Energy Home* (Estados Unidos), a *Maison Autonome en Energie* (França) e a *Green Building* (Inglaterra, Estados Unidos, Canadá) [20].

O conceito nZEB não diverge muito de todos os métodos e conceitos apresentados, apenas, em alguns países, pode ser considerado mais conservador devido às diferentes características entre os países da Europa.

Na definição das estratégias para atingir os nZEB é necessário atender ao nível ótimo de rentabilidade das soluções implementadas. Esta exigência decorre da aplicação da Diretiva

2010/31/UE (*Recast EPBD- Energy Performance of Buildings Directive*) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta diretiva estabelece que os requisitos mínimos para os edifícios deverão ser estabelecidos visando alcançar um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade entre os investimentos efetuados e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida do edifício, ou seja, o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado.

O nível ótimo de rentabilidade é, portanto, o nível de desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado, em que [11]:

- i. O custo mais baixo é determinado tendo em conta os custos de investimento, de manutenção e de funcionamento relacionados com a energia, incluindo os custos e poupanças de energia, a categoria do edifício em causa e as receitas resultantes da energia produzida, quando aplicável;
- ii. O ciclo de vida económico diz respeito ao ciclo de vida estimado de um edifício ou de um componente, se os requisitos de desempenho energético forem fixados para os edifícios ou componentes, respetivamente.

Para esta análise recorre-se ao valor de utilização de energia primária e ao custo global, associados a cada proposta de melhoria, representando-os em gráficos que descrevem, no eixo das abscissas a utilização de energia primária ($\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$) e no eixo das ordenadas os custos globais ($\text{€}/\text{m}^2$ de área útil), conforme a Fig. 2.5 [11].

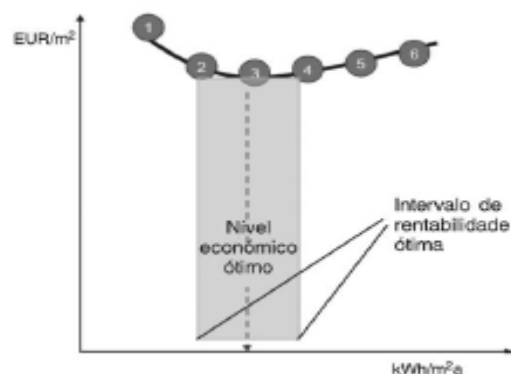


Figura 2.5. Diferentes variantes e posição do intervalo de nível ótimo de rentabilidade [11]

A combinação de medidas/variantes com o custo mais baixo (variante 3 da Fig. 6) indica o nível ótimo de rentabilidade de requisitos mínimos de desempenho energético. Se as medidas/variantes tiverem custos idênticos àquela a considerar para a definição do nível ótimo de rentabilidade deverá ser escolhida aquela com menor utilização de energia primária (margem esquerda do intervalo de rentabilidade) [11].

Observadas as questões do nível ótimo de rentabilidade, poderão ser indicadas duas estratégias principais para se alcançar um nZEB [14]:

- i. Reduzir as necessidades energéticas do edifício,
- ii. Utilizar energia produzida a partir de fontes de energia renovável.

2.3.1. Redução das necessidades energéticas do edifício

A estratégia para a redução das necessidades energéticas de um edifício será necessariamente diferente consoante se trate de um edifício existente ou de um edifício novo. Num edifício novo, o grau de liberdade nas opções de projeto é substancialmente maior, sendo à partida possível otimizar soluções logo na fase inicial da conceção arquitetónica do edifício. Será por isso importante dotar os Arquitetos dos conhecimentos básicos acerca desta temática, que os permita desenvolver soluções compatíveis com os requisitos atuais.

De um modo geral, para conseguir reduzir as necessidades energéticas de um edifício novo, pode-se atuar nos seguintes pontos fundamentais:

- i. Otimização da solução arquitetónica,
- ii. Otimização da envolvente,
- iii. Utilização de sistemas passivos,
- iv. Utilização de equipamentos eficientes,
- v. Utilização de sistemas centralizados de produção de energia.

2.3.1.1. Otimização da solução arquitetónica

Antes de se considerar os elementos que constituem a envolvente, há uma diversidade de fatores que indiretamente influenciam a desempenho do edifício, tais como:

- i. A forma do edifício,
- ii. A Orientação,
- iii. A localização.

Forma do edifício

A forma tem uma grande influência no desempenho energético de um edifício, visto que, para um mesmo volume e soluções construtivas idênticas, quanto maior for a superfície da envolvente mais perdas e ganhos de calor existem. Tendo em conta as condições climáticas da localização do edifício, este parâmetro pode influenciar negativamente ou positivamente o desempenho energético [4].

Orientação

A orientação dos edifícios é uma das principais características para a otimização do desempenho energético. Em Portugal a orientação que otimiza o desempenho energético e, por sua vez, os ganhos solares, é a orientação a sul, reduzindo orientações a este e oeste, pois estas no verão

estão expostas a uma elevada radiação solar [4]. Essa orientação permite otimizar os ganhos solares na estação de aquecimento e arrefecimento, visto que não é possível mudar a orientação do edifício consoante a estação. Na estação de arrefecimento é necessário tomar medidas adicionais para evitar o sobreaquecimento, como sistemas de sombreamento dos vãos envidraçados exteriores, principalmente os que tenham orientação a sul [21]. A orientação do edifício também tem que ter em conta as características dos ventos dominantes de forma a otimizar a ventilação natural.

Localização

A localização geográfica tem de ser tida em conta, pois não é possível projetar um edifício que tenha a mesmo desempenho energético em todo o país, devido aos diferentes climas que se encontram em Portugal. Outro ponto importante é o local de implantação, pois não adianta orientar um edifício a sul, se existirem nas imediações edifícios que funcionam como sistema de sombreamento e não permitam a incidência de radiação na habitação.

2.3.1.2. Otimização da envolvente

No que diz respeito à otimização da envolvente, não se trata apenas de um elemento, mas de quase todos os elementos que contribuem para a eficiência energética de um edifício. A envolvente térmica inclui todos os elementos que separam os espaços climatizados do exterior, de espaços não climatizados ou de construções adjacentes, sendo esta fundamental para equilibrar a interação do exterior com o interior do edifício [9].

Paredes

Os edifícios têm vários tipos de paredes, tanto na envolvente interior como exterior. As paredes exteriores têm como principal objetivo garantir a proteção do edifício face a diferentes fatores, entre eles, as variações térmicas do exterior, sendo estas uma das maiores superfícies de transferência de calor [21]. Atualmente, os requisitos térmicos exigidos para as paredes implicam a colocação de isolamento térmico, pois estes são capazes de diminuir significativamente as trocas de calor, minimizando os ganhos solares no verão e as perdas de calor no inverno [9]. Segundo as conclusões do estudo realizado por Charisi [5], na Grécia, aumentar a espessura do isolamento térmico reduz significativamente a necessidade de aquecimento de um edifício, mas reduz muito pouco a necessidade de arrefecimento, se o edifício tiver uma baixa ocupação. Para zonas frias o aumento da espessura do isolamento pode ser uma solução simples e fácil [5].

A tecnologia construtiva mais utilizada em Portugal inclui dois panos de alvenaria de tijolo com um espaço de ar entre eles. Outras soluções construtivas mais recentes incluem isolamento térmico pelo exterior, nomeadamente o sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*), as fachadas ventiladas e as soluções com reforço de isolamento térmico pelo interior

através da colocação de isolamentos na face interior dos panos de parede e revestimento interior leve, por exemplo, em placas de gesso cartonado.

Pontes térmicas lineares

Nas pontes térmicas lineares ocorrem perdas térmicas por transmissão significativas. Não é suficiente otimizar as soluções de paredes e pavimentos, é necessário tratar convenientemente a ligação entre esses elementos construtivos.

Vãos envidraçados

A escolha dos elementos que formam o vão envidraçado são de extrema importância no comportamento do edifício. Cerca de 25% a 30% das necessidades de aquecimento devem-se à perda de calor através dos envidraçados [6]. Se se substituir as janelas de vidro simples por janelas com vidro duplo ou triplo de baixa emissividade pode-se reduzir o consumo de energia em mais de 40% [9]. A dimensão dos envidraçados deve ter em conta a orientação solar, sendo que a fachada a sul deve conter a maioria dos envidraçados para que se beneficie dos ganhos solares nos meses de inverno e a fachada norte ter o mínimo de envidraçados.

Os vãos envidraçados são os responsáveis pelo efeito de estufa no interior das habitações, uma vez que a energia solar que entra num local através de um vidro é absorvida pelos objetos e elementos opacos interiores. A energia solar que entra pelos vãos envidraçados encontra-se deste modo concentrada num local com tendência a aquecer. Este fenómeno é benéfico durante o inverno porque permite ganhos solares importantes, mas é altamente prejudicial no verão, devendo ser tomadas medidas de modo a minimizar este fenómeno durante esta estação [21].

Para evitar o sobreaquecimento da habitação no verão devem ser tomadas medidas, como [21]:

- i. Garantir uma correta ventilação do ar interior (ventilar os espaços durante os períodos em que a temperatura exterior se encontra mais baixa),
- ii. Instalar dispositivos de proteção solar, sempre que possível, pelo exterior,
- iii. Recorrer a vidros de transmissão energética limitada, que deixam passar somente uma determinada fração de radiação energética solar, que permite iluminar e não aquecer,
- iv. Tirar partido da inércia térmica.

Cobertura

As coberturas são os elementos com maior de exposição solar, assumindo um papel importante no desempenho energético de um edifício. Para otimizar este elemento é necessário um controlo dos fluxos de calor, tanto ascendente como descendente. Um dos componentes que compõem a cobertura e que limita o fluxo de calor é o isolamento, mas colocado em excesso, associado a uma ventilação deficiente e à inexistência de isolamento térmico nas paredes poderá conduzir a um sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento, uma vez que o

ar quente é conduzido para a cobertura. As coberturas planas distinguem-se consoante a posição do isolamento [21]:

- i. Cobertura plana tradicional: o sistema de impermeabilização fica sobre o isolamento térmico. Este tipo de cobertura tem uma série de efeitos que aceleram o desgaste do sistema de impermeabilização, uma vez que ao ser aplicado sobre o isolamento térmico fica submetido a choques térmicos, danos mecânicos, degradação ultravioleta, etc.,
- ii. Cobertura plana invertida: nesta cobertura invertem-se as posições dos sistemas de impermeabilização e isolamento térmico, estando este último sobre o sistema de impermeabilização. Este sistema permite que a durabilidade do impermeabilizante aumente consideravelmente, no entanto, durante o inverno a chuva só é completamente escoada quando entra em contacto com o impermeabilizante, assim, neste caso as perdas de calor aumentam significativamente devido à elevada condutibilidade térmica da água.

Nas coberturas planas, pode-se adicionar um material de sombreamento, que neste caso pode ser terra vegetal com material vegetal à superfície. Estas coberturas denominam-se de coberturas verdes ou ajardinadas. Neste tipo de coberturas a durabilidade da impermeabilização também aumenta devido à menor amplitude de temperaturas que se verifica na face exterior da laje, resultando numa limitação do “*stress*” térmico nas membranas da cobertura [21].

Pavimentos

Os pavimentos em contato com o exterior ou com espaços não uteis (ENU) fazem parte da superfície da envolvente sujeita a perdas de calor. Como acontece com os outros elementos da envolvente, os pavimentos também devem ter isolamento térmico para que o fluxo de calor seja minimizado. O isolamento térmico deverá ser posicionado de modo a maximizar a inércia térmica interior, assim deve-se optar por colocar o isolamento térmico sob a laje [21].

2.3.1.3. Utilização de sistemas passivos

No preâmbulo da Diretiva 2010/31/UE é referido que, para além das características térmicas, outros fatores com influência crescente devem ser considerados, entre eles, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a conceção dos próprios edifícios. É também referido que deverá ser dada prioridade à implementação de estratégias que contribuam para melhorar o desempenho energético dos edifícios durante o verão, que evitem o uso excessivo de aparelhos de ar condicionado. Para tal, deverão privilegiar-se medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a proteção solar e uma inércia térmica suficiente na construção do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhorem a qualidade do clima interior e o microclima em torno dos edifícios.

Os sistemas passivos são definidos como tecnologias construtivas que são integradas nos edifícios para facilitar o aquecimento ou arrefecimento através de meios naturais de transferência de calor, tornando assim o edifício energeticamente mais eficiente. Como estes sistemas podem facilitar o aquecimento e o arrefecimento, podem separar-se em dois grupos: os sistemas de aquecimento passivo e os sistemas de arrefecimento passivo.

Os sistemas de aquecimento passivo mais utilizados nos edifícios são [15]:

- i. Sistema de ganho direto,
- ii. Sistema de ganho indireto (parede de trombe).

Sistema de ganho direto

O sistema de ganho direto consiste na correta disposição dos vãos envidraçados de forma a maximizar a incidência de radiação nas paredes e pavimento do espaço a aquecer [15]. Para o clima existente em Portugal, é importante tirar partido da inércia térmica, de forma a “gerir” os ganhos diretos obtidos.

Sistema de ganho indireto

Neste sistema existe um espaço entre a superfície na qual incide a radiação solar e o espaço a aquecer, assim a radiação incide na superfície que limita o espaço entre o vão envidraçado e o espaço a aquecer. A energia solar absorvida por essa superfície é transferida posteriormente para o espaço a aquecer, sendo que essa transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação do ar que for adotada. Exemplos deste tipo de sistemas podem ser [15]:

- i. Parede de trombe: consiste num sistema composto por um vão envidraçado, devidamente orientado, colocado em frente a uma parede maciça, com uma espessura que pode variar entre os 10 e os 30 cm e pintada de cor escura. Entre o vão envidraçado e a parede maciça é criado o efeito de estufa, com temperaturas que podem atingir 30 a 60 °C. Este calor pode ser transferido de imediato para o interior através de ventilação natural, basta fazer orifícios na parede. Caso não seja para usar o calor de imediato, não são necessários os orifícios, o calor vai ser absorvido pela parede e será transferido para o interior por condução, este processo vai depender da espessura da parede, denominando-se assim de parede de armazenamento.
- ii. Parede e colunas de água: este sistema tem o mesmo princípio de funcionamento das paredes de armazenamento, só se substitui o material construtivo da parede por um líquido, em contentores.

Os sistemas de arrefecimento passivo mais utilizados nos edifícios são [21]:

- i. Ventilação natural,
- ii. Arrefecimento pelo solo,

- iii. Arrefecimento por radiação,
- iv. Proteção solar.

Ventilação natural

A ventilação natural consiste na admissão e extração de ar por meio de aberturas existentes na envolvente dos edifícios e sob pressão das forças naturais do vento e das pressões derivadas das diferenças de temperatura. A ventilação natural usa a ação do vento e as diferenças de temperatura ou de humidade interior e exterior do edifício, de forma a criar um fluxo de ar [21]. Para que exista uma boa ventilação natural tendo em conta a ação dos ventos terá de haver diferenciais de pressão em fachadas opostas e nos diferentes andares do edifício para que o ar fresco possa circular. Para se maximizar o efeito da ventilação natural, existe uma série de recomendações que se deve seguir [1]:

- i. Orientar o edifício na direção do vento mais acentuada,
- ii. Duas aberturas por divisão, uma para admissão de ar e outra para exaustão, tendo esta última que estar posicionada em zonas mais elevadas,
- iii. Evitar que a ventilação entre duas aberturas seja direta, para forçar a circulação de ar,
- iv. As portas interiores do edifício devem permitir a circulação de ar.

Arrefecimento por radiação

Este processo acontece quando a temperatura do interior do edifício é mais elevada do que a do exterior. Normalmente acontece através das coberturas uma vez que são estas que tem maior exposição solar e assim facilita a saída de calor, por radiação [1]. As coberturas mais adequadas para o arrefecimento por radiação são as horizontais, mas devido ao isolamento térmico é possível que em muitas delas este efeito seja minimizado. A melhor estratégia seria a cobertura possuir isolantes que apenas seriam usados durante o dia, minimizando os ganhos solares no período diurno e permitindo as perdas noturnas [15].

Arrefecimento pelo solo

O processo de arrefecimento pelo solo permite baixar a temperatura do edifício quando este tem uma temperatura superior à do solo. A dissipação de energia através do solo pode acontecer de forma direta ou indireta. No arrefecimento pelo solo de forma direta, a dissipação de calor ocorre através da envolvente do edifício que se encontra em contacto com o solo [1]. Neste caso, a existência de isolamento reduz a dissipação de calor.

No caso do arrefecimento pelo solo de forma indireta, a dissipação de calor ocorre através de condutas subterrâneas colocadas de 1 a 3 m de profundidade onde circula o ar que vem do exterior. Neste caso, tem que se ter em conta, não só a temperatura exterior, como a

temperatura do solo, pois se o solo estiver quente pode fazer o efeito contrário ao que se pretende [1].

Proteção solar

Nos períodos de radiação excessiva, a forma mais eficaz de reduzir os ganhos solares e o sobreaquecimento do edifício é recorrendo a proteções solares. Existem várias estratégias para diminuir a exposição solar [1]:

- i. Alterar a orientação e área dos envidraçados,
- ii. Recorrer a vegetação,
- iii. Dispositivos de sombreamento fixos e móveis.

No caso de se optar por dispositivos de sombreamento fixos, tem que se ter atenção que estes estão a minimizar os ganhos solares, tanto no verão com no inverno, o que pode prejudicar o aquecimento passivo. Sendo assim, é preferível usar sempre dispositivos de sombreamento móveis, de modo a que o utilizador possa ajustar o sistema conforme as necessidades da sua habitação. Os dispositivos de sombreamento devem ser colocados preferencialmente pelo exterior.

2.3.1.4. Utilização de equipamentos eficientes

Os sistemas técnicos de climatização destinam-se a garantir a obtenção das condições de conforto térmico de referência estabelecidas para o ambiente interior nos edifícios, quer no inverno fornecendo calor, quer no verão retirando calor. Os sistemas convencionais de produção de AQS destinam-se a aquecer a água potável até uma temperatura superior a 45°C, destinada a banhos, limpezas, cozinha ou fins análogos. A correta especificação e dimensionamento dos sistemas de climatização e de AQS são determinantes para o desempenho energético global do edifício.

Existem muitos tipos de sistemas técnicos, sendo por vezes difícil agrupá-los apenas por um dos fins a que se destinam. Alguns equipamentos servem simultaneamente para aquecimento e AQS, enquanto outros servem exclusivamente para aquecimento ou para arrefecimento, podendo ainda existir equipamentos que fazem aquecimento e arrefecimento. Para cada função (aquecimento, arrefecimento ou AQS) deve ser conhecida a potência do equipamento e a respetiva eficiência de conversão tendo por base os dados fornecidos pelo fabricante, em conformidade com as normas aplicáveis. Outro aspeto a considerar é tipo de energia associada, como seja, energia elétrica, combustível sólido líquido ou gasoso.

O Decreto-lei 118/2013 de 20 de agosto estabelece os requisitos gerais e os requisitos mínimos de eficiência a cumprir relativamente aos sistemas técnicos em edifícios de habitação no âmbito do REH. Os requisitos mínimos de eficiência exigidos atualmente são já elevados, mas é possível que na aplicação dos nZEB esses requisitos mínimos sejam ainda agravados tendo em vista a redução do consumo energético e a redução das emissões.

A classificação energética de uma habitação não está dependente apenas dos aspetos construtivos mas também da eficiência dos sistemas de climatização e AQS a utilizar. Mendes [18] analisou o contributo dos sistemas técnicos para o desempenho energético de edifícios de habitação (numa análise enquadrada no âmbito do REH), tendo concluído que a classificação energética e consequentes emissões de CO₂, não estão diretamente relacionadas com as faturas energéticas mensais ou com os preços de aquisição dos equipamentos. Ou seja, é possível que a uma boa classe energética correspondam faturas energéticas mensais relativamente baixas ou altas. No caso de uma moradia unifamiliar de dois pisos e tipologia T3, edificada no concelho da Covilhã a 505 m de altitude, correspondente a uma zona climática I2-V3, Mendes [18] constatou que os gastos mais significativos destinam-se ao aquecimento da habitação, seguido das AQS e do arrefecimento. O estudo permitiu concluir que poderão existir diferentes soluções conducentes a taxas de emissão de CO₂ reduzidas, mas que, em cada caso, a solução mais adequada deverá resultar da ponderação entre o custo de investimento inicial, a poupança energética, a fatura energética e o período de retorno simples de investimento de cada solução alternativa.

2.3.1.5. Utilização de sistemas centralizados de produção de energia

A partilha de energia produzida a partir de sistemas centralizados já está prevista atualmente. A partilha de energia tem vantagens em termos de otimização de recursos e de custos envolvidos, e pode ser uma estratégia importante em situações de renovação de edifícios existentes. A aplicação de sistemas centralizados permitirá ultrapassar os constrangimentos do ponto de vista construtivo de intervir individualmente em edifícios existentes. Nos edifícios novos, esse planeamento deve ser efetuado logo na fase de elaboração dos planos urbanísticos, como é sugerido no preâmbulo da Diretiva 2010/31/EU. Nesse preâmbulo é referido que Os Estados-Membros deverão habilitar e incentivar os arquitetos e responsáveis pelo planeamento a ponderar a combinação ótima das melhorias em matéria de eficiência energética, o recurso a energia proveniente de fontes renováveis e as redes urbanas de aquecimento e arrefecimento no planeamento, conceção, construção e renovação de zonas industriais ou residenciais.

M. Almeida e R. Barbosa [2] referem que o equilíbrio entre a aplicação de medidas de eficiência energética e o uso de energia renovável para a renovação do edificado existente com o objetivo nZEB é mais complexo do que ao nível dos edifícios individuais, mas pode tirar partido de potenciais vantagens inerentes à economia de escala. Referem ainda que a possibilidade de utilização de um sistema centralizado de fornecimento de energia renovável (em oposição à utilização de um sistema individualizado por edifício) pode representar uma oportunidade para reduzir emissões de carbono, bem como para reduzir a utilização de energia baseada em combustíveis fósseis, mesmo não sendo possível intervir na envolvente.

