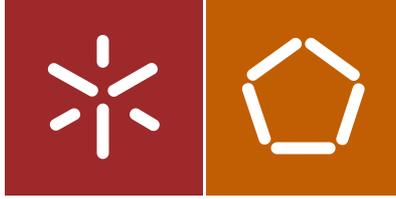




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Nelson Miguel da Silva Pinheiro

Otimização de soluções de reabilitação energética com o objetivo nZEB em edifícios de habitação social – o caso do Bairro Social das Enguardas - Braga



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Nelson Miguel da Silva Pinheiro

Otimização de soluções de reabilitação
energética com o objetivo nZEB em
edifícios de habitação social – o caso do
Bairro Social das Enguardas - Braga

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de
Professora Doutora Manuela Almeida
Doutor Ricardo Barbosa

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho de investigação não seria possível realizar sem o contributo de algumas pessoas que foram incansáveis no apoio e na transmissão de conhecimentos. Aproveito para expor o meu reconhecimento e respeito por todos estes que colaboraram na concretização deste estudo.

Agradeço à Professora Manuela Almeida pela partilha do seu conhecimento científico e orientação prestada que permitiu definir o plano de trabalhos seguido nesta investigação. Agradeço ao investigador Ricardo Barbosa pela disponibilidade constante e paciência em acompanhar os trabalhos, pela troca de ideias, pelo esclarecimento de dúvidas e orientação deste estudo.

À BRAGAHABIT, Empresa Municipal de Habitação de Braga, agradeço a disponibilidade de todos os documentos existentes, nomeadamente os respeitantes ao projeto de execução e ao concurso de construção do Bairro Social das Enguardas.

Por último, mas de importância extrema, reconheço o apoio incondicional da minha família. Quero agradecer em particular à minha esposa, Marina Bacelar, pelo apoio, compreensão e companheirismo em todo este percurso académico e à minha filha, Matilde Pinheiro, que em certos momentos deixou de ter o pai no acompanhamento do percurso escolar e a companhia nas suas brincadeiras.

RESUMO

Atualmente, observa-se uma consciencialização da sociedade em geral, no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável do planeta. Os edifícios europeus existentes são responsáveis pelo consumo de 40% da energia, constituindo um desafio importante no desenvolvimento sustentável das cidades. Como forma de mitigar este problema, a Diretiva para o Desempenho Energéticos dos Edifícios propôs o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), que assenta em edifícios de elevado desempenho energético, integrando também fontes de energias renováveis, com critérios de rentabilidade económica.

Os edifícios de habitação social são paradigmáticos que apresentam frequentemente patologias decorrentes de uma fraca qualidade construtiva e baixa eficiência energética. Existe assim a necessidade premente de intervir neste tipo de edifícios de forma a atingir o objetivo nZEB. Estes edifícios devem ser intervencionados ao nível da envolvente e sistemas técnicos e prever a produção de energia renovável no local, considerando não só as poupanças energéticas que proporcionam, mas também o custo global da solução em toda a vida útil do edifício.

A investigação realizada analisou cenários de possíveis intervenções a serem implementadas num edifício de habitação social em Braga, utilizando a metodologia de custo-ótimo com o objetivo de atingir o nível nZEB. Inicialmente analisaram-se soluções para a envolvente do edifício através das medidas de melhoria isoladas. Numa segunda fase, as medidas foram combinadas em pacotes de reabilitação sem alteração dos sistemas técnicos. No final analisaram-se os pacotes de reabilitação combinados com sistemas técnicos e integração de fontes de energia renováveis.

O estudo mostra que existe potencial para reduzir até 100% de energia primária não renovável (EPNR) com rentabilidade económica positiva. A solução de custo-ótimo levou a uma redução de 94% de EPNR e a uma diminuição de 54% dos custos globais, quando comparada com a reabilitação de referência. A solução de custo-ótimo é constituída por uma intervenção integrada que aglomera acréscimo de isolamento nas fachadas (através da aplicação de um

painel modular pré-fabricado) e na cobertura, substituição dos vãos envidraçados por uma solução com vidro duplo e sistemas técnicos que incluem esquentador para aquecimento das águas sanitárias (AQS), ar condicionado para climatização ambiente e painéis fotovoltaicos.

Os resultados deste estudo contribuem para a discussão relativamente ao modo de atingir as metas traçadas pela União Europeia (UE), o caminho a percorrer no sentido de alcançar os edifícios nZEB e até ZEB, e a oportunidade de ajudar a mitigar o problema da pobreza energética associado a este tipo de edifícios.

Palavras-chave: Custo-ótimo, desempenho energético, reabilitação de edifícios, habitação social, pobreza energética

ABSTRACT

Nowadays, there is an increasing awareness of society regarding the sustainable development of the planet. The existing European buildings are responsible for 40% of the energy consumption, posing a major challenge in the sustainable development of cities. In order to mitigate this problem, the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) introduced the concept of nearly Zero Energy Buildings (nZEB), which is based on high energy performance buildings with the integration of renewable energy sources harvested on site within cost-effectiveness criteria.

Social housing buildings are paradigmatic of buildings that often present pathologies due to poor construction quality and low energy efficiency. There is this a pressing need to intervene in this type of buildings. In order to reach the nZEB level in this type of buildings, interventions should include improvements on the envelope and technical systems and production of renewable energy on site, considering not only the energy savings provided but also the global costs over the entire life cycle of the building.

In this context, the research carried out analysed possible renovation scenarios to be implemented in a social housing building in Braga, using the cost-optimal methodology in order to reach the nZEB level. Initially, solutions just for the building envelope were analysed. In a second phase, these measures were combined into renovation packages with different technical systems. In the end, the renovation packages also included the integration of renewable energy sources.

The study shows that there is a potential to cost-effectively reduce non-renewable primary energy (NRPE) up to 100%. The cost-optimal solution led to a 94% reduction in NRPE and to a 54% reduction in global costs when compared to the reference case renovation. The cost-optimal solution consists of an integrated intervention considering the improvement of the façade (through the application of a prefabricated modular panel) and roof insulation, double glazing windows and a combination of systems that include domestic hot water preparation, a HVAC system and photovoltaic panels.

The results of this study contribute to the discussion on how to achieve the goals set by the European Union (EU), the way forward to reach the nZEB and even ZEB buildings, and the opportunity to help mitigating the energy poverty problem associated to this type of buildings.

Key-words: Cost-optimality, energy performance, building energy renovation, social housing, energy poverty

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura da dissertação	3
CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE	7
2.1 Introdução	7
2.2 Os edifícios e o desenvolvimento sustentável	8
2.3 Otimização do desempenho energéticos nos edifícios existentes	14
2.4 Conclusão	18
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO	21
3.1 Abordagem metodológica	21
3.2 Avaliação do desempenho energético	24
3.2.1 Zonamento climático	25
3.2.2 Soluções construtivas	25
3.2.3 Inércia térmica	27
3.2.4 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr})	28
3.2.5 Caracterização dos sistemas de ventilação	29
3.2.6 Caracterização dos sistemas técnicos	29
3.2.7 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	29
3.2.8 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	30
3.2.9 Necessidades nominais anuais de energia primária	30
3.3 Metodologia de custo-ótimo	33
3.3.1 Desempenho energético e energia primária	35
3.3.2 Avaliação do custo global	35
3.3.2.1 Cálculo financeiro (Perspetiva privada)	36

3.3.2.2 Cálculo macroeconómico (Perspetiva social)	37
3.4 Conclusão	37
CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO	39
4.1 Caracterização e levantamento geral do edificado	39
4.1.1 Caracterização da cobertura	45
4.1.2 Caracterização das paredes exteriores	45
4.1.3 Caracterização das paredes interiores	46
4.1.4 Caracterização dos vãos envidraçados	47
4.1.5 Caracterização das pontes térmicas	47
4.1.6 Caracterização da inércia térmica	48
4.1.7 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr})	49
4.1.8 Caracterização dos sistemas de ventilação	50
4.1.9 Caracterização dos sistemas técnicos	50
4.1.10 Zonamento climático	50
4.2 Caracterização do desempenho energético do edifício existente	51
4.3 Medidas de melhoria na reabilitação energética	52
4.4 Conclusão	56
CAPÍTULO 5 – RENTABILIDADE DOS PACOTES DE REABILITAÇÃO	57
5.1 Análise isolada das medidas de melhoria	57
5.2 Análise dos pacotes de reabilitação	64
5.3 Conclusão	71
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	75
6.1 Conclusões	75
6.2 Trabalhos Futuros	76
RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO	85
ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Principais marcos da legislação sobre o desempenho energético dos edifícios	12
Figura 2 - Procedimento da metodologia adotada na investigação	21
Figura 3 - Interação dos níveis das medidas de melhoria.....	23
Figura 4 - Gráfico genérico da análise de custo-ótimo.....	33
Figura 5 - Categoria de custos de acordo com o regulamento delegado (UE) N° 244/2012....	36
Figura 6 - Localização do Bairro Social das Enguardas.....	40
Figura 7 - Implantação e identificação do edificado no bairro social	41
Figura 8 - Planta tipo do edifício (Bloco C), com o apartamento alvo de estudo assinalado...	42
Figura 9 - Fachada Principal e Lateral Direita de edifício tipo	42
Figura 10 - Planta de apartamento tipo T3	44
Figura 11 - Vista do edifício (bloco C) onde se situa a habitação analisada.....	44
Figura 12 - Painel More-Connect	54
Figura 13 - Resultados da análise de custo-ótimo (paredes exteriores) – Perspetiva privada..	58
Figura 14 - Resultados da análise de custo-ótimo (paredes exteriores) – Perspetiva social	59
Figura 15 - Resultados da análise de custo-ótimo (laje esteira) – Perspetiva privada.....	60
Figura 16 - Resultados da análise de custo-ótimo (laje esteira) – Perspetiva social	61
Figura 17 - Resultados da análise de custo-ótimo (vãos envidraçados) – Perspetiva privada .	62
Figura 18 - Resultados da análise de custo-ótimo (vãos envidraçados) – Perspetiva social	62
Figura 19 - Resultados da análise de custo-ótimo (medidas isoladas) – Perspetiva privada....	63
Figura 20 - Resultados da análise de custo-ótimo (medidas isoladas) – Perspetiva social	64
Figura 21 - Resultados da análise de custo-ótimo (pacotes reabilitação) – Perspetiva privada	65
Figura 22 - Resultados da análise de custo-ótimo (pacotes reabilitação) – Perspetiva social	66
Figura 23 - Resultados da análise de custo-ótimo (pacotes reabilitação + sistemas técnicos) – Perspetiva privada.....	69
Figura 24 - Resultados da análise de custo-ótimo agrupados (pacotes reabilitação + sistemas técnicos) – Perspetiva privada	70
Figura 25 - Níveis de patamares de reabilitação (perspetiva privada)	73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características resumo das soluções construtivas	43
Tabela 2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior (CBE1).....	45
Tabela 3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior simples (PDE1)	46
Tabela 4 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior dupla (PDE2)	46
Tabela 5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PDI1).....	47
Tabela 6 - Características dos vãos envidraçados	47
Tabela 7 - Cálculo da ponte térmica plana da parede exterior (caixa de estore).....	48
Tabela 8 - Características das pontes térmicas lineares.....	48
Tabela 9 - Cálculo da inércia térmica.....	49
Tabela 10 - Parâmetros climáticos ajustados.....	51
Tabela 11 - Necessidades energéticas iniciais.....	52
Tabela 12 - Medidas de melhoria de reabilitação energética	53
Tabela 13 - Sistemas técnicos e energias renováveis	55
Tabela 14 - Pacotes de reabilitação	65
Tabela 15 - Constituição dos pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos.....	67
Tabela 16 - Constituição dos pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos (conclusão).....	68