2.3.2. Utilização de fontes de energia renovável

Como se referiu anteriormente, a segunda grande estratégia para se alcançar os nZEB passa pela utilização de energias produzidas a partir de fontes de energia renovável. É considerada energia renovável, a energia proveniente de fontes não fósseis renováveis, designadamente as energias eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hídrica, de biomassa e de biogás. A que parece ser, à partida, mais fácil de generalizar e implementar é a energia renovável obtida da energia solar.

A energia solar designa todo o tipo de captação de energia luminosa com origem no Sol. Esta energia tem como origem os ciclos naturais de conservação de energia emitida pelo Sol, fonte primária de grande parte de toda a energia disponível no planeta. Silva *et al.* [22] concluíram que é possível superar as necessidades de aquecimento/arrefecimento e a preparação de água quente sanitária (AQS) em 100% com a colocação de sistemas solares nos edifícios. A energia solar tem duas variantes:

- i. Energia Solar Térmica,
- ii. Energia Solar Fotovoltaica.

A energia solar térmica surge da transformação da energia solar que incide em coletores solares térmicos. Os sistemas que utilizam energia solar térmica podem ser de circulação forçada ou de termossifão. Os sistemas de circulação forçada têm um reservatório de água separado dos painéis solares, permitindo ter o reservatório ao nível térreo em qualquer compartimento da habitação e os painéis instalados na cobertura. O sistema de termossifão é calculado para utilizar o princípio da gravidade e da termodinâmica de forma que a água quente suba para o reservatório naturalmente enquanto a água fria desce para o painel solar para ser aquecida. Este sistema elimina as necessidades de bomba elétrica para fazer circular a água, tornando-se assim mais económico. Este sistema é de fácil instalação e o tamanho do reservatório é definido conforme as necessidades de água quente sanitária, assim como a área dos coletores [21].

Os sistemas de energia solar térmica são utilizados principalmente para a preparação de água quente sanitária, mas pode ser interessante como um complemento de apoio ao aquecimento, principalmente se os sistemas utilizarem água a menos de 60 °C, como é o caso dos sistemas de piso radiante. Em todos os casos, este sistema precisa de apoio de sistemas convencionais de produção de água quente, como por exemplo as caldeiras a gás ou a gasóleo [16]. A energia solar térmica pode garantir grande parte das necessidades de água quente sanitária. Contudo, podem não satisfazer 100% das necessidades, visto que existem épocas onde é necessário maior consumo que outras. Se dimensionarmos estes sistemas para as épocas de maior consumo o que vai acontecer é que em épocas de menor consumo vão existir coletores que não vão ser utilizados [16].

De acordo com o REH, a utilização de coletores solares térmicos em edifícios de habitação é obrigatória, desde que exista exposição solar adequada. Existe exposição solar adequada se o edifício dispõe de cobertura plana ou de cobertura inclinada com vertente orientada no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste (inclusive), e desde que não tenha sombreamentos significativos entre duas horas após o nascer do sol até duas horas antes do ocaso. Existindo exposição solar adequada, a área mínima de coletores solares a instalar deverá ser tal que a energia captada pelos coletores efetivamente instalados seja superior ou igual à que seria captada por coletores padrão definidos na legislação, orientados a sul e com inclinação de 35 °. Em casos justificados, a área de coletores pode ser inferior a 50% da área de cobertura disponível, com exposição solar adequada. O REH permite a dispensa da instalação de coletores solares térmicos se, em alternativa ou complementaridade, forem instalados outros sistemas de energia renovável (por exemplo fotovoltaica, eólica, geotérmica) que captem energia equivalente à que seria captada pelos coletores solares térmicos.

A energia solar fotovoltaica permite converter energia solar em eletricidade. Este sistema teve como primeiras aplicações significativas a aplicação numa casa isolada e em sistemas de bombagem [16]. Hoje em dia há cada vez mais aplicações onde se usa este sistema, que se podem dividir em dois grupos. O grupo das instalações isoladas da rede elétrica, onde se destacam a eletrificação rural e as aplicações agrícolas, como as bombas de água, sistemas de rega, iluminação, entre outros. Também é aplicada no campo da sinalização e comunicação, em aplicações direcionadas para a navegação aérea e marítima, como faróis, semáforos, indicadores na sinalização rodoviárias e ferroviária, repetidores de sinal rádio, entre outros [16]. No que diz respeito ao grupo das instalações ligadas à rede elétrica, estas podem ser centrais fotovoltaicas ou instalações integradas ou sobrepostas nos edifícios, como na fachada e na cobertura [16].

Este sistema é geralmente constituído por painéis fotovoltaicos que fazem a conversão direta da luz solar para eletricidade, a um nível atómico. A luz solar é composta de fótons ou partículas de energia solar, estes elementos possuem diferentes quantidades de energia, dependendo do comprimento de onda do espectro solar. Alguns materiais possuem propriedades que proporcionam um efeito conhecido com “efeito fotovoltaico” que faz absorver fótons e libertar eletrões. Quando estes eletrões são capturados é originada uma corrente elétrica que pode ser usada como eletricidade. A corrente elétrica que se cria nos painéis ainda não se encontra pronta para uso doméstico já que a grande maioria dos aparelhos domésticos utiliza corrente alternada e a corrente gerada pelos painéis solares fotovoltaicos é corrente contínua. Por este motivo, torna-se necessário utilizar um inversor de corrente, designado por DC/AC [21].

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser distinguidos quanto ao seu objetivo de produção, por exemplo [21]:

- i. Unidades de Pequena Produção (UPP): o seu objetivo é libertar a energia produzida diretamente na rede elétrica de serviço público,

- ii. Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC): o seu principal objetivo é o fornecimento de energia ao edifício. Este sistema poderá incluir um conjunto de baterias de armazenamento de energia elétrica.

A principal vantagem deste sistema é que pode ser implementado na cobertura do edifício, bem como na fachada ou em terreno existente em redor do edifício ou mesmo nas imediações deste.

2.4. Requisitos a adotar em Portugal

De acordo com a Diretiva 2010/31/EU, o desempenho energético de um edifício é determinado com base na energia anual calculada ou efetivamente consumida para satisfazer as diferentes necessidades associadas à sua utilização típica e reflete a necessidade de energia de aquecimento e de energia de arrefecimento (energia necessária para evitar o sobreaquecimento) para manter as condições de referência das temperaturas previstas para o edifício (inverno e verão), bem como as necessidades para a preparação de água quente para uso doméstico. Este desempenho tem que ser transparente e incluir um indicador de desempenho energético, bem como um indicador numérico da utilização de energia primária, em função de fatores de energia primária, podendo tornar-se como base as medidas anuais ponderadas, nacionais ou regionais, ou um valor específico para a produção “*in situ*” [12].

Os Estados Membros (EM) têm que assegurar que a partir de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios de energia quase nula e que após 2018 os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam também edifícios de energia quase nula. Os EM ficam ainda com a responsabilidade de elaborarem planos nacionais para cumprir as necessidades de redução da dependência energética e de redução das emissões de gases com efeito estufa e também de aumentar o número de edifícios de energia quase nula, sendo que podem incluir nos edifícios abrangidos as grandes renovações. Os planos nacionais devem incluir, ainda [10]:

- i. O indicador numérico da utilização de energia primária ($\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2$),
- ii. Objetivos para melhorar o desempenho energético,
- iii. Informações políticas e medidas para incentivar a criação de edifícios com necessidades quase nulas de energia.

As diferentes condições climáticas nos países da UE deverão ser tidas em conta na altura da definição dos requisitos a adotar para os nZEB. Caracterizar o equilíbrio das necessidades de energia de aquecimento e arrefecimento é um ponto importante para os edifícios de alto desempenho. No norte da Europa, é possível alcançar condições de conforto no verão muito facilmente, concentrando-se o esforço de projeto na redução da necessidade de energia para aquecimento. No entanto, no sul da Europa, onde está incluído Portugal, devido às temperaturas elevadas no verão (Fig. 2.6) e à radiação solar, esse equilíbrio deve incluir as necessidades de energia de aquecimento e arrefecimento [3].

Em climas quentes, o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é relativamente baixo, situando-se normalmente entre 15 e 30 kWh/(m².ano) e pode ser satisfeito mais facilmente que as necessidades de arrefecimento. É possível reduzir as necessidades de aquecimento, mesmo que os vários parâmetros de projeto não estejam otimizados, bastando reduzir a condutividade e a infiltração da envolvente [3].

Vários países europeus optaram pelo padrão “*Passive House*” e assim garantem que as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento sejam menores de 15 kWh/(m².ano), mas na maioria das vezes o padrão “*Passive House*” é visto como um projeto de alta tecnologia em abordagens de construção, sendo assim não é viável em toda a Europa. Assim, pode-se afirmar que o desafio de implementar e cumprir os requisitos de desempenho dos edifícios de energia quase nula é alto [3].

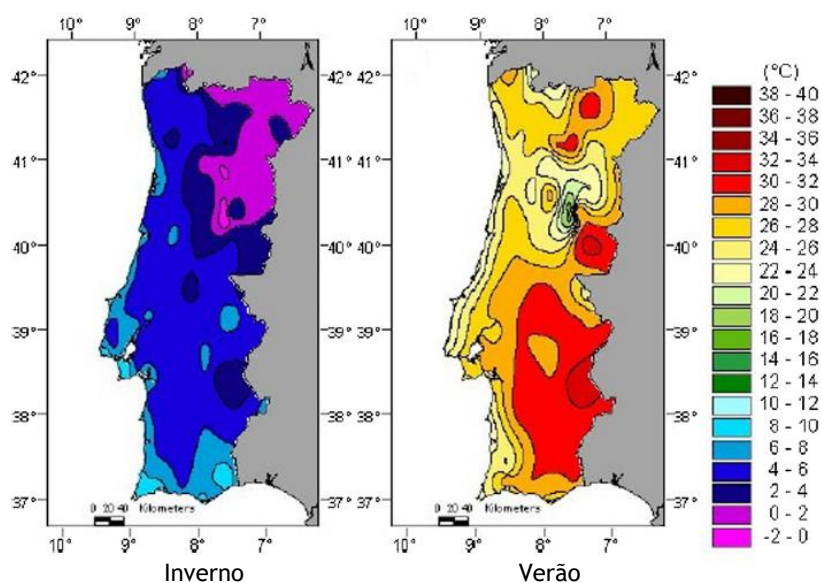


Figura 2.6. Temperaturas em Portugal continental observadas entre 1961 e 1990 [3]

Segundo o artigo “*Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe*” do autor Shady Attia et al. [3], o padrão “*Passive House*” não é considerado como referência em Portugal, nem nos países do sul da Europa, devido à dependência de ventilação mecânica com recuperação de calor e alta estanquidade na envolvente do edifício. Devido aos invernos suaves, em grande parte do país, o investimento nos requisitos “*Passive House*” na maioria das vezes não é rentável, quando se considera apenas os custos de aquecimento [3].

O autor Shady Attia et al., no artigo “*Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe*” [3] revela que estudos recentes sobre o desempenho térmico em Portugal e o risco de sobreaquecimento utilizando o fator de utilização dos ganhos térmicos demonstram, segundo a atual regulamentação térmica, que é possível conseguir conforto térmico interior por meios passivos e pela ação dos ocupantes durante o período de verão.

No mesmo artigo são sugeridos limites de desempenho nZEB para implementar nos Estados Membros do Sul da Europa. Para Portugal foram sugeridos valores para as três zonas climáticas [3], que se apresentam na Tabela 1. Para as zonas climáticas de inverno, I1, I2 e I3, as necessidades de aquecimento são 30, 40 e 70 kWh/(m².ano), respetivamente. Para as zonas climáticas de verão, V1, V2 e V3, as necessidades de arrefecimento são de 0, 15 e 30 kWh/(m².ano), respetivamente. Os valores sugeridos podem já ter sido alcançados em algumas habitações com classe energética A⁺ no âmbito do REH. A única questão é se a energia que os edifícios estão a usar é renovável. Os valores da Tabela 1 serão usados na presente dissertação.

Tabela 2.1. - Sugestão para o limite de desempenho do nZEB para Portugal [3]

Zona Climática	Eficiência energética Mínima		Energia Primária kWh _{EP} /m ² .ano
	Necessidade de energia para aquecimento kWh/(m ² .ano)	Necessidade de energia para arrefecimento kWh/(m ² .ano)	
1	30	0	
2	40	15	33
3	70	30	

3. Caso de Estudo

3.1. Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma descrição do edifício em estudo e as alterações realizadas para atingir os objetivos propostos, bem como todas as hipóteses de alteração que foram analisadas e a respetiva justificação.

3.2. Caracterização do edifício

3.2.1. Descrição geral

O edifício em estudo trata-se de uma moradia isolada de tipologia T3, com área útil de pavimento de 141,53 m² e pé-direito de 2,81 m, com dois pisos acima da cota da soleira e uma garagem adjacente ao edifício. O rés-do-chão é constituído por uma sala, uma cozinha, uma despensa, um escritório, uma instalação sanitária, circulações interiores e um caixa de escadas com acesso ao 1º andar. O primeiro andar é constituído por dois quartos, um vestiário, uma instalação sanitária e circulações interiores.

O edifício localiza-se no concelho da Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 505 m (zona climática I2-V3), sem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a envolvente.

3.2.2. Caracterização dos espaços não úteis

Para delimitar a envolvente interior do edifício em estudo, foram analisados quatro espaços não úteis:

- i. Cobertura sob o desvão 1;
- ii. Cobertura sob o desvão 2;
- iii. Desvão sanitário;
- iv. Garagem.

Os desvãos 1 e 2 estão localizados na parte superior do edifício, são espaços não habitados, fortemente ventilados e não acessíveis, assim assume-se um valor de b_{tr} de 1, para ambos os desvãos.

O desvão sanitário localiza-se na parte inferior do edifício e acompanha toda a área de implantação do edifício, admitindo que é fortemente ventilado também assume um valor de b_{tr} de 1.

A garagem é adjacente ao edifício, também constitui um espaço não habitado. Devido a ausência de aberturas permanentemente abertas assume-se fracamente ventilado. O valor de b_{tr} é assumido de acordo com o Despacho nº 15793-K/2003, a partir da relação entre A_i/A_u que é de 0,34, assumindo-se também para este espaço não útil um valor de b_{tr} de 1.

As Fig. 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam a identificação e localização de cada espaço não útil e a delimitação da envolvente, onde o amarelo representa os elementos da envolvente interior com requisitos de exterior, ou seja, os que apresentam b_{tr} superior a 0,70 e a vermelho os elementos da envolvente exterior.

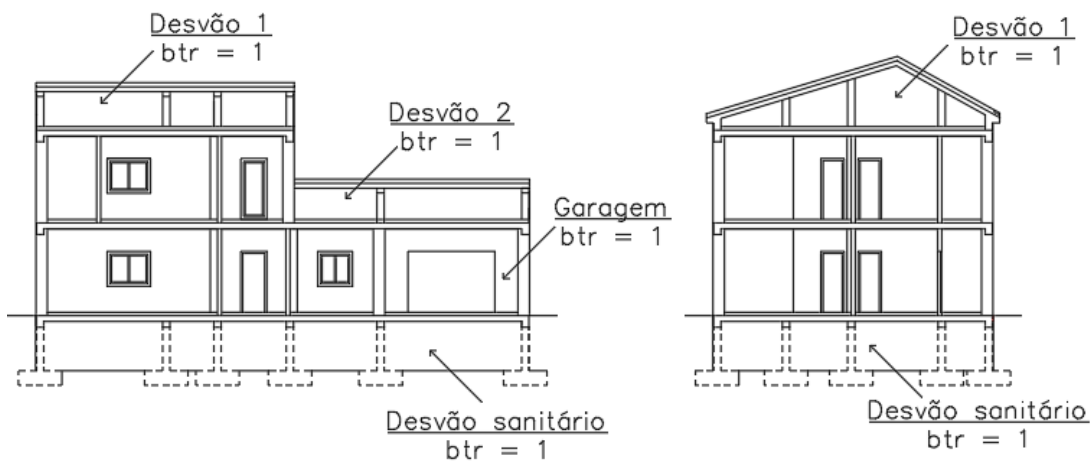


Figura 3.1. Identificação dos espaços não úteis

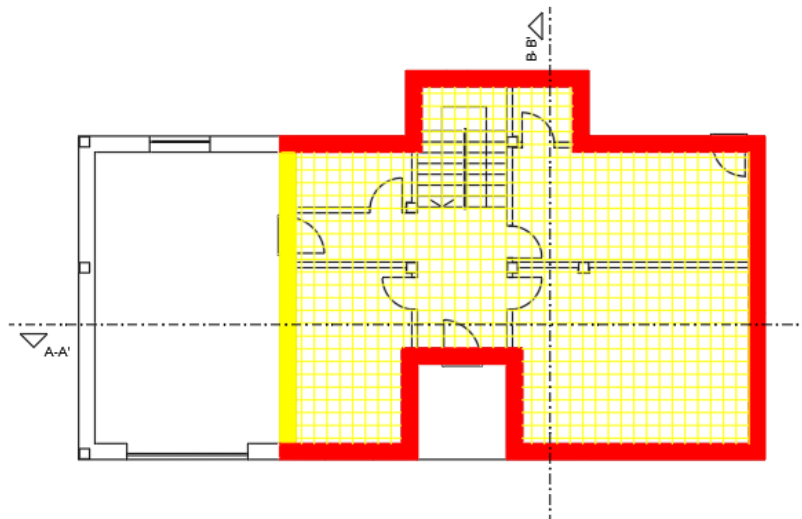


Figura 3.2. Delimitação da envolvente no piso 0

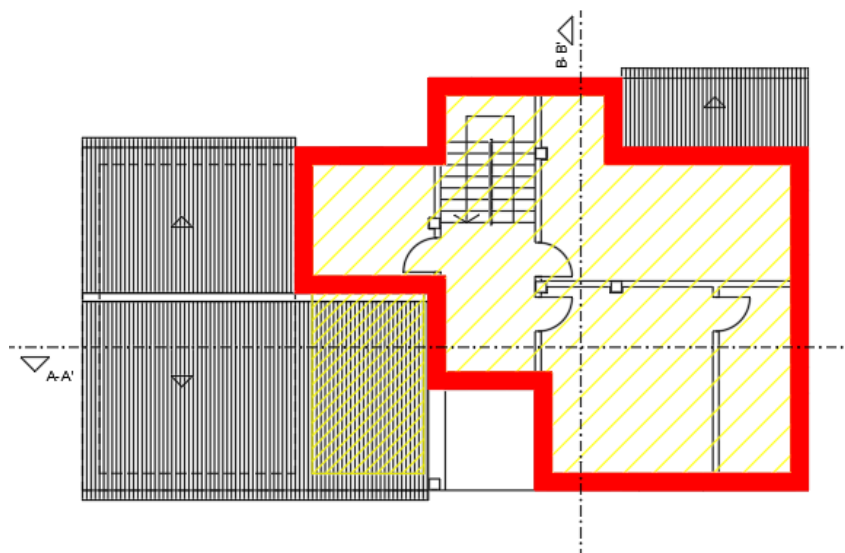
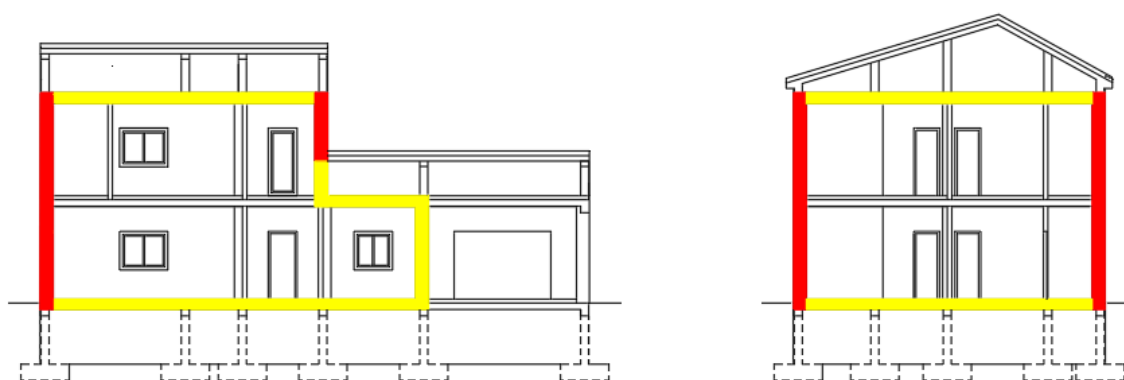


Figura 3.3. Delimitação da envolvente no piso 1



Envolvente CORTE A-A'

Envolvente CORTE B-B'

Figura 3.4. Delimitação da envolvente em corte

3.2.3. Caracterização das necessidades energéticas

Este edifício foi projetado à luz do REH utilizando o “Roadmap 2016”, com classe energética A+. Os valores das necessidades energéticas obtidos encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Necessidades energéticas iniciais

N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	65,75	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	7,55	N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	17,64
N_i [kWh/(m ² .ano)]	84,57	N_v [(kWh/(m ² .ano)]	15,17	N_t [(kWh _{EP} /(m ² .ano)]	126,54

3.3. Proposta de alteração

A proposta de alteração para melhorar o desempenho energético vai em conta à necessidade de reduzir as necessidades nominais de energia útil de aquecimento para um valor abaixo de

40 kWh/(m².ano), como referido no capítulo anterior, sem ultrapassar os 15 kWh/(m².ano) para as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento e os 33 kWh_{EP}/(m².ano) para as necessidades nominais de energia primária.

Com o intuito de atingir esses objetivos foram estudadas 5 medidas, das quais as primeiras quatro têm como objetivo principal diminuir o valor de N_{ic} . A quinta tem como objetivo diminuir o valor de N_{tc} , visto que este estudo tem como principal objetivo alcançar um edifício de energia quase zero, há necessidade de reduzir este valor, sendo que não se está a estudar um limite específico.

- i. A Medida 1 passa por substituir os vãos envidraçados e as portas da habitação, por elementos com melhor desempenho energético;
- ii. A Medida 2 passa por substituir o isolamento presente na caixa-de-ar por isolamento pelo exterior;
- iii. A Medida 3 passa por colocar um teto falso que permite diminuir as pontes térmicas planas devido às vigas;
- iv. A Medida 4 passa por aumentar o isolamento nos pavimentos;
- v. A Medida 5 passa por substituir os sistemas técnicos por sistemas mais eficientes.

3.3.1. Medida 1

Como referido anteriormente, esta medida tem o intuito de baixar o valor de N_{ic} , substituindo os vãos envidraçados e as portas, tanto interiores como exteriores, visto que estes elementos são dos mais importantes quando se analisa as perdas e os ganhos solares.

Num estudo inicial de desempenho energético para esta habitação, que apresentada onze vãos envidraçados (EEV1 a EEV11) estavam colocadas em dez dos onze vãos (EEV1 a EEV10) janelas com caixilharia plástica, com vidro duplo incolor com 6+16+5 mm, sem quadrícula e com proteção exterior feita através de persianas de régua plástica de cor clara. Este sistema apresenta um valor de U_{wdn} de 2,1 W/(m².°C). Para o outro vão envidraçado (EEV11), também foi aplicada uma janela com caixilharia plástica, sem quadrícula e com proteção exterior feita através de persianas de réguas plásticas de cor clara, já o vidro era triplo com 5+10+4+10+4 mm, também incolor. Este sistema apresenta um U_{wdn} de 1,68 W/(m².°C).

Para conseguir baixa o N_{ic} é necessário reduzir o valor do coeficiente de transmissão térmica destes elementos, sendo assim a proposta de alteração consiste em substituir todos os vãos envidraçados por outros mais eficientes, neste caso, janelas com caixilhariadas em PVC, com corte térmico, com vidro duplo incolor com 4+16+4 (low ϵ) mm e sem quadrícula. A proteção exterior mantêm-se. Este sistema apresenta um valor de U_{wdn} de 0,9 W/(m².°C).

A Tabela 3.2 apresenta a área total dos vãos, os valores do coeficiente de transmissão térmica inicial e o da proposta, bem como a redução dos coeficientes em percentagem.

Tabela 3.2. Caracterização dos vãos envidraçados das duas propostas

Orientação	Sul	Este	Norte	Norte
Denominação	EEV1 a EEV4	EEV5 a EEV7	EEV8 a EEV10	EEV11
Área total [m ²]	6,93	6,93	3,72	1,49
$U_{wdn, inicial}$ [W/(m ² .°C)]	2,10	2,10	2,10	1,68
$U_{wdn, proposta}$ [W/(m ² .°C)]	0,9	0,9	0,90	0,9
Redução de U_{wdn} %	57,14	57,14	57,14	46,43

Para além, da substituição dos vãos envidraçados foi analisada a alteração da localização dos mesmos, estes foram colocados um pouco mais no interior da parede da habitação, passando assim a sua permeabilidade ao ar, de baixa, como estava na proposta inicial, para sem permeabilidade ao ar, o que implica uma redução da taxa de renovações de ar de 0,56 para 0,52. As Fig. 3.5 e 3.6 mostram a localização do vão envidraçado inicial e a da proposta apresentada no presente trabalho.

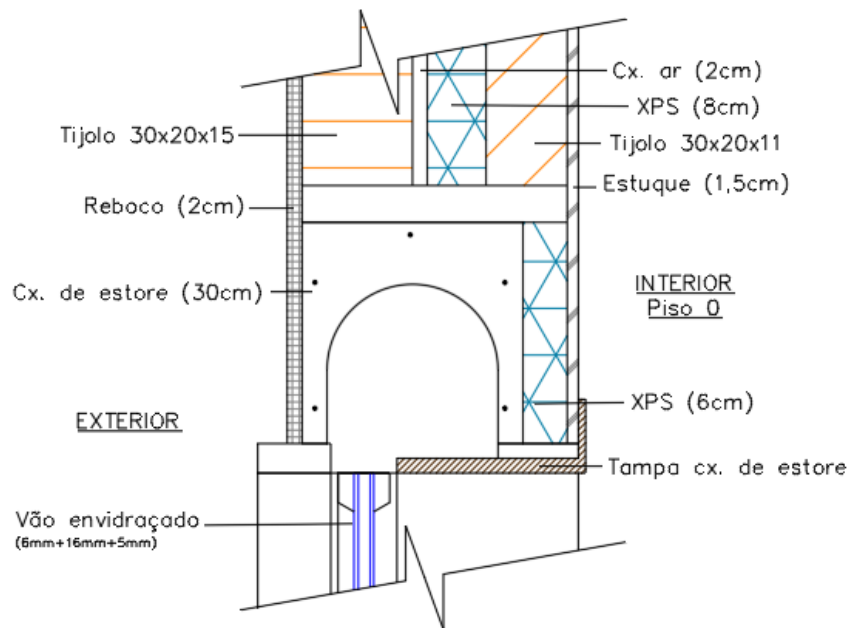


Figura 3.5. Exemplo de pormenor construtivo do vão envidraçado da proposta inicial

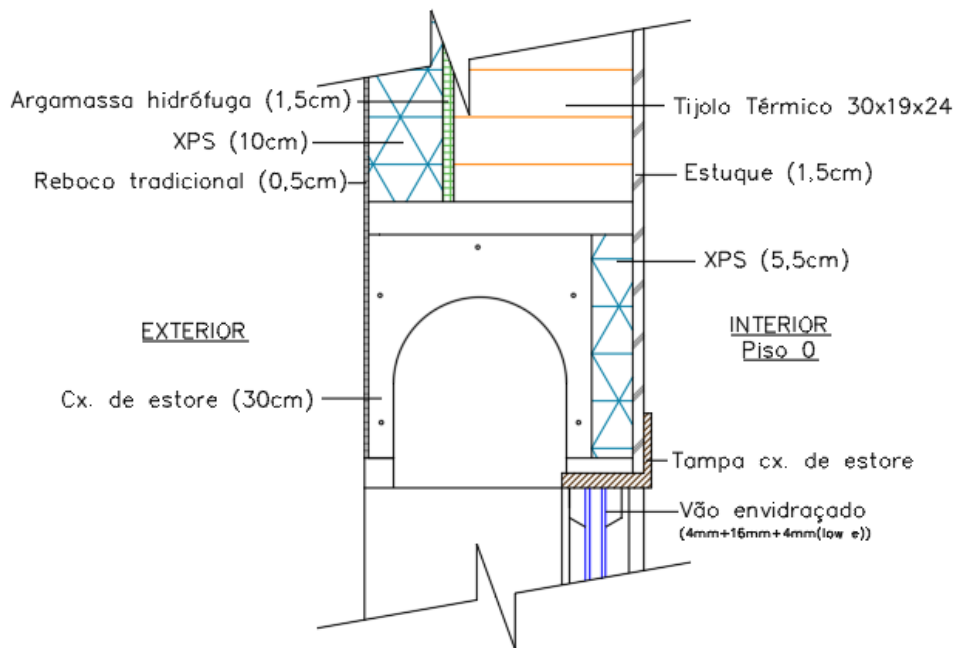


Figura 3.6. Exemplo de pormenor construtivo do vão envidraçado da proposta de alteração

Ainda no que diz respeito aos vãos envidraçados, existem outras análises de elementos que são importantes e se enquadram nesta medida, como as pontes térmicas planas, devido à caixa de estore, PPE2, e as pontes térmicas lineares que fazem a ligação da fachada com a caixa de estore, PLG1.

Analisando as PPE2, como se pode ver na Fig. 3.1 o isolamento presente na caixa de estore diminuiu 2 cm, isso deve-se a diminuição da espessura da parede exterior. Assim o valor do coeficiente de transmissão térmica, U , da ponte térmica plana devido à caixa de estore, PPE2, aumentou. A Tabela 3.3 apresenta a área total da PPE2, os valores de U inicial e o da proposta de alteração, bem como o aumento de U em percentagem.

Tabela 3.3. Caracterização da PPE2 das duas propostas

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,11	1,77	1,44	0
$U_{inicial}$ [W/(m ² .°C)]	0,351	0,351	0,351	0,351
$U_{proposta}$ [W/(m ² .°C)]	0,725	0,725	0,725	0,725
Aumento de U em %	106,55	106,55	106,55	106,55

A PLG1, mantém o valor do coeficiente de transmissão térmica linear, Ψ , pois segundo o Despacho 15793-K/2013, este valor mantém-se constante qualquer que seja a localização do isolamento.

A Tabela 3.4 mostra o desenvolvimento e o valor de ψ das duas propostas.

Tabela 3.4. Caracterização da PLG1 das duas propostas

PLG1	Desenvolvimento Linear [m]	13,80
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,30
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,30
	Redução de ψ %	0

Também, ainda enquadrada nesta medida foram substituídas as portas da envolvente da habitação. A habitação em estudo tem três portas que pertencem à envolvente do edifício, e por esse motivo contribuem para o desempenho energético, duas das portas pertencem à envolvente exterior e outra à envolvente interior.

As portas da envolvente exterior, POE1, orientada a Sul, e POE2, orientada a Norte, apresentavam inicialmente um U de 3,3 W/(m².°C) o que para a legislação em vigor já é acima do recomendado. Assim, substituiu-se a porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro por uma porta com valor de U de 1,2 W/(m².°C), constituída por um aro fixo de alumínio com rutura térmica de 63 mm e um aro móvel em alumínio com rutura térmica de 75 mm, possuindo ainda um sistema de aro móvel oculto com isolamento térmico e acústico em poliuretano.

A porta da envolvente interior, POI1 em contacto com a garagem, na proposta inicial tinha as mesmas características que a porta exterior, optou-se assim por colocar uma porta interior igual às propostas para o exterior.

A Tabela 3.5 apresenta a área total das portas, os valores do coeficiente de transmissão térmica inicial e o da proposta, bem como a redução dos coeficientes em percentagem.

Tabela 3.5. Caracterização das portas das duas propostas

Orientação	Norte	Sul	Norte
Denominação	POE1	POE2	POI1
Área total [m ²]	1,68	1,89	1,89
$U_{wdn, inicial}$ [W/(m ² .°C)]	3,30	3,30	3,30
$U_{wdn, proposta}$ [W/(m ² .°C)]	1,2	1,2	1,20
Redução de U_{wdn} %	63,63	63,63	63,63

Ao aplicar esta medida no edifício inicial obtém-se as necessidades energéticas presentes na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 1

	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
Necessidades energéticas do edifício inicial	65,75	7,55	17,64
Necessidades energéticas do edifício após a aplicação da medida 1	51,07	10,74	20,29
	Redução de 22,33 %	Aumento de 42,25%	Aumento de 15,02 %

3.3.2. Medida 2

A parede exterior, PRE1, é o elemento da envolvente com maior área e por este motivo o que implica um maior impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, sendo que o objetivo principal é reduzir o N_{ic} , é necessário que o U deste elemento reduza, tal como foi feito para os vãos envidraçados. Assim, após uma análise preliminar da localização do isolamento que mais beneficiaria a descida deste parâmetro, chegou-se à conclusão que seria o isolamento exterior, pois reduzindo o valor de U de todos os elementos da envolvente de igual forma para as três possíveis localizações do isolamento, foi este o primeiro a alcançar os valores das necessidades energéticas pretendidos.

Inicialmente analisou-se de forma superficial duas possibilidades para conseguir reduzir o N_{ic} :

- i. colocação adicional de isolamento pelo exterior, deixando o que está presente na caixa-de-ar da proposta inicial;

- ii. ou substituir todos os elementos que formam a parede exterior e colocar apenas isolamento pelo exterior.

Tendo em vista as duas possibilidades anteriores, optou-se pela última, visto que a primeira iria implicar um aumento significativo da espessura da parede, conseguindo o mesmo valor U ou aproximado se todos os elementos fossem substituídos.

A solução escolhida, além de implicar uma alteração dos parâmetros que caracterizam as paredes exteriores, vai implicar alteração de parâmetros que caracterizam outros elementos, como as pontes térmicas planas e lineares.

O primeiro elemento a ser analisado é a parede exterior, PRE.

Inicialmente, a parede tinha a seguinte composição (do interior para o exterior):

- i. Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C);
- ii. Tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m².°C/W;
- iii. Isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C);
- iv. Espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica 0,170 m².°C/W;
- v. Tijolo furado (15 cm) com resistência térmica 0,39 m².°C/W;
- vi. Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

Como proposta de alteração sugere-se a seguinte composição da PRE (do interior para o exterior):

- i. Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C);
- ii. Tijolo furado térmico (24 cm) com resistência térmica de 1,07 m².°C/W;
- iii. Argamassa hidrófuga (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,11 W/(m.°C);
- iv. Isolante térmico XPS (10 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C);
- v. Reboco exterior em argamassa tradicional (0,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

Com esta alteração além de se diminuir o valor de U, também se diminuiu a espessura da parede de 38,5 cm para 37,5 cm. Na Tabela 3.7 é apresentada a área das paredes, a sua orientação, os valores de U das duas propostas, bem como a redução do valor de U em percentagem.

Tabela 3.7. Caracterização das PRE1 das duas propostas

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	46,21	43,76	40,97	23,76
$U_{inicial}$ [W/(m ² .°C)]	0,311	0,311	0,311	0,311
$U_{proposta}$ [W/(m ² .°C)]	0,250	0,250	0,250	0,250
Redução de U %	19,61	19,61	19,61	19,61

Com esta alteração, como já tinha sido referido, as pontes térmicas planas e lineares vão sofrer alterações no seu valor de U.

Existe apenas uma ponte térmica plana que é influenciada por esta alteração, a ponte térmica devido às vigas e pilares, PPE1. Inicialmente esta ponte térmica plana era constituída por (do interior para o exterior):

- i. Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C);
- ii. Tijolo furado (7 cm) com resistência térmica de 0,19 m².°C/W;
- iii. Isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C);
- iv. Pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C);
- v. Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

Devido à largura da viga ou pilar de 25 cm foi necessário reduzir o isolamento em relação ao presente na parede exterior, obtendo a seguinte solução (do interior para o exterior):

- i. Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C);
- ii. Pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C);
- iii. Argamassa hidrófuga (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,11 W/(m.°C);
- iv. Isolante térmico XPS (9 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C);
- v. Reboco exterior em argamassa tradicional (0,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

Com esta alteração alcançou-se o objetivo inicial de redução o valor de U, como é demonstrado na Tabela 3.8, que também mostra a área deste elemento em cada orientação, bem como o valor de U das duas propostas.

Tabela 3.8. Caracterização das PPE1 das duas propostas

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área Inicial[m ²]	4,94	5,18	4,12	2,42
$U_{inicial}$ [W/(m ² .°C)]	0,618	0,618	0,618	0,618
$U_{proposta}$ [W/(m ² .°C)]	0,359	0,359	0,359	0,359
Redução de U %	41,91	41,91	41,91	41,91

No que diz respeito às pontes térmicas lineares, são sete as presentes neste edifício e que são influenciadas por esta medida, a ponte térmica linear devido à ligação:

- i. do pavimento sobre espaços não uteis, PLB1;
- ii. da fachada com pavimentos intermédios, PLC1;
- iii. da fachada com coberturas sobre desvãos não uteis, PLD1;
- iv. da fachada com a varanda, PLE1;
- v. entre duas paredes verticais, PLF1;
- vi. da fachada com as ombreiras, a padeira e o peitoril, PLH1.

Todas estas pontes térmicas lineares são influenciadas pelo o isolamento ser feito pelo exterior e não na caixa-de-ar.

No entanto, a PLH1, que inicialmente era apenas uma passou a duas, PLH1 e PLH2. Isto, deve-se, à possibilidade de colocar as ombreiras dos vãos envidraçados em contacto com o isolamento, visto que o isolamento vai ser colocado por fora, assim a PLH1 designa o perímetro em contacto com o isolamento, neste caso as ombreiras, e a PLH2, as padieiras e peitoris que não estão em contacto com o isolamento.

Da Tabelas 3.9 à 3.14 é demonstrado o desenvolvimento linear de cada ponte térmica linear bem como os valores de Ψ das duas propostas.

Tabela 3.9. Caracterização da PLB1 das duas propostas

PLB1	Desenvolvimento Linear [m]	34,31
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,75
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,55
	Redução de ψ %	26,67

Tabela 3.10. Caracterização da PLC1 das duas propostas

PLC1	Desenvolvimento Linear [m]	64,39
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,5
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,15
	Redução de ψ %	70,00

Tabela 3.11. Caracterização da PLD1 das duas propostas

PLD1	Desenvolvimento Linear [m]	36,37
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	1,0
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,7
	Redução de ψ %	30,00

Tabela 3.12. Caracterização da PLE1 das duas propostas

PLE1	Desenvolvimento Linear [m]	2,11
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,55
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,60
	Aumentou de ψ %	9,09

Tabela 3.13. Caracterização da PLF1 das duas propostas

PLF1	Desenvolvimento Linear [m]	40,12
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,50
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,40
	Redução de ψ %	20,00

Tabela 3.14. Caracterização das PLH das duas propostas

PLH1	Desenvolvimento Linear [m]	59,34
	ψ [W/(m.°C)]	0,25
PLH1	Desenvolvimento Linear [m]	33,54
	ψ [W/(m.°C)]	0,1
	Redução de ψ %	60,00
PLH2	Desenvolvimento Linear [m]	25,80
	ψ [W/(m.°C)]	0,25
	Redução de ψ %	0

Anteriormente foram analisados os elementos que fazem parte da envolvente exterior, mas também os elementos da envolvente interior foram igualmente alterados, fazendo parte desses elementos, também as paredes, as pontes térmicas planas e as pontes térmicas lineares.

Existem duas paredes interiores, PRI1, que fazem parte da envolvente, uma em contacto com a garagem, outra em contacto com o desvão da cobertura, ambas têm constituição inicial que a parede exterior e a proposta de alteração é igual à das paredes exteriores. Obtendo o valor de U que se encontra na Tabela 3.15.

Tabela 3.15. Caracterização das PRI1 das duas propostas

	Em contacto com a garagem	Em contacto com o desvão
Área [m ²]	16,12	4,06
$U_{inicial}$ [W/(m ² .°C)]	0,303	0,303
$U_{proposta}$ [W/(m ² .°C)]	0,245	0,245
Redução de U %	19,14	19,14

No que diz respeito às pontes térmicas planas, estas são divididas em dois grupos:

- i. as que estão ao nível do piso intermédio, PPI1;
- ii. e as que dizem respeito ao teto de um desvão, que se encontram a meio de uma parede interior, PPI2.

As Fig. 3.2 e 3.3, mostram um pormenor construtivo de cada uma destas pontes térmicas.

As pontes térmicas planas da envolvente interior, sofreram as mesmas alterações que as pontes térmicas planas da envolvente exterior.

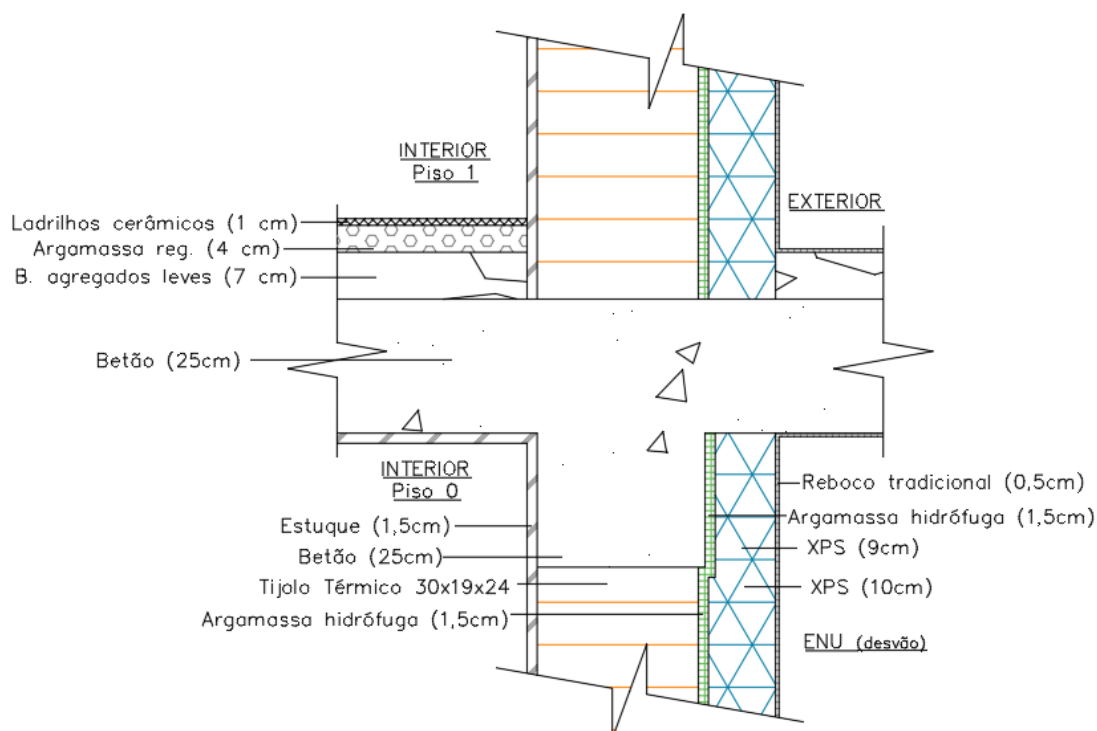


Figura 3.7. Exemplo de pormenor construtivo da PPI1 da proposta de alteração

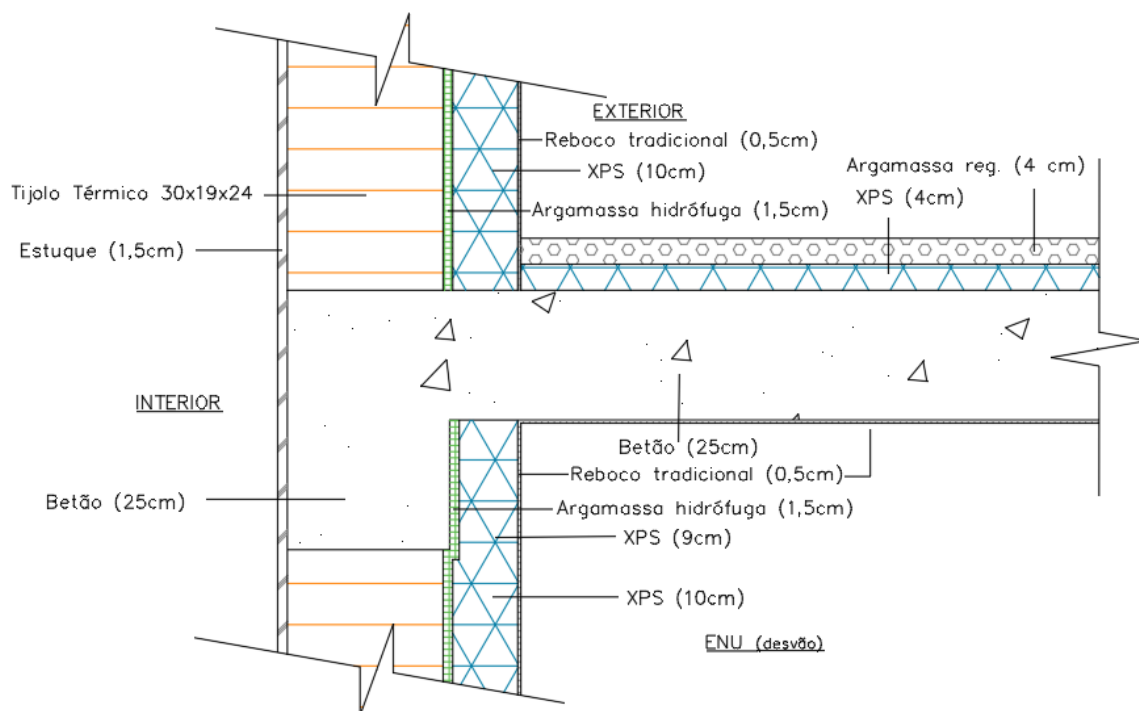


Figura 3.8. Exemplo de pormenor construtivo da PPI2 da proposta de alteração

A Tabela 3.16 apresenta as áreas das duas pontes térmica planas, os valores de U das duas soluções, bem como a percentagem de redução do valor de U.