SIGLAS

ADENE - Agência para a Energia

ALUM - Alumínio

AQS - Águas Quentes Sanitárias

A/C - Ar Condicionado

BM - Biomassa

CATL - Centro de Atividades dos Tempos Livres

COP - coeficiente de desempenho associado ao aquecimento (Coefficient Of Performance)

CO₂ - Dióxido de carbono

EER - Rácio de eficiência energética associado ao arrefecimento (Energy Efficiency Rating)

ENU - Espaço Não Útil

EPBD - Diretiva Europeia para Desempenho Energético dos Edifícios de 2002 (Energy Performance in Buildings Directive)

EPBD recast - Reformulação da Diretiva Europeia para Desempenho Energético de 2010 (Energy Performance in Buildings Directive recast)

EPBD recast (alteração) - Alteração da reformulada Diretiva Europeia para Desempenho Energético de 2018 (Energy Performance in Buildings Directive recast)

EPNR - Energia Primária Não Renovável

EPS - Poliestireno expandido

ER - Energia Renovável

ETICS - Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior (External Thermal Insulation Composite Systems)

FS - Fator solar do vidro

GEE - Gases com Efeito de Estufa

HP - Bomba de calor

IEA - Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)

INE - Instituto Nacional de Estatística

ITE - Informação Técnica de Edifícios

LCA - Avaliação do ciclo de vida (Life Cycle Assessment)

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos

nZEB - Edifícios com necessidades energéticas quase nulas (nearly Zero Energy Buildings)

ONU - Organização das Nações Unidas

PDE - Parede exterior

PDI - Parede interior

PEDU - Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano

PLMN - Placa de lã mineral natural

PLRV - Placa de lã rocha vulcânica

PP - Poliuretano projetado

PTPPDE - Ponte térmica plana da parede exterior (zona da caixa de estore)

PV - Painéis Fotovoltaicos

PVC - Policloreto de vinil, plástico (PolyVinyl Chloride)

PVGIS - Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica (Photovoltaic Geographical Information System)

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (1991)

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (2013)

rph – Renovações de ar por hora

SCE.ER - Regulamento relativo ao aproveitamento de energias renováveis

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

TS - Coletores solares térmicos

UE - União Europeia

U1 - Coeficiente térmico referente à parede exterior 1

U2 - Coeficiente térmico referente à parede exterior 2

UNFCCC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change)

VE - Vãos envidraçados

ZEB - Edifícios com balanço nulo de energia (Zero Energy Building)

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO

1.1 Introdução

Atualmente, a sociedade mundial tem uma percepção cada vez mais completa da importância do desenvolvimento sustentável no futuro da vida no planeta, com qualidade ambiental, satisfazendo as necessidades atuais sem pôr em causa as gerações vindouras. O caminho do desenvolvimento sustentável assenta essencialmente na integração de três pilares: o crescimento económico, o equilíbrio ambiental e a equidade social.

O consumo energético tem vindo aumentar ao nível global desde a era pré-industrial. Os edifícios europeus são responsáveis pelo consumo de 40% da energia gasta na União Europeia (EU) [1] e apresentam um elevado potencial de redução das suas necessidades energéticas. Esta oportunidade de reduzir o consumo de energia deverá principalmente ser aplicada aos edifícios existentes, pois, caso contrário, é impossível atingir as metas europeias para 2020, 2030 e 2050, em termos de energia e emissões, uma vez que o ritmo de substituição do parque edificado é muito reduzido [2]. Por outro lado, a maioria do edificado existente foi construído antes da existência de regulamentação térmica e/ou energética e apresenta um fraco desempenho energético [3].

A EU, por forma a atingir as metas traçadas e tornar a Europa numa economia segura e sustentável, tem vindo a impor novos requisitos nas regulamentações relacionadas com o desempenho energético dos edifícios. A diretiva europeia para o desempenho energético dos edifícios (EPBD 2002/91/EC) [4] impõe a melhoria do desempenho energético, direcionada maioritariamente para a construção nova. O conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB) é introduzido pela reformulada diretiva europeia (EPBD recast) 2010/31/EU [5] que assenta essencialmente num elevado desempenho energético, integrando fontes de energias renováveis de forma a colmatar parte das necessidades energéticas dos edifícios. A aplicação do conceito nZEB aos diferentes edifícios pode ser auxiliada pela

aplicação de uma metodologia de comparação de medidas de melhoria de desempenho energético que apresentem rentabilidade económica. Recentemente, foi publicada uma nova versão da diretiva europeia EPBD, diretiva 2018/844 [6], que introduz alterações na EPBD recast, em que um dos principais objetivos é o de acelerar a reabilitação (rentável) dos edifícios existentes.

A reabilitação dos edifícios residenciais, em geral, surge da necessidade de melhorar as condições de habitabilidade dos mesmos, levando, conseqüentemente, a um aumento da qualidade de vida dos utilizadores. A reabilitação pretende colmatar anomalias construtivas existentes, aumentar o conforto, melhorar a funcionalidade e também estética dos edifícios, indo ao encontro das necessidades atuais dos habitantes. A melhoria do desempenho energético dos edifícios pode ser conseguida através de intervenção global ao nível da envolvente (fachadas, envidraçados e cobertura) e dos sistemas técnicos (ventilação, climatização e águas quentes sanitárias (AQS)), com recurso à produção de energia de origem renovável de forma a colmatar parcial ou totalmente as reduzidas necessidades energéticas.