Tabela 3.16. Caracterização das PPI das duas propostas

	PPI1	PPI2
Área [m ²]	4,06	1,96
$U_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,585	0,585
$U_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,348	0,348
Aumento de U em %	41,51	41,51

As pontes térmicas lineares da envolvente interior acontecem devido à ligação entre:

- i. a fachada e o pavimento sobre o espaço não útil, PLB1i;
- ii. a fachada e a cobertura sob o desvão não útil, PLD1i;
- iii. a fachada e a varanda, PLE1i;
- iv. duas paredes verticais, PLF1i.

Tal como foi referido anteriormente, para as pontes térmicas lineares exteriores, estas também só sofreram alteração no seu coeficiente de transmissão linear devido à mudança do isolamento para o exterior, que neste caso se encontra nos espaços não úteis. As Tabelas 3.17, 3.19, 3.20, 3.21 mostram as alterações que sofreu esse coeficiente.

Tabela 3.17. Caracterização da PLB1i das duas propostas

PLB1i	Desenvolvimento Linear [m]	6,97
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,75
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,55
	Redução de ψ %	26,67

Tabela 3.18. Caracterização da PLD1i das duas propostas

PLD1i	Desenvolvimento Linear [m]	6,97
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	1,0
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,8
	Redução de ψ %	20,00

Tabela 3.19. Caracterização da PLE1i das duas propostas

PLE1i	Desenvolvimento Linear [m]	4,48
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,55
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,60
	Aumento de ψ %	9,09

Tabela 3.20. Caracterização da PLF1i das duas propostas

PLF1i	Desenvolvimento Linear [m]	5,73
	$\psi_{inicial}$ [W/(m.°C)]	0,50
	$\psi_{proposta}$ [W/(m.°C)]	0,40
	Redução de ψ %	20,00

Quando se aplica esta medida isolada no edifício obtém-se as necessidades energéticas apresentadas na Tabela 3.21.

Tabela 3.21. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 2

	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
Necessidades energéticas do edifício inicial	65,75	7,55	17,64
Necessidades energéticas do edifício após a aplicação da medida 2	49,23	9,06	18,90
	Redução de 25,13 %	Aumento de 20,00%	Aumento de 7,14 %

3.3.3. Medida 3

A colocação do teto falso foi uma medida pensada para diminuir as pontes térmicas planas, mas também vai ter influência no coeficiente de transmissão térmica das coberturas.

Tendo em conta o pé direito da habitação, 2,87 m, não existe qualquer problema na colocação do teto falso, pois existe espaço para esta aplicação. Sendo que o intuito da colocação é a diminuição da área das pontes térmicas planas, colocou-se 21,5 cm de teto falso, composto por 20 cm de lã de rocha e 1,5 cm de placas de gesso cartonado, sendo a lã de rocha vai cobrir toda a ponte térmica devido à viga e as placas de gesso cartonado vão servir de suporte.

Antes desta aplicação, as coberturas interiores apresentavam: 1,5 cm de estuque, 25 cm da laje de betão e 12 cm de isolamento térmico XPS. Devido à aplicação de lã de rocha optou-se por excluir o XPS, pois não havia necessidade de colocar dois tipos de isolante térmico. Assim foi necessário calcular o novo U das coberturas interiores, que estão representadas na Tabela 3.22.

Tabela 3.22. Caracterização das CBI das duas propostas

	CBI1	CBI2
Área [m ²]	67,27	11,1
$U_{asc.,inicial}$ [W/(m.°C)]	0,275	0,275
$U_{desc.,inicial}$ [W/(m.°C)]	0,264	0,264
$U_{asc.,proposta}$ [W/(m.°C)]	0,185	0,185
$U_{desc.,proposta}$ [W/(m.°C)]	0,180	0,180
Redução de $U_{asc.}$ %	32,73	32,73
Redução de $U_{desc.}$ %	31,82	31,82

Com a colocação do teto falso, as áreas das pontes térmicas planas devido às vigas deixaram de fazer parte do cálculo. Na Tabela 3.23 é demonstrada a redução das áreas dessas pontes térmicas.

Tabela 3.23. Redução da área das pontes térmicas planas devido ao teto falso

Orientação	PPE1				PPI1	PPI2
	Norte	Sul	Este	Oeste	Espaço não útil	
Área Inicial[m ²]	4,94	5,18	4,12	2,42	4,06	1,96
Área da proposta	0,70	0,84	0,70	1,07	0	1,96

Com a alteração do isolamento, também as pontes térmicas lineares que fazem a ligação com a cobertura se alteraram, passando o isolamento de “sobre” para “sob” o pavimento, assim obtiveram-se os valores representados nas Tabelas 3.24 e 3.25.

Tabela 3.24. Alteração do valor de ψ da PLD1 devido à mudança de localização do isolamento

PLD1	Desenvolvimento Linear [m]	36,37
	ψ_{inicial} [W/(m.°C)]	1,0
	$\psi_{\text{isolamento sob o pavimento}}$ [W/(m.°C)]	0,60
	Redução de ψ em relação ao inicial %	40,00

Tabela 3.25. Alteração do valor de ψ da PLD1i devido à mudança de localização do isolamento

PLD1i	Desenvolvimento Linear [m]	6,97
	ψ_{inicial} [W/(m.°C)]	1,0
	$\psi_{\text{isolamento sob o pavimento}}$ [W/(m.°C)]	0,60
	Redução de ψ em relação ao inicial %	40,00

Ao aplicar-se as alterações desta medida no edifício inicial, obtém-se os valores para as necessidades energéticas apresentados na Tabela 3.26.

Tabela 3.26. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 3

	N_{ic} (kWh/(m ² .ano))	N_{vc} (kWh/(m ² .ano))	N_t (kWh _{EP} /(m ² .ano))
Necessidades energéticas do edifício inicial	65,75	7,55	17,64
Necessidades energéticas do edifício após a aplicação da medida 3	55,18	8,19	18,17
	Redução de 16,08 %	Aumento de 8,48 %	Aumento de 3,00 %

3.3.4. Medida 4

Esta é a última medida ao nível dos elementos que compõem a envolvente da habitação.

Os pavimentos estão divididos em dois tipos devido ao acabamento, em ladrilhos cerâmicos, PVI1, e em piso flutuante, PVI2.

Inicialmente os pavimentos eram compostos por:

- i. Ladrilhos cerâmicos (1,0 cm) e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C), no caso do PVI1 e acabamento de piso em pavimento flutuante (1,0 cm) com resistência térmica de 0,11 m².°C/W (ascendente) e 0,11 m².°C/W (descendente) no caso do PVI2;
- ii. Argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,8 W/(m.°C);
- iii. Betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,70 W/(m.°C);
- iv. Laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de 0,15 m².°C/W (ascendente) e 0,16 m².°C/W (descendente);
- v. Isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C).

A solução deste elemento passa apenas por aumentar o isolamento de 4 cm para 10 cm, o que implica uma redução do valor de U apresentado na Tabela 3.27.

Tabela 3.27. Caracterização dos PVI das duas propostas

	PVI1	PVI2
Área [m ²]	65,66	12,08
$U_{asc.,inicial}$ [W/(m.°C)]	0,641	0,601
$U_{desc.,inicial}$ [W/(m.°C)]	0,586	0,551
$U_{asc.,proposta}$ [W/(m.°C)]	0,314	0,304
$U_{desc.,proposta}$ [W/(m.°C)]	0,300	0,291
Diferença $U_{asc.}$ %	51,01	49,42
Diferença $U_{desc.}$ %	48,81	47,19

Se ao edifício inicial se aumentar 6 cm de isolamento nos pavimentos, sem qualquer outra medida adicional os valores obtidos para as necessidades energéticas são os apresentados na Tabela 3.28.

Tabela 3.28. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 4

	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
Necessidades energéticas do edifício inicial	65,75	7,55	17,64
Necessidades energéticas do edifício após aplicação da medida 4	59,75	8,22	18,20
	Redução de 9,12 %	Aumento de 8,87 %	Aumento de 3,18 %

3.3.5. Medida 5

Inicialmente a habitação em estudo, para suprir as necessidades de aquecimento dispunha de uma caldeira a combustível sólido (biomassa) que servia em 100% a habitação, com eficiência nominal de 0,9. Não possuía sistema de arrefecimento, que por defeito era considerado um sistema a eletricidade. Para produção de AQS era usado um esquentador a gás natural com eficiência nominal de 0,92, que servia a produção de AQS em 100%. Dispunha ainda de coletores solares com contribuição anual de 900 kWh/ano, que era usado em 100% para a produção de AQS.

Como proposta de alteração foi mantido o sistema da caldeira a biomassa para suprir as necessidades de aquecimento, mas optou-se por uma caldeira mais eficiente, neste caso com 0,92 de eficiência nominal, que tal como na proposta inicial serve 100% da habitação. Foi adicionado um sistema de ar condicionado multi-split para suprir as necessidades de arrefecimento com 6,10 EER, que serve a fração também em 100%, este sistema também pode

ser usado para suprir as necessidades de aquecimento, caso seja necessário, e nesse caso tem 4,19 de COP. Para a produção de AQS foi mantido o esquentador a gás natural, mas neste caso com eficiência de 0,87. Para auxiliar as necessidades energética da produção de AQS foram colocados dois coletores solares com uma contribuição anual de 2188 kWh/ano.

Ao se aplicar estes sistemas técnicos no edifício, sem qualquer outra medida adicional, as necessidades energéticas do edifício são as apresentadas na Tabela 3.29.

Tabela 3.29. Necessidades energéticas do edifício após aplicação da Medida 5

	N_{ic} (kWh/(m ² .ano))	N_{vc} (kWh/(m ² .ano))	N_t (kWh _{EP} /(m ² .ano))
Necessidades energéticas do edifício inicial	65,75	7,55	17,64
Necessidades energéticas do edifício após a aplicação da medida 5	65,75	7,55	7,83
	Redução de 0,00 %	Redução de 0,00 %	Redução de 55,61 %

4. Apresentação e discussão dos resultados

4.1. Introdução

O presente Capítulo tem como principal objetivo analisar os impactos de cada medida que foi estudada no Capítulo anterior e perceber quais são as medidas que causam mais impacto na análise das necessidades energéticas de um edifício.

Posteriormente, analisar-se-á quatro combinações, que incluem sempre a medida 5 para baixar ao máximo o valor de N_{tc} e escolher-se-á a melhor, tendo em conta o desempenho energético do edifício.

4.2. Análise individual das medidas

Cada uma das medidas analisadas isoladamente causou melhorias significativas no desempenho energético do edifício, como se pode observar na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Resumo da influência de cada medida no edifício original

	N_{ic}	N_{vc}	N_{tc}
Medida 1	Redução de 22,33%	Aumento de 42,25%	Aumento de 15,02%
Medida 2	Redução de 25,13%	Aumento de 20,00%	Aumento de 7,14%
Medida 3	Redução de 16,08%	Aumento de 8,48%	Aumento de 3,00%
Medida 4	Redução de 9,12%	Aumento de 8,87%	Aumento de 3,18%
Medida 5	Sem Influência	Sem Influência	Redução de 55,61%

Ao analisar o impacto das cinco medidas consideradas para este edifício na redução do N_{ic} , tem que se deixar de parte a medida 5, visto que esta medida não afeta o N_{ic} , pois este índice não depende dos equipamentos, mas apenas das soluções arquitetónicas e construtivas.

Assim, analisando as primeiras quatro medidas, existem duas que se destacam consideravelmente, a medida 1 e 2. A medida 1 destaca-se devido à redução das necessidades nominais anuais para aquecimento e, pela facilidade de substituição dos elementos estudados, esta pode ser facilmente aplicada na reabilitação de edifícios. Tem, no entanto, a grande desvantagem de aumentar demasiado as necessidades de arrefecimento, isto deve-se à inexistência de permeabilidade ao ar das janelas, o que leva a uma redução da taxa de renovações de ar por hora de 0,56 para 0,52. A medida 2 é destinada a edifícios feito de raiz, como é o caso de estudo, em reabilitações teria que se optar por isolamento adicional pelo exterior. Esta medida comparada com a anterior não teve um aumento tão significativo nas

necessidades de arrefecimento, esta medida não implica muitas desvantagens no que diz respeito ao desempenho energético. Assim seria esta a melhor medida para reduzir o N_{ic} .

4.3. Análise da combinação das medidas

Após a análise de todas as medidas estudadas, foram feitas combinações, como dito anteriormente. Estas combinações têm sempre em consideração a medida 5, visto que essa medida, apesar de não influenciar os valores de N_{ic} e N_{vc} , afeta o valor de N_{tc} , sendo este último indispensável para avaliar se o edifício cumpre os requisitos de um nZEB.

A Tabela 4.2. apresenta as medidas que compõem cada uma das combinações.

Tabela 4.2. Combinações estudadas

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
Combinação 1	✓	✓	×	×	✓
Combinação 2	✓	×	✓	✓	✓
Combinação 3	×	✓	✓	✓	✓
Combinação 4	✓	✓	✓	✓	✓

4.3.1. Combinação 1

Como foi demonstrado na Tabela 4.1, a combinação 1 contém as medidas 1, 2 e 5. Estas medidas foram aplicadas uma a uma no edifício inicial obtendo os valores presentes na Tabela 4.3. Na Fig. 4.1 também se pode analisar a influência de cada medida nas várias necessidades analisadas.

Tabela 4.3. Resumo da Combinação 1

	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
Inicial	65,75	7,55	17,64
Medida 1	51,07	10,74	20,29
Medidas 1 e 2	34,84	12,59	21,83
Medidas 1, 2 e 5	34,84	12,59	6,70

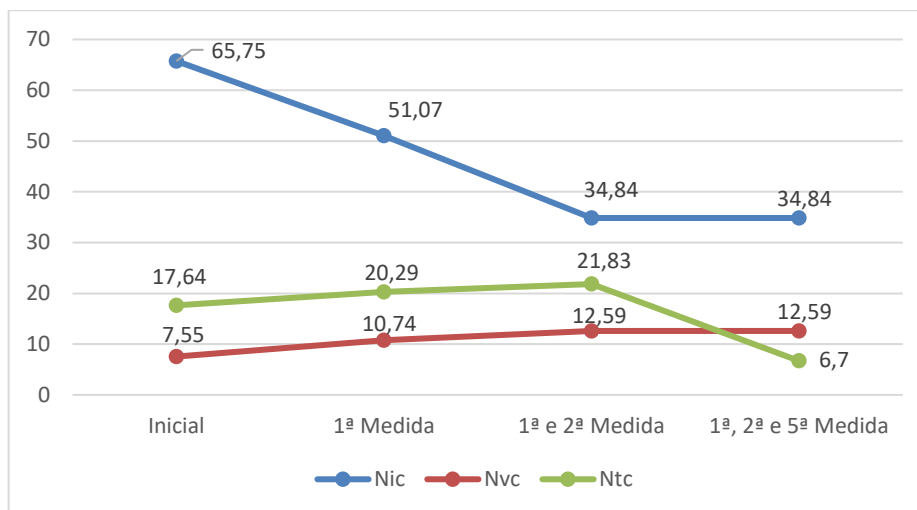


Figura 4.1. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 1

Ao analisar a Fig. 4.1 observa-se que as medidas 1 e 2 tiveram a mesma influência nas necessidades do edifício, ou seja, aumentaram o N_{vc} e o N_{tc} e diminuíram o valor do N_{ic} . A última medida teve o impacto previsto, que era diminuir o valor de N_{tc} . Com esta combinação conseguiu-se reduzir o N_{ic} em 47,01%, que era o principal objetivo, também diminuiu o N_{tc} em 62,02%, mas o N_{vc} aumentou 66,76%.

4.3.2. Combinação 2

Como foi demonstrado na Tabela 4.2, a combinação 2 contém todas as medidas estudadas exceto a 2. Estas medidas foram aplicadas uma a uma no edifício inicial obtendo os valores presentes na Tabela 4.4. Na Fig. 4.2 também se pode analisar a influência de cada medida nas várias necessidades analisadas.

Tabela 4.4. Resumo da Combinação 2

	N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N _{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
Inicial	65,75	7,55	17,64
Medida 1	51,07	10,74	20,29
Medidas 1 e 3	40,77	11,57	20,99
Medidas 1, 3 e 4	35,26	12,45	21,72
Medidas 1, 3, 4 e 5	35,26	12,45	6,64

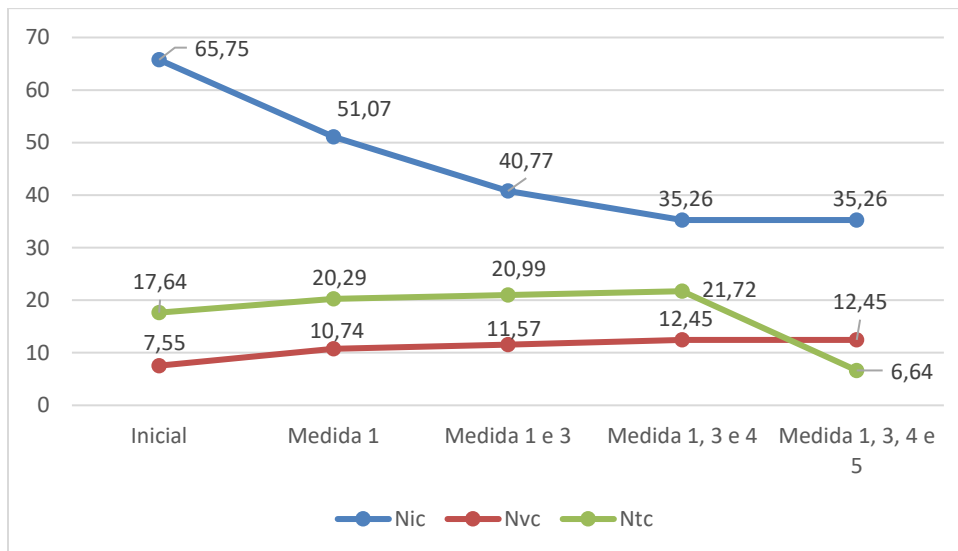


Figura 4.2. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 2

Ao analisar a Fig. 4.2, verifica-se que as medidas 1, 3 e 4 tiveram a mesma influência que as medidas aplicadas na combinação 1. A última medida teve o impacto previsto, que era diminuir o valor de N_{tc} . Com esta combinação conseguiu-se reduzir o N_{ic} em 46,37% e, como pretendido, também se diminuiu o N_{tc} em 62,36%, mas o N_{vc} aumentou 64,9%.

4.3.3. Combinação 3

Como foi demonstrado na Tabela 4.2 a combinação 3 contém todas as medidas expeto a 1. Estas medidas foram aplicadas uma a uma no edifício inicial obtendo os valores presentes na Tabela 4.5. Na Fig. 4.3 também se pode analisar a influência de cada medida nas várias necessidades analisadas.