A população mais vulnerável ao nível socioeconómico é a mais suscetível de ser afetada com o problema da falta de obras de reabilitação. Neste contexto, a habitação social surge naturalmente em primeiro plano, visto ser caracterizada por construções executadas a custos controlados com recurso a materiais de baixa qualidade. Associado a estas características, o desempenho energético deste tipo de edifícios é fraco. Adicionalmente, de um ponto de vista geral, os bairros sociais são habitados por famílias que têm baixos recursos económicos. Existem assim, vários fatores de risco de pobreza energética, entre outros problemas. A pobreza energética é um conceito que começa a ganhar expressão no desenvolvimento de políticas sociais, de saúde e também de eficiência energética nos edifícios [7].

A lógica principal para que a avaliação de uma reabilitação energética faça sentido num contexto de habitação social prende-se essencialmente com o potencial de poupança energética que se pode obter. Para além desta questão, um edifício com estas características, no clima português é, por natureza, mais confortável, aumentando o bem-estar e reduzindo os riscos para a saúde dos ocupantes. É por isso urgente proceder à investigação de soluções que permitam a este tipo de edifícios atingir o nível nZEB.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho prende-se com a identificação de medidas com rentabilidade económica a aplicar na reabilitação energética (com o objetivo nZEB) de edifícios de habitação social. Assim, neste trabalho, pretende-se identificar, caracterizar e avaliar a situação existente e definir a rentabilidade das medidas e as soluções de custo-ótimo a implementar na reabilitação energética do Bairro Social das Enguardas, sito na freguesia de S. Vítor no concelho de Braga. Para além de melhorar o desempenho energético, as soluções a investigar devem também contribuir para melhorar o conforto térmico, a funcionalidade e a estética dos edifícios a serem intervencionados. Assim, neste estudo são analisados e comparados diferentes pacotes alternativos de reabilitação, sendo avaliados os seus impactos em diversos níveis de desempenho energético do edifício. As soluções mais adequadas serão selecionadas tendo em conta a otimização da relação custo/benefício e tendo em consideração as restrições que possam existir em termos técnicos e/ou económicos.

Como objetivo secundário, para além da utilização da metodologia de custo ótimo, o estudo permitirá também contribuir para a discussão das medidas mais adequadas a este tipo de edifícios e ao desenvolvimento de linhas orientadoras para uma reabilitação energética com o objetivo nZEB em edifícios de habitação social em Portugal. Este estudo piloto servirá também de base para a definição de pacotes de reabilitação a aplicar noutros edifícios de habitação social geridos pela BRAGAHABIT, Empresa Municipal de Habitação Social de Braga.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, em que o primeiro faz o enquadramento do tema e o segundo uma breve revisão do estado da arte relativo à reabilitação energética dos edifícios residenciais. Posteriormente é apresentada a metodologia de investigação seguida no trabalho e o caso de estudo utilizado para a investigação. É depois demonstrada a rentabilidade dos pacotes de reabilitação selecionados e finalmente é exposta a conclusão.

Capítulo 1 – Enquadramento – Este capítulo apresenta uma breve contextualização do tema, de carácter geral, assente em assuntos como o desenvolvimento sustentável, o consumo energético dos edifícios e a reabilitação dos mesmos. A definição dos objetivos também é exposta neste capítulo, bem como a estrutura da mesma.

Capítulo 2 – Estado da arte – Este capítulo ostenta o conhecimento, a evolução e o estado em que se encontram os assuntos relacionados com o consumo energético pela sociedade e em particular, relativamente aos edifícios. Aborda-se, neste capítulo, as metas traçadas pela comunidade internacional (em particular a UE), a reabilitação do edificado habitacional e a rentabilidade económica ao nível energético, assim como a pertinência deste tipo de intervenções para o combate à pobreza energética. Este capítulo assenta essencialmente na literatura científica existente sobre o tema desta dissertação.

Capítulo 3 – Metodologia de investigação – Neste capítulo é apresentada a descrição detalhada da abordagem metodológica aplicada para obter o melhor pacote de reabilitação energética de um edifício de habitação ao nível da rentabilidade económica, indo ao encontro dos objetivos previamente definidos. A rentabilidade económica assenta na metodologia de custo-ótimo, necessitando do cálculo das necessidades energéticas e do custo global do pacote de reabilitação. Descrevem-se ainda os procedimentos e critérios adotados, bem como as ferramentas utilizadas nas diversas fases da investigação.

Capítulo 4 – Caso de estudo – Neste capítulo, o edifício utilizado como caso de estudo para a investigação é identificado e localizado geograficamente. Posteriormente é realizada a caracterização e levantamento geral do edificado, quer ao nível das soluções construtivas aplicadas quer ao nível do dimensionamento. Demonstram-se ainda os cálculos necessários para a caracterização do edifício em particular, nomeadamente as necessidades energéticas do edifício no estado em que se encontra (reabilitação de referência). Por fim, propõem-se as medidas de melhoria de reabilitação energética, bem como sistemas técnicos, a aplicar ao edifício existente.

Capítulo 5 – Rentabilidade dos pacotes de reabilitação – Neste capítulo, as diversas simulações das intervenções propostas de reabilitação do edifício são apresentadas

graficamente e é feita uma análise dos resultados relativamente à rentabilidade dos vários pacotes de reabilitação.

Capítulo 6 – Conclusões – é apresentada a síntese do desenvolvimento da investigação e as principais conclusões da mesma, bem como proposta de sugestões de trabalhos futuros no âmbito desta dissertação.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

O capítulo aborda a evolução e o estado em que se encontram os temas relacionados com o consumo energético pela sociedade, com as metas traçadas pela comunidade internacional (em particular a UE), com a reabilitação do edificado habitacional ao nível energético, assim como a pertinência deste tipo de intervenções para o combate à pobreza energética.

2.1 Introdução

Presentemente, observa-se uma crescente consciencialização da sociedade, em particular nos países desenvolvidos, no que diz respeito ao consumo de recursos naturais, com ênfase nos recursos energéticos não renováveis. As alterações climáticas que têm acontecido a nível global devido à libertação de gases de efeito de estufa (GEE) e, por outro lado, o aumento dos preços da energia que se tem verificado ao longo dos últimos anos foram os promotores do debate sobre esta problemática que abrange as áreas sociais, económicas e ambientais.

Na Cimeira do Rio realizada no ano de 1992, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), ficou definido como objetivo global, a estabilização das concentrações de GEE por forma a evitar alteração do sistema climático [8]. Nesta Cimeira foi introduzido na Declaração de Princípios [9], o conceito de desenvolvimento sustentável já investigado no Relatório de Brundtland do ano de 1987 da ONU (Organização das Nações Unidas) [10]. O protocolo de Kyoto, do ano de 1997 [11], é um dos exemplos dos esforços desenvolvidos a nível europeu no sentido de reduzir as emissões GEE. Outro exemplo mais recente, do ano de 2015, é o tratado de Paris que rege as medidas de redução de emissão GEE a partir de 2020 [12].

A União Europeia definiu há mais de uma década (ano 2007) três objetivos primordiais para a política energética, conhecidos por objetivos 20 20 20. Estes objetivos visam atingir determinadas metas até 2020, tendo por base os dados de 1990 [1], nomeadamente a redução em 20% das emissões de GEE, aumentar para 20% a parte da energia proveniente de fontes

renováveis e aumentar em 20% a eficiência energética. Para 2030 foram já traçadas metas mais ambiciosas como a redução em 40% dos GEE, o aumento na utilização de energias renováveis para 27% do consumo total e o aumento de 27% da eficiência energética [1]. A UE também definiu a longo prazo uma meta para o ano 2050 que consiste em reduzir entre 80% a 95% as emissões GEE [1].

No Roteiro Europeu de Baixo Carbono 2050 [13] defende-se ainda que será necessário reduzir para metade as emissões mundiais até ao ano de 2050 relativamente ao ano de 1990, de forma a manter o aquecimento global abaixo dos 2°C (comparativamente ao período pré-industrial). Também na mesma linha outra publicação da UE intitulada “Ação climática” da coleção “Compreender as Políticas da União Europeia” [14] declara estas constatações acrescentando que o nível máximo das emissões deve ocorrer até ao ano de 2020 e continuar a redução das emissões após o ano de 2050.

A União Europeia, através destas metas, tem como objetivo transformar a longo prazo a Europa numa economia hipocarbónica e altamente eficiente ao nível energético, estimulando igualmente a economia com a criação de postos de trabalho e reforço da competitividade [15].

2.2 Os edifícios e o desenvolvimento sustentável

As cidades, e em particular, os edifícios, constituem um desafio fundamental para o sucesso dos objetivos enunciados na secção anterior. Os edifícios, a nível europeu, representam cerca de 40% da energia total consumida, e são responsáveis por 36% do total das emissões GEE [1]. A reabilitação dos edifícios existentes em detrimento da construção nova e da demolição possui assim uma elevada importância para o desenvolvimento sustentável das cidades. A reabilitação tem o potencial de atenuar os impactos ambientais, com a redução do consumo de energia, com a redução do uso de recursos naturais, com a redução da produção de resíduos e com a redução da ocupação de novos espaços. No entanto, em Portugal, a reabilitação está ainda muito longe dos valores médios europeus em termos de edifícios renovados por ano [3].

Para além disso, a maioria do edificado nacional existente foi construído antes de 1991 [3], ano em que entrou em vigor o primeiro regulamento térmico a nível habitacional. Estes edifícios apresentam no geral fraco desempenho energético, necessitando de intervenção ao

nível da envolvente. Embora a chamada arquitetura vernacular possuísse características construtivas que permitiam condições interiores com algum conforto térmico, o advento da globalização veio trazer técnicas (como o caso do uso do tijolo cerâmico) que se vulgarizaram independentemente das condições climáticas do local. Não havendo regulamentação térmica antes de 1991, o uso destas técnicas potenciou habitações com problemas de conforto e salubridade.

O parque habitacional português é caracterizado como sendo um parque envelhecido, encontrando-se degradado pela falta de obras de manutenção e conservação dos mesmos que é obrigatório pela regulamentação vigente [3]. A maioria deste edificado carece de intervenção geral ao nível da envolvente de modo a melhorar a sua eficiência e corrigir a origem de patologias construtivas [16]. Existem estudos que indicam que os edifícios portugueses construídos antes da primeira regulamentação térmica (ano de 1991), contribuirão no ano de 2050 em mais de 80% do consumo energético neste setor, caso não seja reabilitado ao nível energético [17]. Existe assim a necessidade de intervir neste tipo de edifícios para que seja possível atingir as metas definidas.

Embora se possa considerar que, em Portugal, o setor da reabilitação tem vindo a crescer no total de obras concluídas, o maior investimento continua a ser aplicado à construção nova [1]. Em 2013 o Instituto Nacional de Estatística (INE) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) publicaram um estudo, tendo por base o Recenseamento Geral da Habitação (Censos 2011), onde se constata que o mercado de reabilitação nacional representa cerca de 26% do total da construção, enquanto que a média europeia se situa próxima dos 35% [2].