Tabela 4.5. Resumo da Combinação 3

	N _{ic} [kWh/(m².ano)]	N _{vc} [kWh/(m².ano)]	N _{tc} [kWh _{EP} /(m².ano)]
Inicial	65,75	7,55	17,64
2ª Medida	49,23	9,06	18,90
2ª e 3ª Medida	43,19	9,36	19,14
2ª, 3ª e 4ª Medida	37,32	10,18	19,83
2ª, 3ª, 4ª e 5ª Medida	37,32	10,18	5,71

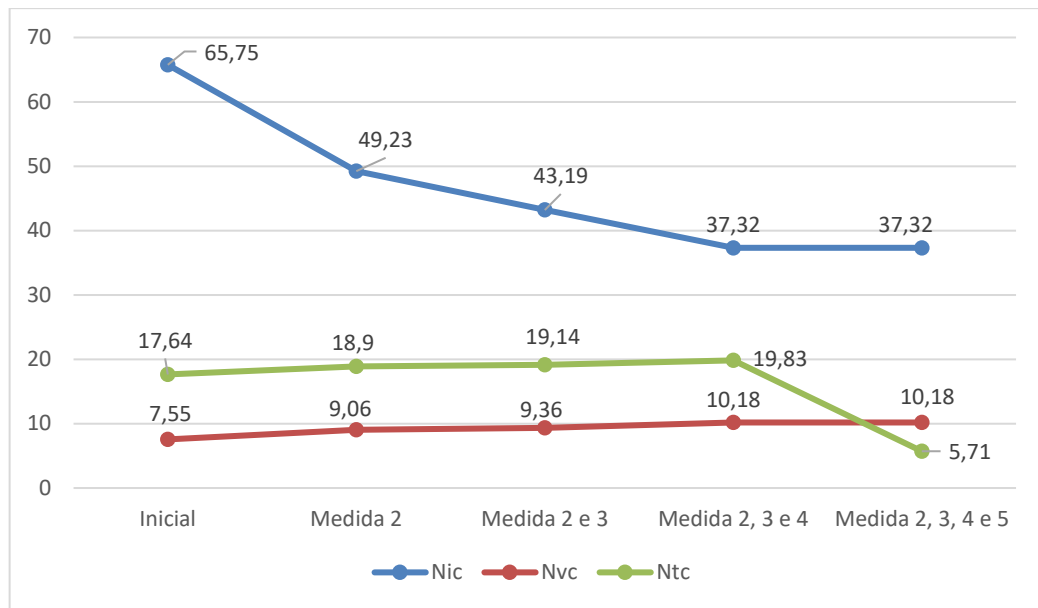


Figura 4.3. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 3

Ao analisar a Fig. 4.3 percebe-se que as medidas utilizadas tiveram o mesmo impacto nas necessidades energéticas do edifício que nas combinações anteriores. Com esta combinação conseguiu-se reduzir o N_{ic} em 43,24% e o N_{tc} em 67,63%, contudo, o N_{vc} aumentou 34,83%.

4.3.4. Combinação 4

Como foi demonstrado na Tabela 4.2 a combinação 3 contém todas as medidas estudadas. Estas medidas foram aplicadas uma a uma no edifício inicial obtendo os valores presentes na Tabela 4.6. Na Fig. 4.4 também se pode analisar a influência de cada medida nas várias necessidades analisadas.

Tabela 4.6. Resumo da Combinação 4

	N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N _{tc} [kWh/(m ² .ano)]
Inicial	65,75	7,55	17,64
Medida 1	51,07	10,74	20,29
Medidas 1 e 2	34,84	12,59	21,83
Medidas 1, 2 e 3	29,40	12,97	22,16
Medidas 1, 2, 3 e 4	24,33	13,92	22,95
Todas as medidas	24,33	13,92	7,24

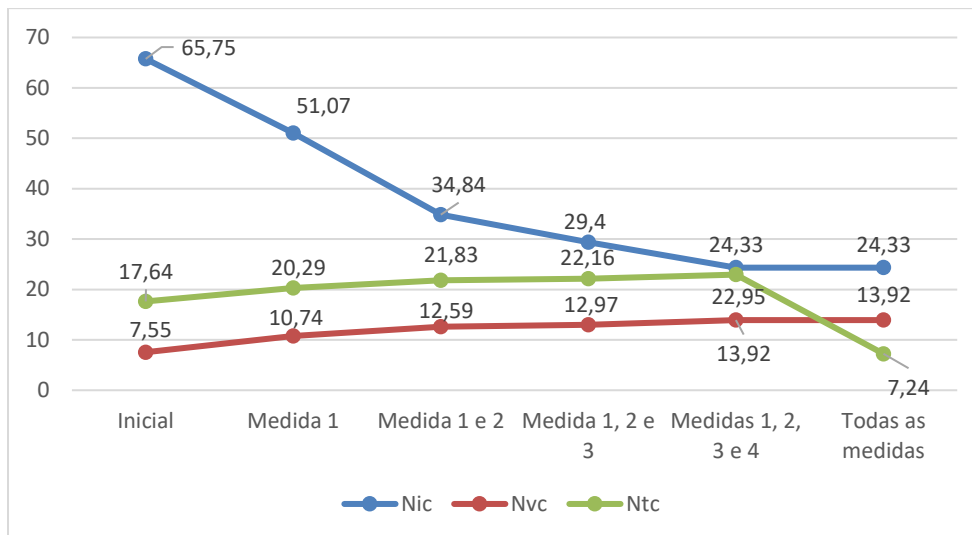


Figura 4.4. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas das medidas da Combinação 4

Como era de esperar, ao analisar a Fig. 4.4. percebe-se que a influência que as medidas tiveram nas necessidades energéticas do edifício foi a mesma que nas combinações anteriores. Com esta combinação conseguiu-se reduzir o N_{ic} em 65,75%, que era o principal objetivo, também diminuiu o N_{tc} em 58,96%, mas aumentou em 84,37% o N_{vc} .

4.3.5. Parâmetros nZEB

Após escolhida a combinação é necessário analisar os dois principais parâmetros que caracterizam um edifício de energia quase zero:

- i. Energia proveniente de fontes renováveis;
- ii. Emissões de CO_2 .

4.3.5.1. Energia proveniente de fontes renováveis

Este parâmetro é um dos mais importantes para definir um edifício de energia quase zero e que vai ter que ser imposto um limite mínimo.

A Tabela 4.7 apresenta a percentagem de energia que é fornecida por fontes de energia renovável de cada combinação.

Tabela 4.7. Percentagem de energia renovável de cada combinação

	Energia renovável %
Inicial	85
Combinação 1	94
Combinação 2	94
Combinação 3	95
Combinação 4	92

Ao analisar a Tabela 4.7, pode-se concluir que qualquer uma das combinações permite que as necessidades energéticas do edifício sejam suportadas em mais de 90% por energia de fontes renováveis.

4.3.5.2. Emissões de CO₂

Este é outro parâmetro que vai ser indispensável para a caracterização de edifício de energia quase zero. Segundo o PNAC 2020/2030, até 2020 é necessário reduzir em 14% as emissões de CO₂ no setor residencial até 2020 e 15% até 2030. Sendo que o estudo do desempenho térmico inicial para o edifício em estudo emitia 0,5 ton/ano de CO₂ isso implica, tendo em conta a meta de 2030 que ele passe a emitir 0,425 ton/ano. A Tabela 4.8. apresenta as emissões de CO₂ do edifício inicial e de todas as combinações que foram estudadas.

Tabela 4.8. Emissões de CO₂ de cada combinação

	Emissões de CO ₂ (ton/ano)
Inicial	0,5
Combinação 1	0,1
Combinação 2	0,1
Combinação 3	0,1
Combinação 4	0,2

Após a análise de todas as combinações, conclui-se que todas elas permitem cumprir os requisitos de 2020 e 2030. Sendo assim, segundo este parâmetro, qualquer das combinações pode ser escolhida.

4.3.6. Escolha da combinação

Após a análise de todas as combinações possíveis que cumpriram os valores de necessidades pretendidas, obteve-se os valores presentes na Tabela 4.9 para todas as combinações.

Tabela 4.9. Resumo das necessidades energéticas, da percentagem de energia proveniente de fontes renováveis e emissões de CO₂ de todas as combinações

	N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N _{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	Energia renovável %	Emissões de CO ₂ [ton/ano]
Inicial	65,75	7,55	17,64	85	0,5
Combinação 1	34,84	12,59	6,70	94	0,1
Combinação 2	35,26	12,45	6,64	94	0,1
Combinação 3	37,32	10,18	5,71	95	0,1
Combinação 4	24,33	13,92	7,24	92	0,2

Todas as combinações são possíveis de implementar no edifício em estudo. Analisando o principal objetivo deste trabalho, que era diminuir o N_{ic}, a escolha recaí pela combinação 4, mas quando se analisa os restantes parâmetros a combinação 3 apresenta melhores resultados. Assim, a combinação escolhida é a 3.

5. Conclusões gerais e propostas para trabalhos futuros

5.1. Conclusões Gerais

Após o estudo dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas, verifica-se que existe muito trabalho que tem que ser realizado até 1 de janeiro de 2019, onde este conceito tem que ser aplicado aos edifícios que pertencem ao estado.

Existem limites que têm que ser estabelecidos, principalmente no que diz respeito às emissões de CO₂ e ao limite mínimo de energia fornecida por fontes renováveis.

Neste trabalho foi analisado um edifício habitacional implementado numa zona climática I2-V3, estudado anteriormente à luz do “Roadmap 2016”.

Existem vários pormenores que tem que se ter em conta para estabelecer os limites para as necessidades energéticas em Portugal, devido às diferentes zonas climáticas. Assim um estudo orientado para uma zona, dificilmente se aplicará noutra.

As necessidades de aquecimento do edifício estavam acima dos valores sugeridos por S. Attia *et al.* em 2017 [3], assim foi necessário reduzi-las. Para isso foram tomadas as seguintes medidas:

- i. Isolamento pelo exterior;
- ii. Janelas e portas mais eficientes;
- iii. Teto falso;
- iv. Aumento do isolamento no pavimento;
- v. Sistemas técnicos eficientes.

Após a aplicação destas medidas, foi possível concluir o seguinte:

- i. A colocação de vãos envidraçados eficientes com proteção solar, onde o seu coeficiente de transmissão térmica não ultrapasse o valor de 1,2 W/(m².°C) tem um forte impacto na diminuição das necessidades energéticas de aquecimento;
- ii. A colocação de isolamento pelo exterior, com alvenaria de tijolo térmico, beneficia em muito a redução das necessidades energéticas de aquecimento;
- iii. A colocação de sistemas técnicos de classe A ou superior, com o auxílio de coletores solares térmicos reduzem, numa percentagem muito significativa, as necessidades nominais de energia primária.

Tendo em consideração todos os parâmetros analisados, este edifício pode servir de referência para os edifícios posteriormente construídos na zona climática em estudo.

5.2. Propostas para trabalhos futuros

O presente estudo permitiu aprofundar o conhecimento sobre os edifícios de necessidades energéticas quase nulas e de medidas que podem ser aplicadas para se alcançar este conceito. Neste sentido, no futuro, ainda será necessário desenvolver alguns trabalhos:

- i. Analisar o nível ótimo de rentabilidade das medidas aplicadas neste edifício, visto que não se teve em conta essa análise;
- ii. Analisar a viabilidade das medidas sugeridas noutras zonas climáticas;
- iii. Estudar parâmetros de referência para a energia renovável e emissões de CO₂;
- iv. Estabelecer novos coeficientes de transmissão térmica de referência para os elementos da envolvente.

Referências bibliográficas

- [1] **Aires M. A. M.** - Viabilidade da aplicação do conceito NZEB à reabilitação de conjuntos Habitacionais em Países do Sul da Europa, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2015
- [2] **Almeida M., Barbosa R.**- O potencial das intervenções de renovação a nível urbano para edifícios nZEB - IEA EBC Annex 75, Edifícios e Energia, Maio (2018). Disponível em: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/noticia/reabilitacao-energetica-annex750> [acedido em 28.05.2018].
- [3] **Attia S.; Eleftheriou P.; Xeni F.; Morlot R.; Ménézo C.; Kostopoulos V.; Betsi M.; Kalaitzoglou I.; Pagliano L.; Cellura M.; Almeida M.; Ferreira M.; Baracu T.; Badescu V.; Crutescu R.; Hidalgo-Betanzos J. M.**- Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe, Energy and Buildings, Elsevier Ltd, 155, 2017, 439-458 pp.
- [4] **Brajal F. M. G.** - Edifícios de emissão quase zero - Guia de requisitos para a construção, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012
- [5] **Charisi S.**- The Role of the Building Envelope in Achieving Nearly-zero Energy Buildings (nZEBs), Procedia Environmental Sciences, 38 (2017) 115-120 pp.
- [6] **Comini R.; Clemente F.; Puente F.; Orlandi A.; Oliveira I.; Lima P.; Beirão D.** - Eficiência energética nos edifícios residenciais - Manual do Consumidor, Lisboa, 2008
- [7] **Conselho Europeu.** Disponível em <http://www.consilium.europa.eu/pt/polices/climate-change/timeline/> _ [acedido em 9.04.2018]
- [8] **Costa S. L. P. G.** - Eficiência Energética de Edifícios: Conceito Passivhaus, Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015
- [9] **D'Agostino D., Parker D.** - A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBs) in representative climates across Europe, Energy, Elsevier Ltd, 149, 2018, 814-829 pp.
- [10] **Decreto Lei nº118/2013 de 20 de agosto do Ministério da Economia e do Emprego, Desempenho Energético de Edifícios.** Diário da República n.º 159/2013, Série I de 2013-08-20. Disponível em <http://data.dre.pt/eli/dec-lei/118/2013/08/20/p/dre/pt/html> [acedido em 18.09.2017]
- [11] **Deliso Y. D. C. J.** - Cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade para o desempenho energético de habitações residenciais unifamiliares objeto de reabilitação, Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentável, Universidade do Minho, Guimarães, 2014
- [12] **Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho.** Jornal Oficial da União Europeia. União Europeia. (2010). 153/13-153/35.
- [13] **Eurostat.** Disponível em <http://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/air-emissions-inventories/main-tables> [acedido em 9.04.2018]
- [14] **Gonçalves, H.** Em direcção aos Edifícios de Balanço Energético Zero. Jornadas da Climatização, Ordem dos Engenheiros, 2011.
- [15] **Gonçalves, H.; Graça, J.** - Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, INETI, Lisboa, Novembro de 2004
- [16] **Guia Casa Eficiente.** Edifícios Energia Zero. Disponível em <http://www.guiacasaeficiente.com/EEZ/EEZPrincipal.html> [acedido em 8.07.2017]

- [17] **Instituto Nacional de Estatística.** Disponível em http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros_edif [acedido em 10.10.2017]
- [18] **Mendes, F. N. S.** - Contributo dos sistemas técnicos para o desempenho energético de edifícios de habitação (Uma análise enquadrada no âmbito do REH). Covilhã, dissertação de Mestrado em Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, Março (2017).
- [19] **Nepomuceno, M. C. S.**- Física das Construções: Desempenho Energético de Edifícios, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal (2014), 270 pp.
- [20] **Rubeis T, Nardi I., Ambrosini D., Paoletti D.** - Is a self-sufficient building energy efficient? Lesson learned from a case study in Mediterranean climate, Applied Energy, Elsevier Ltd., 218 (2018), 131-145 pp.
- [21] **Santos, P. A. C.** - NZEB: Nearly Zero Energy Building - Metodologia para Implementação NZEB - Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2017
- [22] **Silva, S. M.; Mateus R.; Marques L.; Ramos M.; Almeida M.** - Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal - Energy, economics and environmental life cycle analysis, Solar Energy Materials and Solar Cells, Elsevier Ltd., 156 (2016), 59-74 pp.

Anexos

Anexo A

Memória descritiva e justificativa de cálculo da fração autónoma á luz REH utilizado o “Roadmap 2016”.

1. Memória Descritiva

1.1. Introdução

1.1.1. Âmbito de aplicação

A memória descritiva e justificativa de cálculo que aqui se apresenta diz respeito ao relatório do estudo do comportamento térmico de uma fração autónoma para habitação, constituída por uma moradia unifamiliar isolada de tipologia T3 (2 quartos e 1 escritório), construída na freguesia da Covilhã e Canhoso, Concelho do Covilhã á luz REH utilizado o “Roadmap 2016”.

1.1.2. Organização do relatório

O relatório inclui a memória descritiva e justificativa de cálculo com a descrição da fração autónoma e a verificação do cumprimento da conformidade regulamentar, detalhando e justificando todas as opções de projeto, suportadas pelos elementos adicionais.

1.2. Caracterização da fração autónoma

1.2.1. Descrição geral e relação com a envolvente

Moradia unifamiliar isolada de tipologia T3, com área útil de pavimento de 141,53 m² e pé-direito médio de 2,87 m, com dois pisos acima da cota da soleira e uma garagem exterior à fração. O rés-do-chão inclui a sala, cozinha, despensa, escritório, uma I.S., circulações interiores e caixa de escada com acesso ao 1.º andar. O 1.º andar inclui dois quartos, um vestiário, uma I.S. e circulações interiores. O edifício localiza-se no concelho do Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 505 m (zona climática I2-V3), sem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a envolvente. A inércia térmica é forte e as soluções de isolamento térmico incluem, em todas as fachadas, paredes duplas de alvenaria de tijolo com isolante ocupando parcialmente a caixa-de-ar. A cobertura é inclinada, com telha lusa cerâmica de cor clara, formada por um desvão fortemente ventilado, não acessível, com isolante térmico sobre a laje de esteira. Os vãos envidraçados são simples, de caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), à exceção de um vão situado a Norte, que possui vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm. Prevê-se ventilação natural, com exaustor na cozinha. Para produção de AQS serão instalados 3,0 m² de coletores solares térmicos na cobertura e sistema de apoio com esquentador termostático a gás natural. Os sistemas de climatização incluem a utilização de uma caldeira a biomassa para aquecimento, enquanto para arrefecimento não é especificado qualquer equipamento.

1.2.2. Área útil e pé-direito médio

A área útil da fração autónoma inclui todos os compartimentos, circulações interiores, instalações sanitárias e arrumos interiores listados no quadro que a seguir se apresenta, para os quais se requerem as condições de referência de conforto térmico. O pé-direito corresponde ao valor ponderado em função da área de cada compartimento.

As medições efetuadas permitiram concluir que a fração autónoma apresenta uma área útil (A_p) de 141,53 m² e um pé-direito médio ponderado (P_d) de 2,87 m.

1.2.3. Ambiente interior, dados climáticos e caracterização de espaços não úteis

1.2.3.1. Condições de referência de conforto térmico interior

O Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), aprovado pelo Dec. Lei 118/2013 de 20 de agosto, fixa uma taxa mínima de renovação do ar de 0,4 renovações por hora para garantia da qualidade do ar interior e considera as seguintes condições interiores de conforto de referência: para a estação de aquecimento (inverno) estabelece uma temperatura do ar de 18°C e para a estação de arrefecimento (verão) estabelece uma temperatura do ar de 25°C.

1.2.3.2. Dados climáticos no local de implantação

Os dados climáticos foram calculados em função da localização e altitude do local.

1.2.3.3. Caracterização dos espaços não úteis

Para a delimitação da envolvente da fração autónoma em análise foram assumidas as seguintes premissas relativamente aos espaços não úteis adjacentes:

Cobertura sob desvão 1 (laje de esteira horizontal)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, fortemente ventilado e não acessível, assumindo-se claramente como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de btr = 1.

Cobertura sob desvão 2 (laje de esteira horizontal)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, fortemente ventilado e não acessível, assumindo-se claramente como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de btr = 1.

Desvão sanitário

O desvão sanitário, fortemente ventilado e ocupando completamente a área de implantação do edifício, localiza-se inferiormente à fração autónoma em análise e foi admitida como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de $b_{tr} = 1$.

Garagem

A garagem adjacente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, sem aberturas permanentemente abertas (fracamente ventilado), assumindo-se claramente como um espaço não útil. A relação A_i/A_u é de 0,34, assim, de acordo com a tabela disponível no Despacho n.º 15793-K/2003 para o coeficiente de redução de perdas para ENU, adota-se um valor de $b_{tr} = 1$.

A Fig. A.1. mostra a localização de cada ENU e também o valor de b_{tr} de cada espaço.

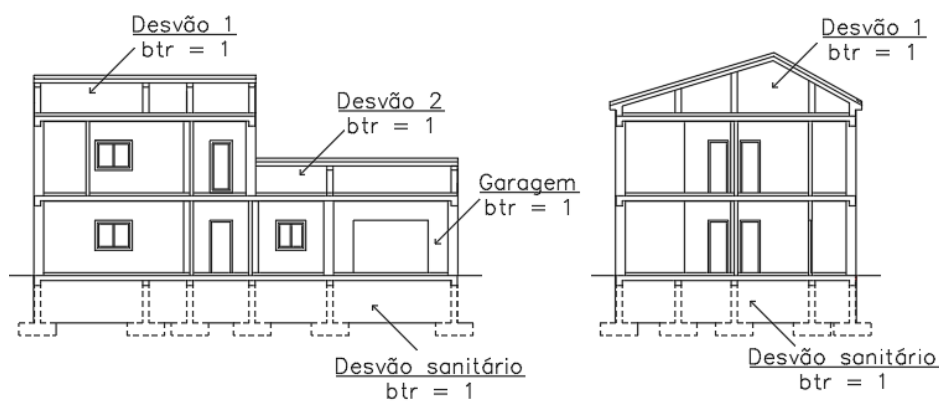


Figura A.1. Identificação dos espaços não úteis

1.2.4. Definição da envolvente

1.2.4.1. Delimitação da envolvente

Na delimitação da envolvente foram considerados os elementos da envolvente exterior, os elementos da envolvente interior com requisitos de exterior ($b_{tr} > 0,7$), os elementos da envolvente interior com requisitos de interior ($b_{tr} \leq 0,7$) e os elementos sem requisitos térmicos. As Fig. A.2. e A.3. apresentam a envolvente em planta e em corte do edifício.