Uma questão adicional relativamente ao desenvolvimento sustentável e a sua relação com os edifícios prende-se com a pobreza energética, que por sua vez se relaciona com as condições no interior dos edifícios e o desempenho energético. Mais de 30% da população nacional vive em habitações que não são confortáveis e apresentam sinais de pouca salubridade [18]. A redução dos rendimentos disponíveis por parte das famílias com a subida constante dos preços da energia verificada nos últimos anos, e aliada à fraca eficiência energética das habitações, constituem um dos principais problemas com que atualmente se deparam milhões de europeus. Este conceito de pobreza energética é predominante nos países do Sul da Europa, nomeadamente em Portugal, Espanha, Grécia e Itália [19]. Este conceito está diretamente

relacionado com a falta de capacidade financeira por parte das famílias em aqueceram adequadamente as suas habitações. Entre diversas definições, Kontonasiou et al. [20] considera uma situação de pobreza energética se o custo de aquecimento da habitação for superior a 10% do rendimento disponível do agregado familiar. O caso da Bulgária deve ser referido devido ao facto de cerca de 40% da população se encontrar a habitar os edifícios nestas condições [21]. Não estando no mesmo patamar que a Bulgária, Portugal apresenta um potencial perigo de pobreza energética com cerca 20% da população ao nível do aquecimento e com cerca de 30% ao nível do arrefecimento (média nacional de 28%), segundo dados apresentados por Simões et al. [22]. O mesmo autor mapeou Portugal com esta problemática, onde verificou grande disparidade de resultados entre regiões com especial preocupação para o concelho de Bragança onde existe mais pobreza energética entre a população com mais de 65 anos (cerca de 75%) e apresenta-se como o concelho com temperaturas mais baixas durante o inverno.

A pobreza energética na habitação está associada aos baixos rendimentos das famílias, à idade avançada dos ocupantes, ao preço elevado da energia e ao fraco desempenho térmico e energético dos edifícios [7]. Estes fatores têm especial relevância na população mais vulnerável no panorama nacional da habitação social que é caracterizada por construções executadas a custos controlados e com materiais construtivos de baixa qualidade. A habitação social representa 2% do parque habitacional nacional, com 120.000 habitações inseridas em 26.000 edifícios, segundo dados datados de 2015 do Inquérito à Caracterização da Habitação Social [23]. A melhoria das condições interiores de uma habitação, através de climatização e ventilação adequada, está intimamente ligada a maiores níveis de conforto, mas também de saúde, reduzindo a mortalidade e morbidade resultantes de ambientes interiores com fraca qualidade, nomeadamente em grupos vulneráveis como crianças, idosos ou doentes [24]. Tradicionalmente estas construções têm, na sua base, questões prioritárias que não incluem uma envolvente construtiva de qualidade e por isso, na sua maioria, estas habitações apresentam patologias na envolvente e nos espaços interiores, assim como um baixo desempenho energético.

A reabilitação energética surge assim como uma necessidade, mas também como uma oportunidade em originar impactos positivos em diversas áreas. Ao nível social, surge o momento de contribuir para a redução do problema da pobreza energética, criar melhores

condições de habitabilidade e conforto, sendo benéfico para a saúde e o bem-estar dos ocupantes. Ao nível ambiental, contribui para a diminuição dos GEE libertados para a atmosfera, através do decréscimo do consumo de energias não renováveis, durante o período de utilização do edifício, não esquecendo os benefícios originados pela não demolição e reconstrução. Ao nível económico, contribui para a dinamização da economia, potenciando a criação de emprego e o aumento do rendimento disponível das famílias, contempladas pela reabilitação energética, enriquecendo o edifício relativamente ao valor patrimonial [25].

O reforço térmico da envolvente dos edifícios, segundo a ADENE, Agência Portuguesa para a Energia [16], é atingido com o reforço de isolamento térmico dos elementos da envolvente e controlo dos ganhos solares dos vãos exteriores envidraçados através de proteção adequada dos mesmos. A cobertura é um elemento construtivo responsável pela proteção das intempéries, principalmente em situações extremas do clima, conhecida por “quinta fachada”. Este elemento construtivo é considerado como prioritário aquando de uma intervenção de reabilitação energética, visto que, segundo a ADENE [16], origina benefícios imediatos na redução das necessidades energéticas dos edifícios. A Agência Portuguesa para a Energia [16] também refere possibilidades de adição do isolamento térmico nas fachadas, nomeadamente pelo exterior, fachada ventilada, ETICS, rebocos isolantes, painéis pré-fabricados; e pelo interior através de, contra fachadas com caixa de ar, painéis pré-fabricados afixados no suporte ou incorporação de material isolante em caixa de ar existente.

A primeira regulamentação nacional sobre as condições térmicas de edifícios entrou em vigor a 1 janeiro de 1991. O Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro [26] publicou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) em que a prioridade são as necessidades das populações, de forma a melhorar as condições de salubridade e de conforto dos edifícios, em particular os edifícios de habitação. Este regulamento veio, de uma forma racional, reduzir exagerados consumos de energia e evitar patologias comuns na maioria das habitações, i.e., as condensações.

Portugal tem procurado também seguir as diretivas que emanam do espaço europeu, ratificando as suas orientações e impondo requisitos, cada vez mais apertados para o desempenho térmico e energético dos edifícios. Na Figura 1, é possível visualizar a sequência de regulamentação europeia e nacional relativa ao desempenho energético dos edifícios.

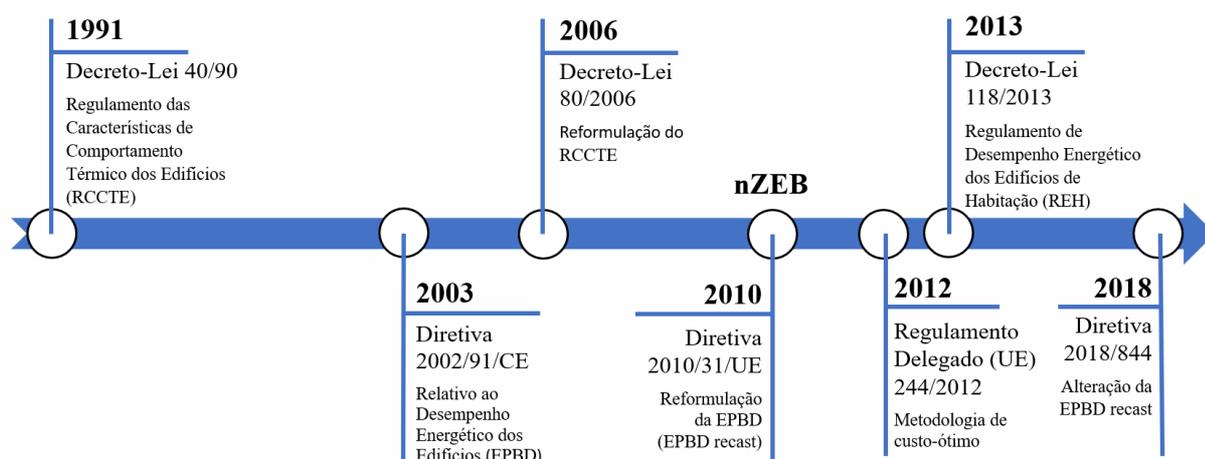


Figura 1 - Principais marcos da legislação sobre o desempenho energético dos edifícios