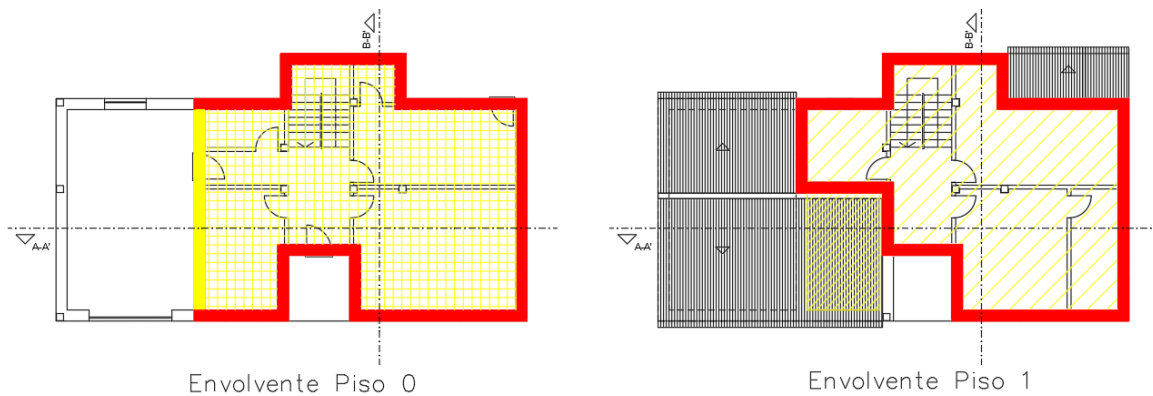


Figura A.2. Delimitação da envolvente em planta

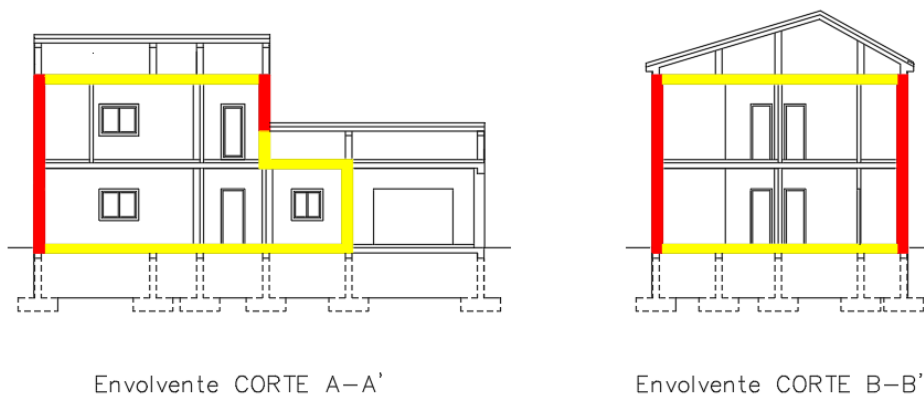


Figura A.3. Delimitação da envolvente em corte

1.2.5. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca exterior

1.2.5.1. Paredes exteriores

PRE1 - Parede exterior (Fachadas)

PRE1- Parede exterior (fachada) composta (do interior para o exterior) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de $0,27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; 3) isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 4) espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica $0,170 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica $0,39 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. A Tabela A.1. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.4. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.1. Caracterização da PRE1

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	46,21	43,76	40,97	23,76
U [W/(m ² .°C)]	0,311	0,311	0,311	0,311

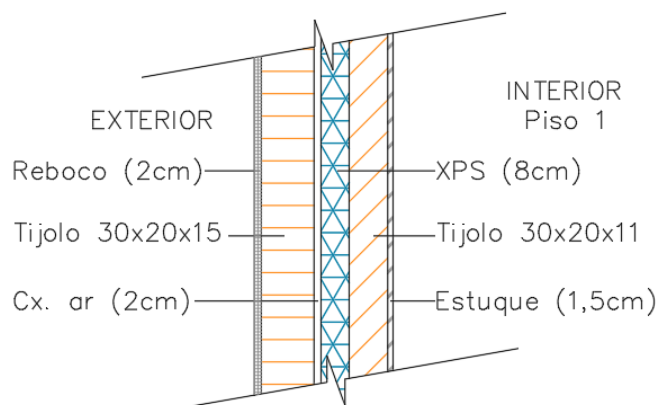


Figura A.4. Pormenor construtivo da PRE1

1.2.5.2. Pontes térmicas planas inseridas nas paredes exteriores

PPE1 - Ponte térmica plana (Vigas/pilares inseridos na parede PRE1)

PPE1 - Ponte térmica plana (viga/pilar) inserida na parede PRE1, composta (do interior para o exterior) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) tijolo furado (7 cm) com resistência térmica de 0,19 m².°C/W; 3) isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 4) pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C); 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C). A Tabela A.2. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.5. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.2. Caracterização da PPE1

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	4,94	5,18	4,12	2,42
U [W/(m ² .°C)]	0,618	0,618	0,618	0,618

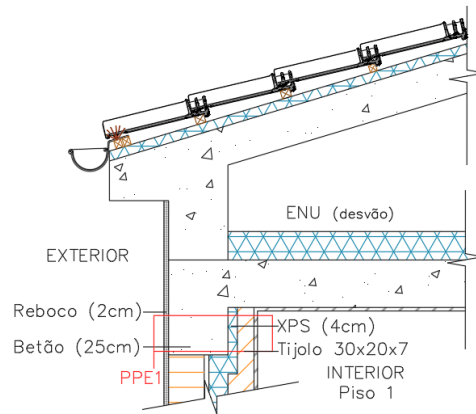


Figura A.5. Pormenor construtivo da PPE1

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore inserida na parede PRE1)

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore) inserida na parede PRE1, composta (do interior para a caixa de ar) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) isolante térmico XPS (6 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 3) aparas de madeira aglomeradas com cimento (8 mm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,23 W/(m.°C); 4) isolante térmico EPS de alta densidade (33 mm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C). A Tabela A.3. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.6. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.3. Caracterização da PPE2

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,11	1,77	1,44	0
U [W/(m ² .°C)]	0,351	0,351	0,351	0

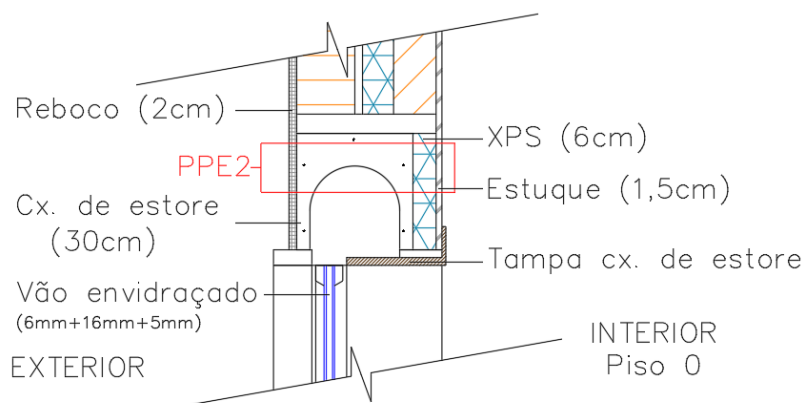


Figura A.6. Pormenor construtivo da PPE2

1.2.5.3. Portas exteriores

POE1 - Porta exterior (No acesso principal e cozinha)

POE1 - Porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro. A Tabela A.4. resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Tabela A.4. Caracterização da POE1

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,68	1,89	0	0
U [W/(m ² .°C)]	3,30	3,30	0	0

1.2.5.4. Pontes térmicas lineares da envolvente exterior

Considerou-se a existência das seguintes pontes térmicas lineares da envolvente exterior:

PLB1- ligação da fachada com pavimento sobre espaço não útil (Fig. A.7.)

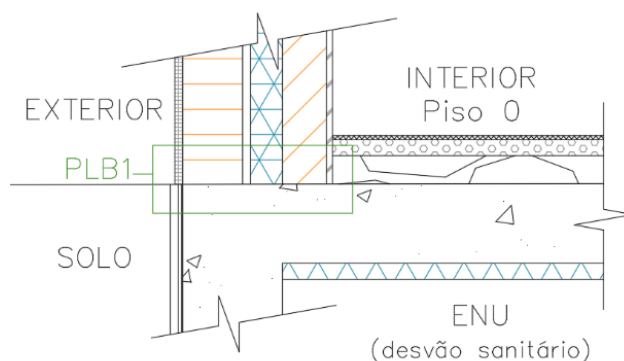


Figura A.7. Pormenor construtivo da PLB1

PLC1- ligação da fachada com pavimentos intermédios (Fig. A.8)

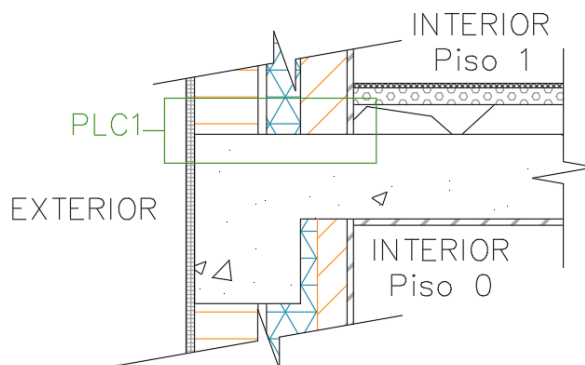


Figura A.8. Pormenor construtivo da PLC1

PLD1- ligação da fachada com cobertura sob desvão não útil (Fig. A.9.)

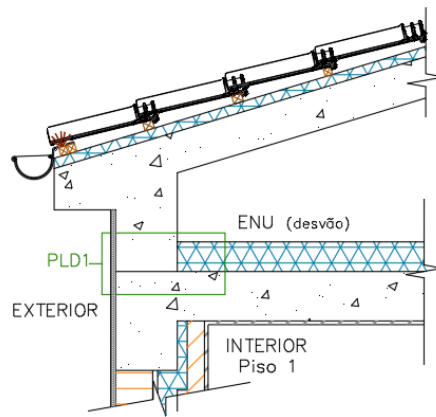


Figura A.9. Pormenor construtivo da PLD1

PLE1- ligação da fachada com varanda (Fig. A.10)

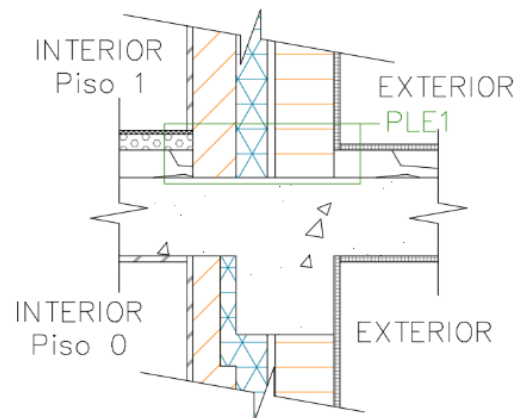


Figura A10. Pormenor construtivo da PLE1

PLF1- ligação entre duas paredes verticais (Fig. A.11)

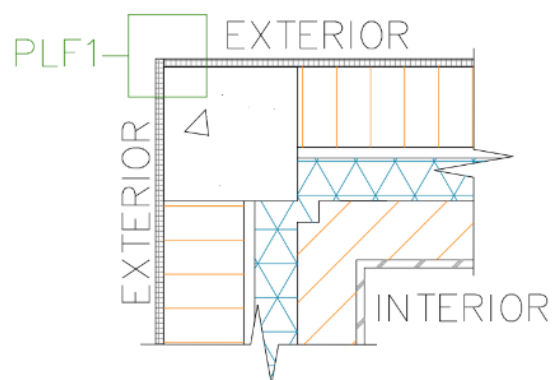


Figura A.11. Pormenor construtivo da PLF1

PLG1- ligação da fachada com caixa de estore (Fig. A.12.)

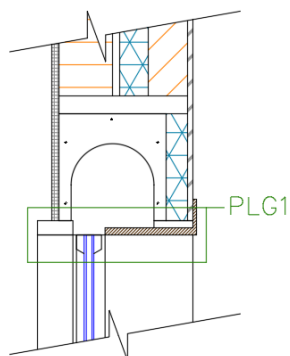


Figura A.12. Pormenor construtivo da PLG1

PLH1- ligação da fachada com padieira, ombreira e peitoril (Fig. A.13.)

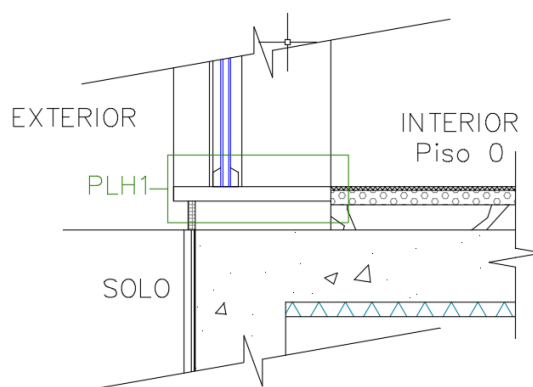


Figura A.13. Pormenor construtivo da PLH1

A Tabela A.5. resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares:

Tabela A.5. Caracterização das pontes térmicas lineares exteriores

Elemento	B [m]	Ψ [W/m.°C]
PLB1	34,31	0,75
PLC1	64,39	0,50
PLD1	36,76	1,00
PLE1	2,11	0,55
PLF1	40,12	0,50
PLG1	12,40	0,30
PLH1	46,94	0,20

1.2.6. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca interior

1.2.6.1. Paredes da envolvente interior

PRI1 - Parede em contacto com espaço não útil (garagem)

PRI1 - Parede interior em contacto com espaço não útil (garagem), composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$; 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de $0,27 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$; 3) isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$; 4) espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica $0,170 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica $0,39 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$. A Tabela A.6. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.14. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.6. Caracterização da PRI1

Área [m^2]	16,12
U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]	0,303
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

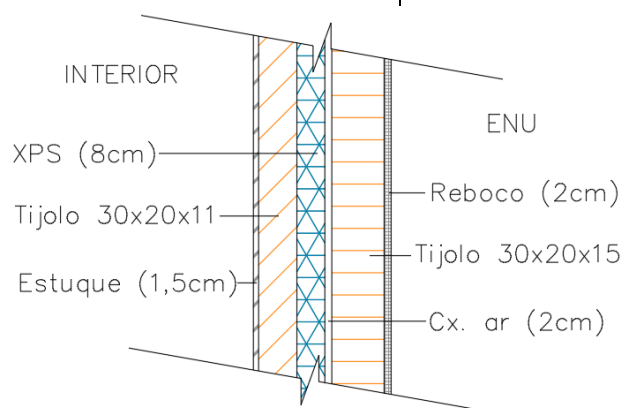


Figura A.14. Pormenor construtivo da PRI1

PRI2 - Parede em contacto com espaço não útil (desvão)

PRI2 - Parede interior em contacto com espaço não útil (desvão), composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$; 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de $0,27 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$; 3) isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$; 4) espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica $0,170 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica $0,39 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$. A Tabela A.7. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.15. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.7. Caracterização da PRI2

Área [m ²]	4,06
U [W/(m ² .°C)]	0,303
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

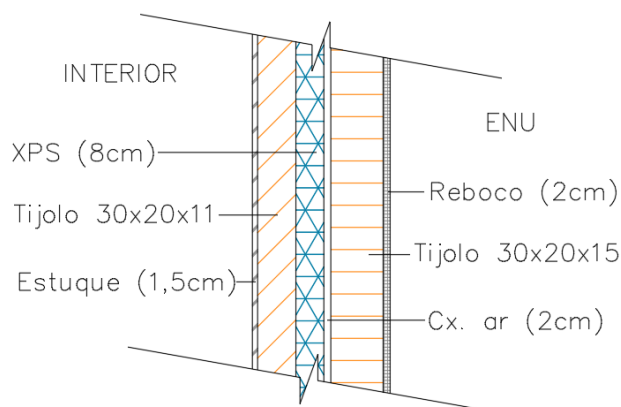


Figura A.15. Pormenor construtivo da PRI2

1.2.6.2. Portas da envolvente interior

POI1 - Porta da envolvente interior (garagem)

POI1 - Porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro. A Tabela A.8. resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Tabela A.8. Caracterização da POI1

Área [m ²]	1,89
U [W/(m ² .°C)]	3,30
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

1.2.6.3. Pavimentos sobre espaços não úteis

PVI1 - Pavimento sobre espaço não útil (desvão sanitário)

PVI1 - Pavimento interior sobre espaço não útil (cave), composto (de cima para baixo) por: 1) ladrilhos cerâmicos (1,0 cm) e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); 2) argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,8 W/(m.°C); 3) betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,70 W/(m.°C); 4) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de 0,15 m².°C/W (ascendente) e 0,16 m².°C/W (descendente); 5) isolante térmico XPS

(4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C). A Tabela A.9. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.16. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.9. Caracterização da PVI1

Área [m ²]	65,66
U _{asc.} [W/(m ² .°C)]	0,641
U _{desc.} [W/(m ² .°C)]	0,584
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

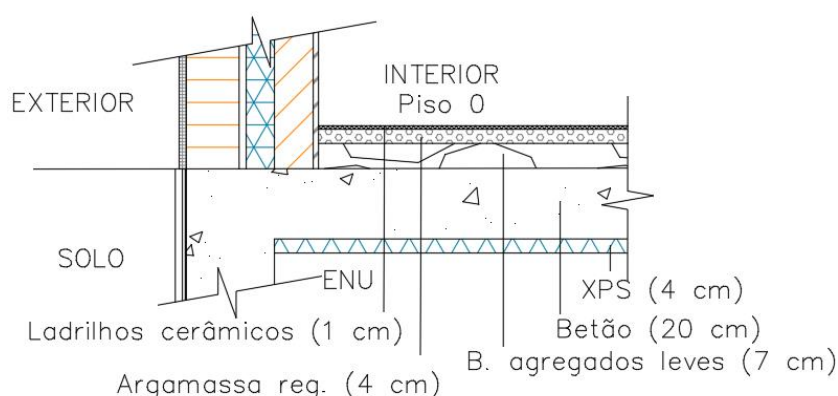


Figura A.16. Pormenor construtivo da PVI1

PVI2 - Pavimento sobre espaço não útil (desvão sanitário)

PVI2 - Pavimento interior sobre espaço não útil (cave), composto (de cima para baixo) por: 1) acabamento de piso em pavimento flutuante (1,0 cm) com resistência térmica de 0,11 m².°C/W (ascendente) e 0,11 m².°C/W (descendente); 2) argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,8 W/(m.°C); 3) betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,70 W/(m.°C); 4) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de 0,15 m².°C/W (ascendente) e 0,16 m².°C/W (descendente); 5) isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C). A Tabela A.10. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.17. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.10. Caracterização da PVI2

Área [m ²]	12,08
U _{asc.} [W/(m ² .°C)]	0,601
U _{desc.} [W/(m ² .°C)]	0,551
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00



Figura A.17. Pormenor construtivo da PVI2

1.2.6.4. Coberturas sob espaços não uteis

CBI1 - Cobertura sob espaço não útil (desvão 1)

CBI1 - Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) isolante térmico XPS (12 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 2) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de 0,15 m².°C/W (ascendente) e 0,16 m².°C/W (descendente); 3) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C). A Tabela A.11. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.18. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.11. Caracterização da CBI1

Área [m ²]	67,27
U _{asc.} [W/(m ² .°C)]	0,275
U _{desc.} [W/(m ² .°C)]	0,264
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

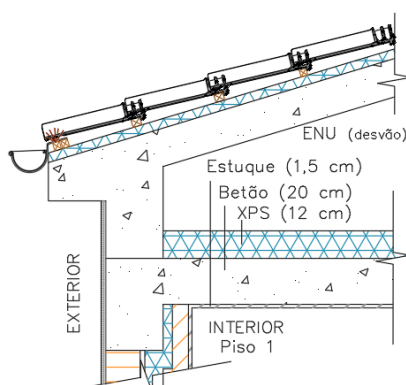


Figura A.18. Pormenor construtivo da CBI1

CBI2 - Cobertura sob espaço não útil (desvão 2)

CBI2 - Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) isolante térmico XPS (12 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 2) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de 0,15 m².°C/W (ascendente) e 0,16 m².°C/W (descendente); 3) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C). A Tabela A.12. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. A.19. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela A.12. Caracterização da CBI2

Área [m ²]	11,10
U _{asc.} [W/(m ² .°C)]	0,275
U _{desc.} [W/(m ² .°C)]	0,264
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

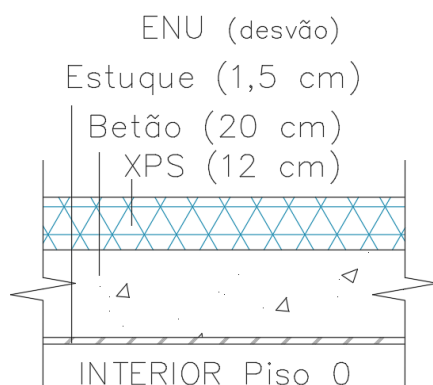


Figura A.19. Pormenor construtivo da CBI2

1.2.6.5. Pontes térmicas lineares da envolvente interior

Foram identificadas as seguintes situações de pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$:

PLB1i- ligação da fachada com pavimento sobre espaço não útil (Fig. A.20.)

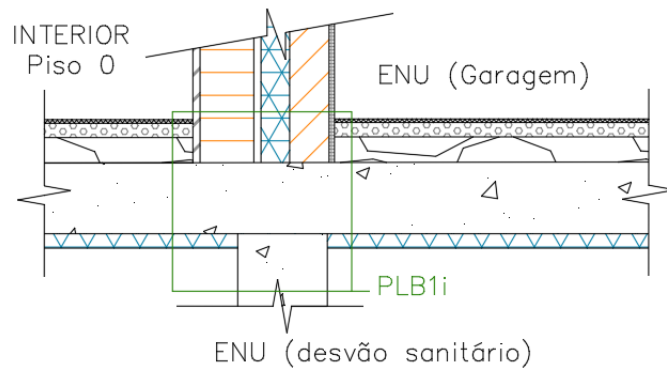


Figura A.20. Pormenor construtivo da PLB1i

PLD1i- ligação da fachada com cobertura sob desvão não útil (Fig. A.21.)