Percorrendo a evolução das diretivas europeias demonstrado na Figura 1, a Comunidade Europeia aprovou a Diretiva para Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) 2002/91/EC de 16 de dezembro [4], do Parlamento Europeu e do Conselho, com a entrada em vigor em janeiro de 2003. A diretiva EPBD de 2002 tinha em foco a melhoria do desempenho energético dos novos edifícios. Aos edifícios existentes impunha-se requisitos em grandes reabilitações, que consistem em intervenções relacionadas com a envolvente do edifício e com os sistemas técnicos. Nestas intervenções, o custo da obra é superior a 25% do valor do edifício, sem incluir o valor do terreno, ou em que a intervenção seja mais de 25% da envolvente do edifício. Esta diretiva foi dirigida para edifícios de habitação e para edifícios de comércio de pequena dimensão.

A diretiva europeia EPBD foi ratificada na legislação nacional em julho de 2006, através da publicação do Decreto-Lei n.º80/2006 de 4 de Abril (RCCTE 2006) [27]. Este regulamento reformula o anterior RCCTE de 1990, impondo por exemplo a obrigação à instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária nos edifícios de habitação. Esta legislação relaciona as vertentes conforto, consumo energético e impacto ambiental, introduzindo a componente da energia primária. De referir a importância dada à questão da renovação do ar, pois as soluções construtivas empregues à data nos edifícios, apresentavam características cada vez mais estanques, que contribuíam para o aparecimento de patologias, sobretudo as condensações.

A Comunidade Europeia procedeu à revisão da EPBD de 2002, com a publicação da Diretiva 2010/31/EU (EPBD recast) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 [5]. A revisão da diretiva veio reforçar os requisitos de desempenho energético, de aplicação independente por cada Estado-Membro, bem como clarificar algumas questões da EPBD de 2002. Com esta diretiva procedeu-se à introdução do conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB), sendo obrigatório aplicar a todas as construções novas, após 31 de dezembro de 2020. Para além de um elevado desempenho energético, nestes edifícios deve-se suprimir as reduzidas necessidades energéticas, com recurso a fontes de energia renovável produzida no local ou nas proximidades.

Apesar de na diretiva não serem apontados requisitos técnicos de modo a quantificar o que é de facto um nZEB, o documento relaciona o conceito com a rentabilidade económica das medidas de eficiência energética. Neste sentido, o Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 da Comissão Europeia de 16 de janeiro de 2012 [28] veio dar resposta ao imposto pela revisão da diretiva nomeadamente com a inclusão de um quadro metodológico para a realização de uma comparação entre as diferentes medidas de melhoria do desempenho energético, contabilizando a energia consumida e o custo global durante o ciclo de vida do edifício. Com o propósito de atingir o nível nZEB nos edifícios, a Comissão Europeia estabeleceu a metodologia de custo-ótimo, para a determinação de níveis ótimos de rentabilidade. É possível realizar o estudo de rentabilidade ótima dos edifícios atendendo duas perspetivas distintas, a perspetiva social (macroeconómica) ou a perspetiva privada (microeconómica), as quais apresentam finalidades e preocupações diferentes [28].

O Decreto-Lei n°118/2013 de 20 de agosto [29] que define o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) revogou o RCCTE (Decreto-Lei n.º80/2006) e ratificou a revisão da EPBD. Este novo regulamento impôs novos requisitos para a envolvente dos edifícios, com atualização progressiva até o ano de 2020, assim como estabeleceu os requisitos de eficiência energética para sistemas técnicos, nomeadamente nos sistemas de climatização, sistemas de preparação de águas quentes sanitárias, sistemas de iluminação e sistemas de energias renováveis. O REH [29] aumentou a área de atuação com a abrangência da maioria das reabilitações dos edifícios existentes. A transposição da Diretiva de 2010 foi realizada através do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação [29] (REH), “os quais devem ser dotados de uma componente eficiente compatível com os

resultados decorrentes da aplicação da metodologia de custo-ótimo” [28], ou seja, com base em critérios de rentabilidade económica.

Mais recentemente, em 19 de junho de 2018, foi publicada a Diretiva (EU) n.º 2018/844, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018 [6] que altera a Diretiva 2010/31/EU (EPBD recast) relativa ao desempenho energético dos edifícios. Entrou em vigor em 9 de julho de 2018, com prazo para a transposição da legislação nacional até 10 de março de 2020. De entre os objetivos desta nova revisão encontra-se o de acelerar a reabilitação rentável dos edifícios existentes. As alterações inseridas nesta revisão incluem: - introdução de novas definições como o “sistema de controlo e automatização dos edifícios”; obrigatoriedade de delimitação de estratégias a longo prazo para 2050 com apoio à renovação dos parques de edifícios habitacionais e não habitacionais, dotando-os com elevada eficiência energética e descarbonização, convertendo-os em edifícios com necessidades quase nulas de energia; - incentivo à implementação de infraestruturas para a mobilidade elétrica e inserção de um indicador de aptidão para tecnologias inteligentes nos edifícios novos. A alteração da diretiva em 2018 incentiva ainda o financiamento público para a renovação dos edifícios de forma a poder estimular a luta contra a pobreza energética.