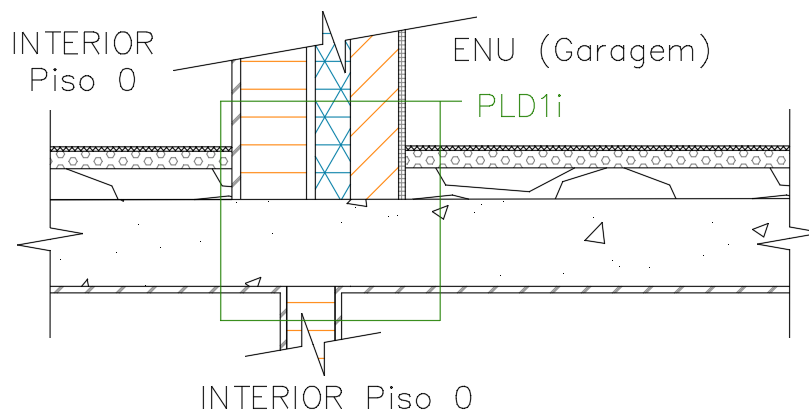


Figura A.21. Pormenor construtivo da PLD1i

PLE1i- ligação da fachada com varanda (Fig. A.22.)

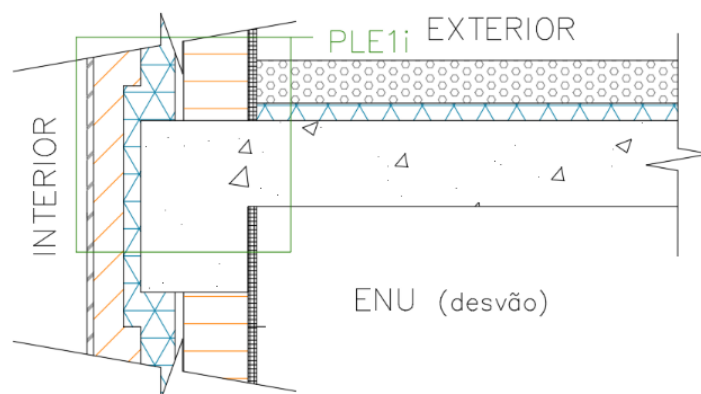


Figura A.22. Pormenor construtivo da PLE1i

PLF1i- ligação entre duas paredes verticais (Fig. A.23.)

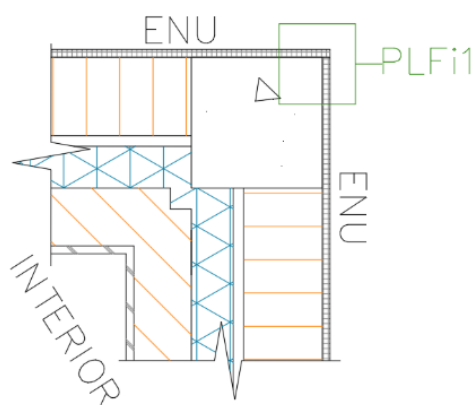


Figura A.23. Pormenor construtivo da PLF1i

A Tabela A.13. resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$:

Tabela A.13. Caracterização das pontes térmicas lineares interiores

Elemento	B [m]	Ψ [W/m.°C]	b_{tr}
PLB1i	6,97	0,75	1,00
PLD1i	7,69	1,00	1,00
PLE1i	4,48	0,55	1,00
PLF1i	5,73	0,50	1,00

1.2.7. Parâmetros térmicos dos vãos envidraçados da envolvente exterior

1.2.7.1. Identificação dos vãos envidraçados

A fração autónoma em estudo possui um total de 11 vãos envidraçados, identificados individualmente com as siglas EEV1 a EEV11.

1.2.7.2. Parâmetros dos vãos envidraçados

EEV1 a EEV10 - Vãos envidraçados exteriores

EEV1 a EEV10 - Vãos envidraçados exteriores verticais simples, com caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm, sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), com facto solar de 0,04 com o sistema 100% ativo e U_{wdn} de 2,1 W/(m².°C).

Tratando-se de uma habitação com ocupação noturna importante, com vãos envidraçados dotados de sistema de oclusão, foi quantificado o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite recorrendo à publicação do LNEC ITE50. Admitiu-se na estimativa de U_{wdn} que o sistema de oclusão noturna confere baixa permeabilidade ao ar quando encerrado.

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,75. A Tabela A.14. resume os valores obtidos para estes elementos.

Tabela A.14. Caracterização dos vãos envidraçados de EEV1 a EEV10

Identificação	Área total, em [m ²]	U_{wdn} , em [W/(m ² .°C)]
EEV1 a EEV10	17,50	2,10

EEV11 - Vão envidraçado exterior

EEV11 - Vão envidraçado exterior vertical simples, com caixilharia plástica, sem classificação, com vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm, sem quadrícula e sem proteção exterior, com fator solar de 0,72 e U_{wdn} de 1,68 W/(m².°C).

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,72. A Tabela A.15. resume os valores obtidos para este elemento.

Tabela A.15. Caracterização do vão envidraçado EEV11

Identificação	Área total, em [m ²]	U_w , em [W/(m ² .°C)]
EEV11	1,65	1,68

1.2.8. Classe de inércia térmica

A fração autónoma possui uma classe de inércia térmica FORTE.

1.2.9. Taxa de renovação do ar

A taxa de renovação de ar foi calculada com recurso à aplicação desenvolvida pelo LNEC.

1.2.10. Parâmetros térmicos do sistema convencional de produção de AQS

O sistema de apoio convencional para AQS previsto em projeto é constituído por um esquentador termostático a gás natural com eficiência de 0,92.

A tubagem de distribuição de AQS terá isolante térmico em espuma elastomérica à base de borracha sintética com resistência térmica de pelo menos $0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

1.2.11. Parâmetros do sistema de aproveitamento de energias renováveis

Serão colocados $3,0 \text{ m}^2$ de coletores solares planos de circulação forçada, com um depósito de acumulação de 300 l colocados no interior e na posição vertical. A contribuição anual E_{ren} é de 900 kWh/ano, sendo que toda a energia é utilizada para produção de AQS. O cálculo foi do E_{ren} foi efetuado com recurso ao programa Solterm do INETI conforme se apresenta no Anexo V. Os coletores são certificados pela CERTIF e serão instalados por instaladores credenciados pela DGEG.

1.2.12. Parâmetros térmicos do sistema de climatização

Para climatização (aquecimento) está prevista a instalação de uma caldeira a biomassa com uma eficiência de conversão de 0,9. A potência da caldeira prevista será inferior a 25 kW.

Para climatização (arrefecimento) não está previsto em projeto qualquer equipamento.

1.3. Verificação do cumprimento da conformidade regulamentar do edifício

1.3.1. Verificação do cumprimento da conformidade regulamentar

Foram cumpridos os requisitos quanto aos elementos opacos e envidraçados.

Foram cumpridos os requisitos mínimos relativos a ventilação.

Foram cumpridos os requisitos mínimos quanto a eficiência mínima dos sistemas mecânicos.

1.3.2. Verificação do cumprimento dos limites das necessidades energéticas

Após os cálculos necessários e todas as verificações, obteve-se os valores da Tabela A.16..

Tabela A.16. Caracterização energética do edifício

N_{ic} (kWh/(m ² .ano))	65,75	N_{vc} (kWh/(m ² .ano))	7,55	N_{tc} (kWh/(m ² .ano))	17,64
N_i (kWh/(m ² .ano))	84,57	N_v (kWh/(m ² .ano))	15,17	N_t (kWh/(m ² .ano))	126,54

1.3.3. Classe energética e taxa de emissão de CO₂

Da análise efetuada verifica-se que a moradia terá uma **Classificação Energética A+** e uma emissão anual estimada de **0,50 toneladas equivalentes de CO₂**.

Anexo B

Memória descritiva e justificativa da
aplicação da Combinação 3 no edifício em
estudo

1. Memória descritiva

1.1. Introdução

1.1.1. Âmbito de aplicação

A memória descritiva e justificativa de cálculo que aqui se apresenta diz respeito ao relatório do estudo do comportamento térmico de uma fração autónoma para habitação, constituída por uma moradia unifamiliar isolada de tipologia T3 (2 quartos e 1 escritório), construída na freguesia da Covilhã e Canhoso, Concelho do Covilhã á luz REH utilizado o “Roadmap 2016”.

1.1.2. Organização do relatório

O relatório inclui a memória descritiva e justificativa de cálculo com a descrição da fração autónoma e a verificação do cumprimento da conformidade regulamentar, detalhando e justificando todas as opções de projeto, suportadas pelos elementos adicionais.

1.2. Caracterização da fração autónoma

1.2.1. Descrição geral e relação com a envolvente

Moradia unifamiliar isolada de tipologia T3, com área útil de pavimento de 141,53 m² e pé-direito médio de 2,87 m, com dois pisos acima da cota da soleira e uma garagem exterior à fração. O rés-do-chão inclui a sala, cozinha, despensa, escritório, uma I.S., circulações interiores e caixa de escada com acesso ao 1.º andar. O 1.º andar inclui dois quartos, um vestiário, uma I.S. e circulações interiores. O edifício localiza-se no concelho do Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 505 m (zona climática I2-V3), sem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a envolvente. A inércia térmica é forte e as soluções de isolamento térmico incluem, em todas as fachadas, paredes duplas de alvenaria de tijolo com isolante ocupando parcialmente a caixa-de-ar. A cobertura é inclinada, com telha lusa cerâmica de cor clara, formada por um desvão fortemente ventilado, não acessível, com isolante térmico sobre a laje de esteira. Os vãos envidraçados são simples, de caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), à exceção de um vão situado a Norte, que possui vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm. Prevê-se ventilação natural, com exaustor na cozinha. Para produção de AQS serão instalados 3,0 m² de coletores solares térmicos na cobertura e sistema de apoio com esquentador termostático a gás natural. Os sistemas de climatização incluem a utilização de uma caldeira a biomassa para aquecimento, enquanto para arrefecimento não é especificado qualquer equipamento.

1.2.2. Área útil e pé-direito médio

A área útil da fração autónoma inclui todos os compartimentos, circulações interiores, instalações sanitárias e arrumos interiores listados no quadro que a seguir se apresenta, para os quais se requerem as condições de referência de conforto térmico. O pé-direito corresponde ao valor ponderado em função da área de cada compartimento.

As medições efetuadas permitiram concluir que a fração autónoma apresenta uma área útil (A_p) de 141,53 m² e um pé-direito médio ponderado (P_d) de 2,87 m.

1.2.3. Ambiente interior, dados climáticos e caracterização de espaços não úteis

1.2.3.1. Condições de referência de conforto térmico interior

O Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), aprovado pelo Dec. Lei 118/2013 de 20 de agosto, fixa uma taxa mínima de renovação do ar de 0,4 renovações por hora para garantia da qualidade do ar interior e considera as seguintes condições interiores de conforto de referência: para a estação de aquecimento (inverno) estabelece uma temperatura do ar de 18°C e para a estação de arrefecimento (verão) estabelece uma temperatura do ar de 25°C.

1.2.3.2. Dados climáticos no local de implantação

Os dados climáticos foram calculados em função da localização e altitude do local.

1.2.3.3. Caracterização dos espaços não úteis

Para a delimitação da envolvente da fração autónoma em análise foram assumidas as seguintes premissas relativamente aos espaços não úteis adjacentes:

Cobertura sob desvão 1 (laje de esteira horizontal)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, fortemente ventilado e não acessível, assumindo-se claramente como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de btr = 1.

Cobertura sob desvão 2 (laje de esteira horizontal)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, fortemente ventilado e não acessível, assumindo-se claramente como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de btr = 1.

Desvão sanitário

O desvão sanitário, fortemente ventilado e ocupando completamente a área de implantação do edifício, localiza-se inferiormente à fração autónoma em análise e foi admitida como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de $b_{tr} = 1$.

Garagem

A garagem adjacente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, sem aberturas permanentemente abertas (fracamente ventilado), assumindo-se claramente como um espaço não útil. A relação A_i/A_u é de 0,34, assim, de acordo com a tabela disponível no Despacho n.º 15793-K/2003 para o coeficiente de redução de perdas para ENU, adota-se um valor de $b_{tr} = 1$. A Fig. B.1. representa aos ENU do edifício em estudo e o valor de b_{tr} de cada um.

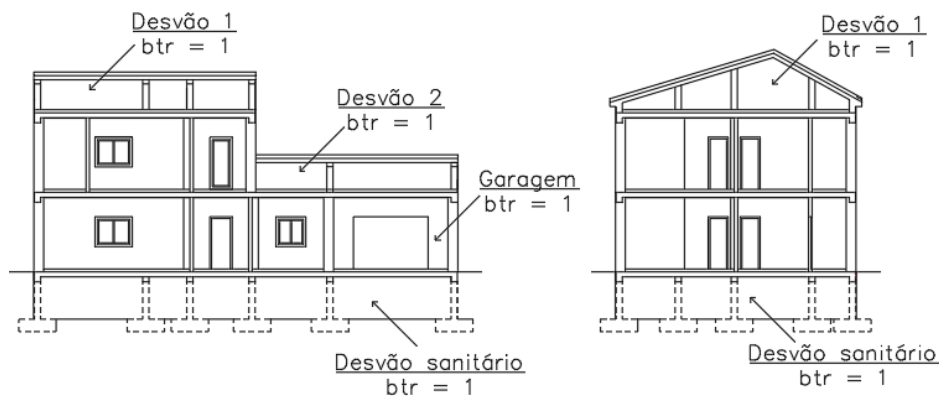


Figura B.1. Identificação dos espaços não úteis

1.2.4. Definição da envolvente

1.2.4.1. Delimitação da envolvente

Na delimitação da envolvente foram considerados os elementos da envolvente exterior, os elementos da envolvente interior com requisitos de exterior ($b_{tr} > 0,7$), os elementos da envolvente interior com requisitos de interior ($b_{tr} \leq 0,7$) e os elementos sem requisitos térmicos. As Fig. B.2. e B.3. apresentam a envolvente do edifício em estudo tanto em corte como em planta.

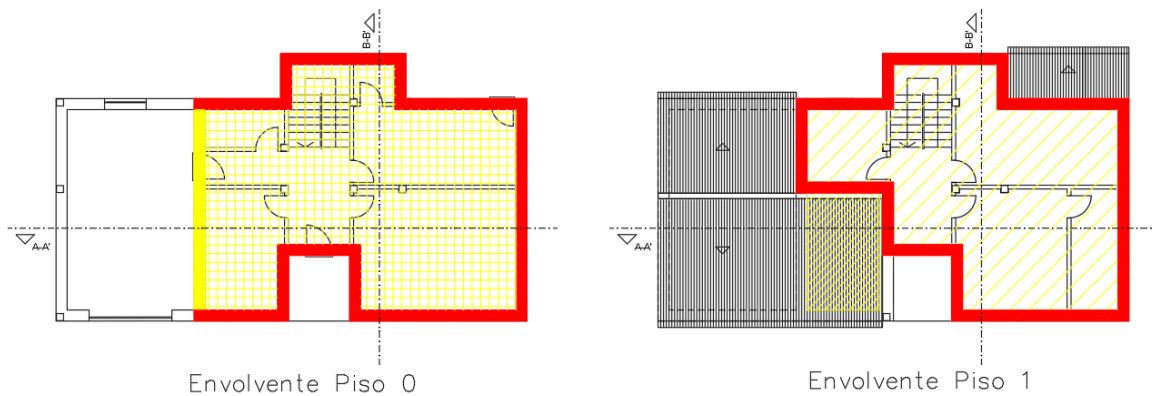


Figura B.2. Delimitação da envolvente em planta

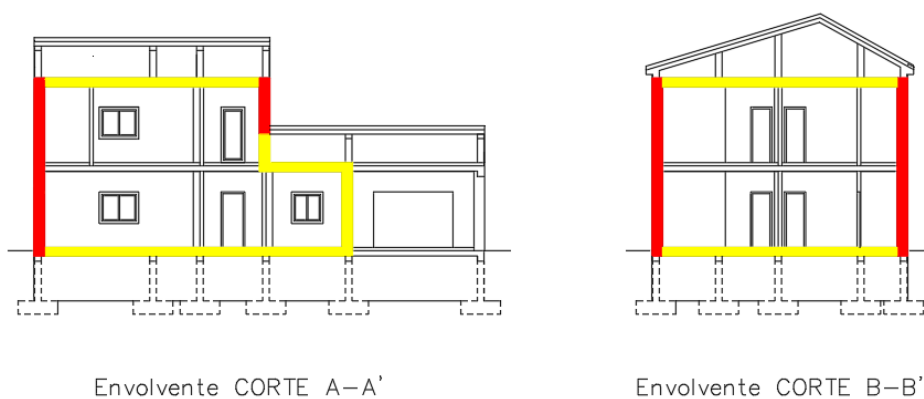


Figura B.3. Delimitação da envolvente em corte

1.2.5. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca exterior

1.2.5.1. Paredes exteriores

PRE1 - Parede exterior (Fachadas)

PRE1- Parede exterior (fachada) composta (do interior para o exterior) por: 1) Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 2) Pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 3) Argamassa hidrófuga (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,11 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 4) Isolante térmico XPS (9 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (0,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. A Tabela B.1. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.4. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.1. Caracterização da PRE1

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	46,21	43,76	40,97	23,76
U [W/(m ² .°C)]	0,250	0,250	0,250	0,250

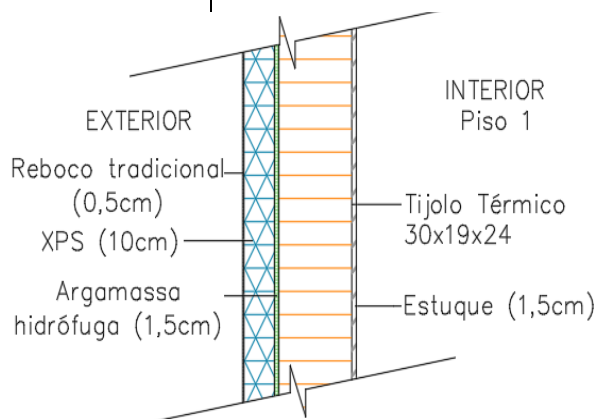


Figura B.4. Pormenor construtivo da PRE1

1.2.5.2. Pontes térmicas planas inseridas nas paredes exteriores

PPE1 - Ponte térmica plana (Vigas/pilares inseridos na parede PRE1)

PPE1 - Ponte térmica plana (viga/pilar) inserida na parede PRE1, composta (do interior para o exterior) por: 1) Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) Pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C); 3) Argamassa hidrófuga (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,11 W/(m.°C); 4) Isolante térmico XPS (9 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (0,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C). A Tabela B.2. resume os valores obtidos para o elemento em análise e as Fig. B.5. e B.6. apresentam pormenores construtivos.

Tabela B.2. Caracterização da PPE1

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	0,7	0,84	0,7	1,07
U [W/(m ² .°C)]	0,359	0,359	0,359	0,359

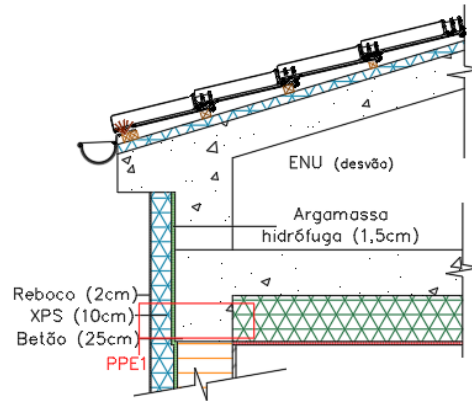


Figura B.5. Pormenor construtivo da PPE1 devido à viga

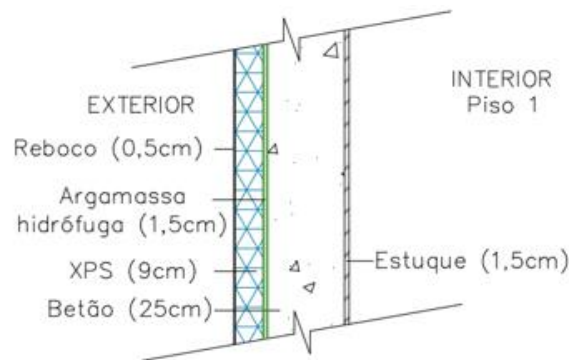


Figura B.6. Pormenor construtivo da PPE1 devido ao pilar

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore inserida na parede PRE1)

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore) inserida na parede PRE1, composta (do interior para a caixa de ar) por: 1) Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) Isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C). A Tabela B.3. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.7. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.3. Caracterização da PPE2

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,11	1,77	1,44	0
U [W/(m ² .°C)]	0,725	0,725	0,725	0

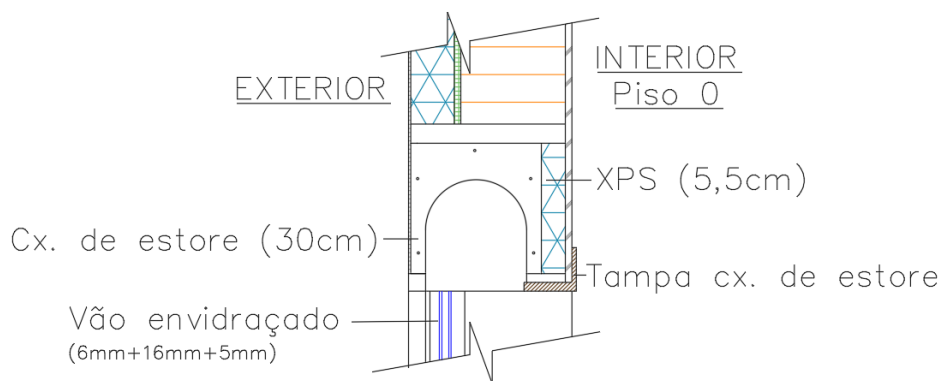


Figura B.7. Pormenor construtivo da PPE2

1.2.5.3. Portas exteriores

POE1 - Porta exterior (No acesso principal e cozinha)

POE1 - Porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro. A Tabela B.4. resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Tabela B.4. Caracterização da POE1

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,68	1,89	0	0
U [W/(m ² .°C)]	3,30	3,30	0	0

1.2.5.4. Pontes térmicas lineares da envolvente exterior

Considerou-se a existência das seguintes pontes térmicas lineares da envolvente exterior:

PLB1- ligação da fachada com pavimento sobre espaço não útil (Fig. B.8.)

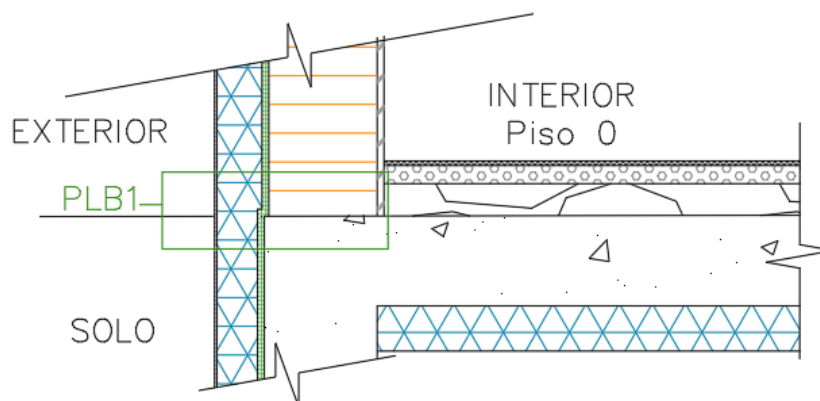


Figura B.8. Pormenor construtivo da PLB1

PLC1- ligação da fachada com pavimentos intermédios (Fig. B.9.)

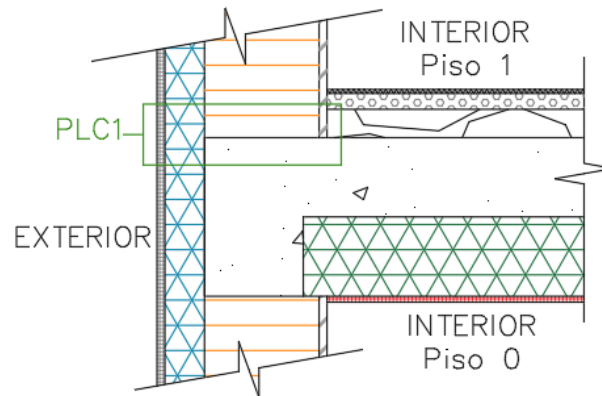


Figura B.9. Pormenor construtivo da PLC1

PLD1- ligação da fachada com cobertura sob desvão não útil (Fig. B.10.)

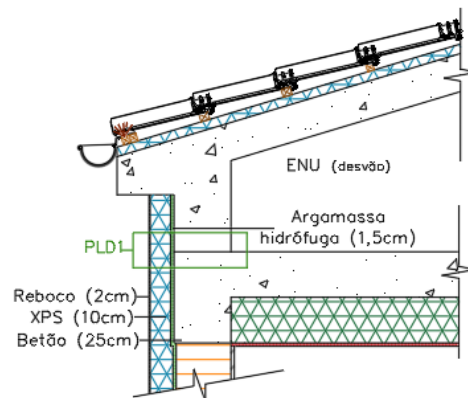


Figura B.10. Pormenor construtivo da PLD1

PLE1- ligação da fachada com varanda (Fig. B.11.)

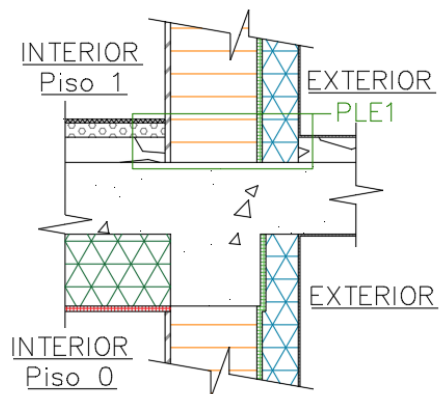


Figura B.11. Pormenor construtivo da PLE1

PLF1-ligação entre duas paredes verticais (Fig. B.12.)

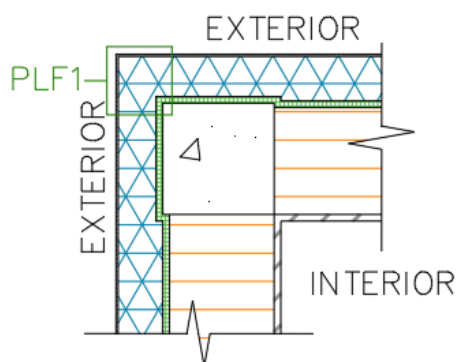


Figura B.12. Pormenor construtivo da PLF1

PLG1- ligação da fachada com caixa de estore (Fig. B.13.)

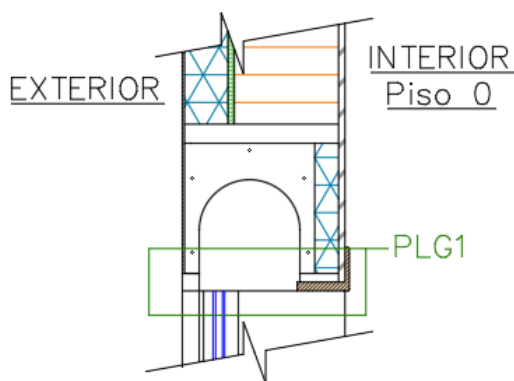


Figura B.13. Pormenor construtivo da PLG1

PLH1- ligação da fachada com padieira, ombreira e peitoril (Fig. B.14.)

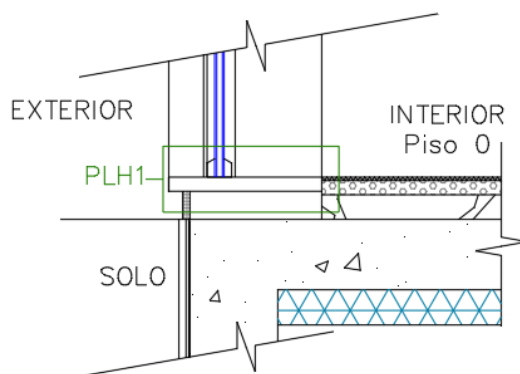


Figura B.14. Pormenor construtivo da PLH1

A Tabela B.5. resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares:

Tabela B.5. Caracterização das pontes térmicas lineares exteriores

Elemento	B [m]	Ψ [W/m.°C]
PLB1	34,31	0,55
PLC1	64,39	0,15
PLD1	36,76	1,00
PLE1	2,11	0,60
PLF1	40,12	0,40
PLG1	13,80	0,30
PLH1	33,54	0,10
PLH2	25,80	0,28

1.2.6. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca interior

1.2.6.1. Paredes da envolvente interior

PRI1 - Parede em contacto com espaço não útil (garagem)

PRI1 - Parede interior em contacto com espaço não útil (garagem), composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) Pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C); 3) Argamassa hidrófuga (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,11 W/(m.°C); 4) Isolante térmico XPS (9 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (0,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C). A Tabela B.6. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.15. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.6. Caracterização da PRI1

Área [m ²]	16,12
U [W/(m ² .°C)]	0,245
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

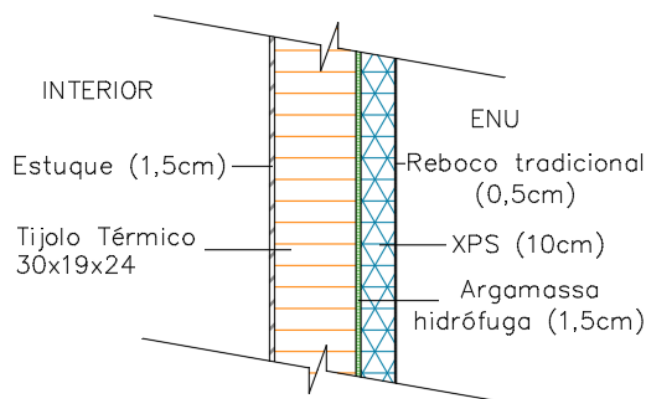


Figura B.15. Pormenor construtivo da PRI1

PRI2 - Parede em contacto com espaço não útil (desvão)

PRI2 - Parede interior em contacto com espaço não útil (desvão), composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) Estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) Pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C); 3) Argamassa hidrófuga (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,11 W/(m.°C); 4) Isolante térmico XPS (9 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (0,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C). A Tabela B.7. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.16. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.7. Caracterização da PRI2

Área [m ²]	4,06
U [W/(m ² .°C)]	0,245
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

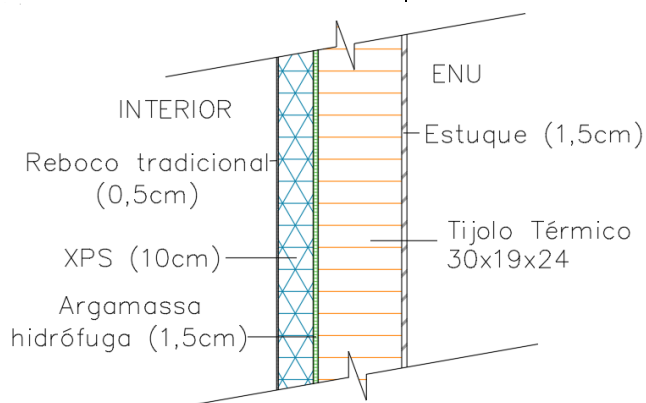


Figura B.16. Pormenor construtivo da PRI2

1.2.6.2. Portas da envolvente interior

POI1 - Porta da envolvente interior (garagem)

POI1 - Porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro. A Tabela B.8. resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Tabela B.8. Caracterização da POI1

Área [m ²]	1,89
U [W/(m ² .°C)]	3,30
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

1.2.6.3. Pavimentos sobre espaços não úteis

PVI1 - Pavimento sobre espaço não útil (desvão sanitário)

PVI1 - Pavimento interior sobre espaço não útil (cave), composto (de cima para baixo) por: 1) ladrilhos cerâmicos (1,0 cm) e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); 2) argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,8 W/(m.°C); 3) betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,70 W/(m.°C); 4) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de 0,15 m².°C/W (ascendente) e 0,16 m².°C/W (descendente); 5) isolante térmico XPS (10 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C). A Tabela B.9. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.17. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.9. Caracterização da PVI1

Área [m ²]	65,66
U _{asc.} [W/(m ² .°C)]	0,314
U _{desc.} [W/(m ² .°C)]	0,300
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

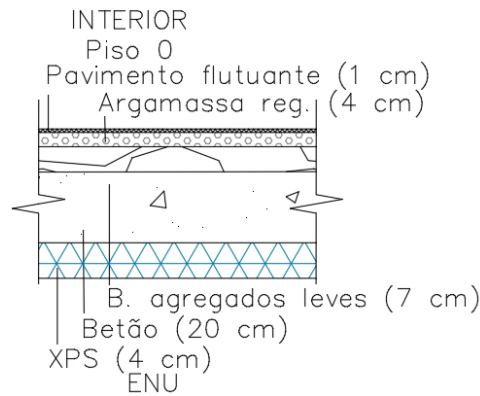


Figura B.17. Pormenor construtivo da PV11

PV12 - Pavimento sobre espaço não útil (desvão sanitário)

PV12 - Pavimento interior sobre espaço não útil (cave), composto (de cima para baixo) por: 1) acabamento de piso em pavimento flutuante (1,0 cm) com resistência térmica de $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 2) argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,8 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 3) betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,70 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 4) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 5) isolante térmico XPS (10 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. A Tabela B.10. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.18. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.10. Caracterização da PV12

Área [m^2]	12,08
$U_{\text{asc.}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,304
$U_{\text{desc.}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,291
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

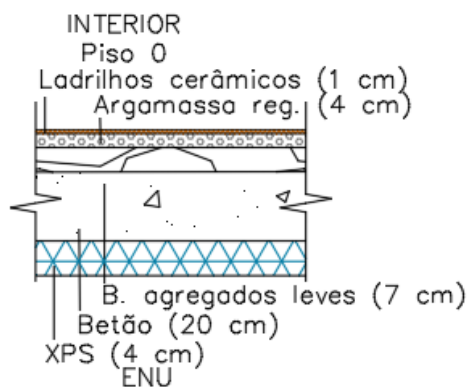


Figura B.18. Pormenor construtivo da PV12

1.2.6.4. Coberturas sob espaços não úteis

CBI1 - Cobertura sob espaço não útil (desvão 1)

CBI1 - Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) isolante térmico XPS (12 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$; 2) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (descendente); 3) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$. A Tabela B.11. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.19. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.11. Caracterização da CBI1

Área [m^2]	67,27
$U_{\text{asc.}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$]	0,185
$U_{\text{desc.}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$]	0,180
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

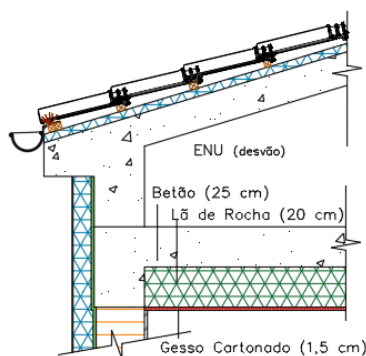


Figura B.19. Pormenor construtivo da CBI1

CBI2 - Cobertura sob espaço não útil (desvão 2)

CBI2 - Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) isolante térmico XPS (12 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$; 2) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (descendente); 3) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$. A Tabela B.12. resume os valores obtidos para o elemento em análise e a Fig. B.20. apresenta um pormenor construtivo.

Tabela B.12. Caracterização da CBI2

Área [m ²]	11,10
U _{asc.} [W/(m ² .°C)]	0,185
U _{desc.} [W/(m ² .°C)]	0,180
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

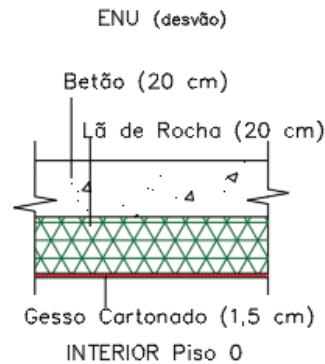


Figura B.20. Pormenor construtivo da CBI2

1.2.6.5. Pontes térmicas lineares da envolvente interior

Foram identificadas as seguintes situações de pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$:

PLB1i- ligação da fachada com pavimento sobre espaço não útil (Fig. B.21.)

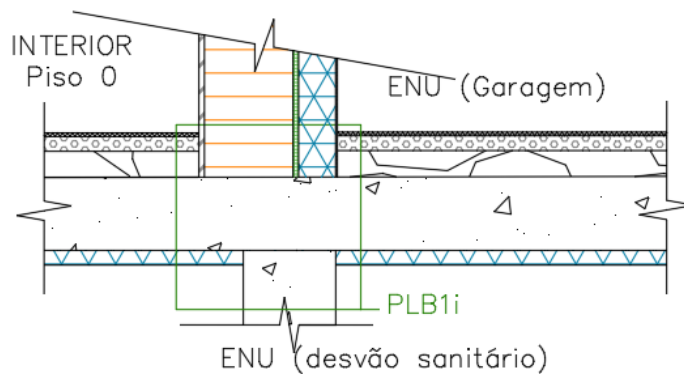


Figura B.21. Pormenor construtivo da PLB1i

PLD1i- ligação da fachada com cobertura sob desvão não útil (Fig. B.22.)

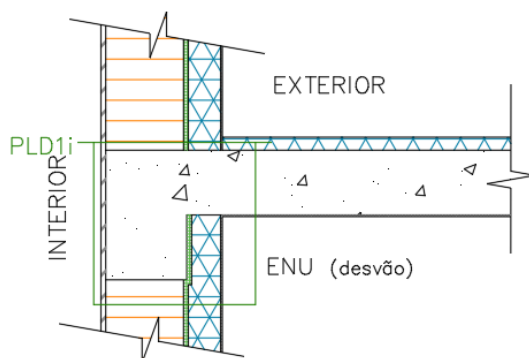


Figura B.22. Pormenor construtivo da PLD1i

PLE1i- ligação da fachada com varanda (Fig. B.23.)

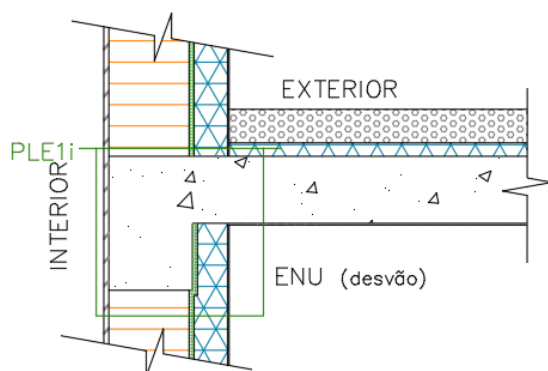


Figura B.23. Pormenor construtivo da PLE1i

PLF1i- ligação entre duas paredes verticais (Fig. B.24.)

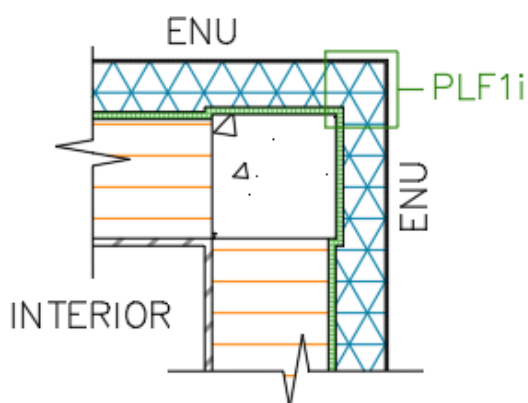


Figura B.24. Pormenor construtivo da PLF1i

A Tabela B.13. resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$:

Tabela B.13. Caracterização das pontes térmicas lineares interiores

Elemento	B [m]	Ψ [W/m.°C]	b_{tr}
PLB1i	6,97	0,55	1,00
PLD1i	7,69	0,60	1,00
PLE1i	4,48	0,60	1,00
PLF1i	5,73	0,40	1,00

1.2.7. Parâmetros térmicos dos vãos envidraçados da envolvente exterior

1.2.7.1. Identificação dos vãos envidraçados

A fração autónoma em estudo possui um total de 11 vãos envidraçados, identificados individualmente com as siglas EEV1 a EEV11.

1.2.7.2. Parâmetros dos vãos envidraçados

EEV1 a EEV10 - Vãos envidraçados exteriores

EEV1 a EEV10 - Vãos envidraçados exteriores verticais simples, com caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm, sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), com facto solar de 0,04 com o sistema 100% ativo e U_{wdn} de 2,1 W/(m².°C).

Tratando-se de uma habitação com ocupação noturna importante, com vãos envidraçados dotados de sistema de oclusão, foi quantificado o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite recorrendo à publicação do LNEC ITE50. Admitiu-se na estimativa de U_{wdn} que o sistema de oclusão noturna confere baixa permeabilidade ao ar quando encerrado.

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,75. A Tabela B.14. resume os valores obtidos para estes elementos.

Tabela B.14. Caracterização dos vãos envidraçados de EEV1 a EEV10

Identificação	Área total, em [m ²]	U_{wdn} , em [W/(m ² .°C)]
EEV1 a EEV10	17,50	2,10

EEV11 - Vão envidraçado exterior

EEV11 - Vão envidraçado exterior vertical simples, com caixilharia plástica, sem classificação, com vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm, sem quadrícula e sem proteção exterior, com fator solar de 0,72 e U_{wdn} de 1,68 W/(m².°C).

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,72. A Tabela B.15. resume os valores obtidos para este elemento.

Tabela B.15. Caracterização do vão envidraçado EEV11

Identificação	Área total, em [m ²]	U_w , em [W/(m ² .°C)]
EEV11	1,65	1,68

1.2.8. Classe de inércia térmica

A fração autónoma possui uma classe de inércia térmica FORTE.

1.2.9. Taxa de renovação do ar

A taxa de renovação de ar foi calculada com recurso à aplicação desenvolvida pelo LNEC.

1.2.10. Parâmetros térmicos do sistema convencional de produção de AQS

O sistema de apoio convencional para AQS previsto em projeto é constituído por um esquentador termostático a gás natural com eficiência de 0,92.

A tubagem de distribuição de AQS terá isolante térmico em espuma elastomérica à base de borracha sintética com resistência térmica de pelo menos 0,25 m².°C/W.

1.2.11. Parâmetros do sistema de aproveitamento de energias renováveis

Serão colocados 3,3 m² de coletores solares planos de circulação forçada, com um depósito de acumulação de 300 l colocados no interior e na posição vertical. A contribuição anual E_{ren} é de 2188 kWh/ano, sendo que toda a energia é utilizada para produção de AQS. O cálculo foi do E_{ren} foi efetuado com recurso ao programa Solterm do INETI. Os coletores são certificados pela CERTIF e serão instalados por instaladores credenciados pela DGEG.

1.2.12. Parâmetros térmicos do sistema de climatização

Para climatização (aquecimento) está prevista a instalação de uma caldeira a biomassa com uma eficiência de conversão de 0,95. A potência da caldeira prevista será inferior a 25 kW.

Para climatização (arrefecimento) não está previsto em projeto qualquer equipamento.

1.3. Verificação do cumprimento da conformidade regulamentar do edifício

1.3.1. Verificação do cumprimento da conformidade regulamentar

Foram cumpridos os requisitos quanto aos elementos opacos e envidraçados.

Foram cumpridos os requisitos mínimos relativos a ventilação.

Foram cumpridos os requisitos mínimos quanto a eficiência mínima dos sistemas mecânicos.

1.3.2. Verificação do cumprimento dos limites das necessidades energéticas

Após os cálculos necessários e todas as verificações, obteve-se os valores da Tabela B.16..

Tabela B.16. Caracterização energética do edifício

N_{ic} (kWh/(m ² .ano))	37,32	N_{vc} (kWh/(m ² .ano))	10,18	N_{tc} (kWh/(m ² .ano))	5,71
N_i (kWh/(m ² .ano))	84,57	N_v (kWh/(m ² .ano))	15,17	N_t (kWh/(m ² .ano))	126,54

1.3.3. Classe energética e taxa de emissão de CO₂

Da análise efetuada verifica-se que a moradia terá uma **Classificação Energética A+** e uma emissão anual estimada de **0,10 toneladas equivalentes de CO₂**.