2.3 Otimização do desempenho energéticos nos edifícios existentes

Embora o tema da otimização do desempenho esteja também predominantemente tratado no âmbito da construção nova, vários estudos abordaram esta questão relativamente aos edifícios existentes.

Nesta secção, pretende-se rever a literatura existente relevante, relativamente a este tema em vários contextos e tipos de edifícios, de forma a contribuir para o entendimento do estado da arte. Inicialmente, são analisadas as investigações de autores que estudaram edifícios residenciais, incluindo a habitação social, em Portugal. Seguindo-se os artigos em que são analisados climas diferenciados em que as temperaturas são significativamente mais baixas. Por fim, os estudos que se focam em edifícios não residenciais.

No que se refere a Portugal, dos vários trabalhos realizados nesta área, importa referir o estudo de Almeida et. al [2] onde se aplica a metodologia custo-ótimo num edifício

residencial característico do parque habitacional de Portugal. Os autores obtiveram a solução de reabilitação de custo-ótimo que incorpora isolamentos na envolvente opaca (fachadas, coberturas, pavimentos), envidraçados duplos para as janelas, uma bomba de calor para aquecimento e AQS. Esta investigação obteve, na perspetiva privada, uma redução de energia primária de 80%. Constatou ainda, de forma importante, que existe a distância de 20% entre os níveis ótimos de necessidades de energia primária e os limites regulamentares. As conclusões deste estudo sugerem que os níveis ótimos de rentabilidade podem ser atingidos com diferentes soluções construtivas para a envolvente, com a devida interação dos sistemas técnicos que contêm rendimentos e fontes de energias distintos. Em geral, quanto mais eficiente o sistema, menor investimento na envolvente terá que ser realizado.

Ainda no contexto português, o estudo de Brandão de Vasconcelos et al. [30] analisou edifícios residenciais construídos entre a década de 60 e 90, onde a solução custo-ótimo, é constituída por isolamento nas paredes exteriores (pelo interior) e na cobertura; pavimento em vinil sem isolamento térmico; os envidraçados em caixilharia de alumínio, sem corte térmico e com vidro duplo. A solução de custo ótimo considera ainda ar condicionado para climatização, sem alteração do sistema AQS. Nesta solução de custo-ótimo, conduziu a reduções superiores a 50%, ao nível das necessidades de EPNR. Os autores concluíram, que a reabilitação térmica do telhado produz a maior redução no consumo de energia primária, mesmo num edifício de 7 andares. Por outro lado, a combinação de medidas de reabilitação (pacote de reabilitação) cria efeitos de sinergia que leva a melhores resultados, do que as medidas individuais, ao nível da rentabilidade.

Neste contexto e com especial importância para o tema desta dissertação, Mestre et. al [25] analisou as soluções de reabilitação de fachadas como contributo para atingir o nZEB num edifício de habitação social em Portugal, no âmbito do projeto europeu More-Connect. Os autores concluíram que um pacote de reabilitação, sem fontes de energias renováveis, constituído por isolamento nas paredes exteriores, na cobertura e com envidraçados exteriores duplos, associados a novos sistemas técnicos, pode conduzir a uma redução de 73% nas necessidades de energia primária. Neste estudo, foi identificado como solução para o cenário nZEB, um pacote de reabilitação composto pela aplicação de poliestireno expandido com 60mm de espessura nas paredes exteriores, com lã de rocha de 80mm de espessura na cobertura, com janelas de vidro duplo. A solução contempla ainda um sistema de ar

condicionado (aquecimento e arrefecimento) e um esquentador a gás para AQS. Neste estudo, a solução para atingir o cenário ZEB seria incorporar um sistema solar fotovoltaico de modo suprimir as necessidades energéticas remanescentes obtidas para o cenário nZEB.

Ao nível da habitação social, em Portugal, salienta-se ainda dois estudos de relevância. Ferreira et. al [31], [32] analisou a reabilitação de edifícios com recurso à metodologia de custo-ótimo. Ambos os estudos se focam em edifícios situados a norte do país, onde foram aplicados isolamentos térmicos na envolvente opaca (fachadas, cobertura), aplicados vãos exteriores envidraçados com vidro duplo e alterados os sistemas técnicos.

No primeiro estudo, referente ao bairro de habitação social da Rainha Dona Leonor [32], verificou-se a redução de necessidades de energia primária de 81%, sendo a solução de custo-ótimo constituída por colocação de isolamento de poliestireno expandido (EPS) de 8cm nas fachadas, isolamento EPS de 8cm na cobertura, janelas em PVC com vidro duplo e bomba de calor para climatização e AQS. Conclui-se que a solução ótima não é afetada pelo sistema técnico, em direção às necessidades quase nulas de energia. É também relevante a indicação do estudo relativamente ao facto dos pacotes de renovação que apresentam melhor custo-ótimo terem coeficientes térmicos para além dos valores de referência da regulamentação.

No segundo estudo, relativo à urbanização de Vila D'Este [31], obteve-se uma redução de necessidades de energia primária de 75%, com níveis ótimos de rentabilidade. A solução custo-ótimo, na perspetiva privada, é constituída por caldeira a gás natural para aquecimento e AQS, isolamento pelo exterior (ETICS) com placas de EPS de espessura de 4cm para as paredes exteriores, lã de rocha com 14cm para a cobertura, lã de rocha com 8cm para o pavimento sobre o espaço não aquecido, e envidraçados com vidro duplo com caixilho em PVC. Na perspetiva social, a medida que conduz aos níveis ótimos de rentabilidade é a mesma composição, mas com a diferença em relação à solução da parede, onde a espessura do EPS é de 8cm. Nesta investigação conclui-se que é mais rentável intervir de forma global no edificado, do que intervir pontualmente num elemento construtivo. Os níveis nZEB foram concebidos com recurso à incorporação de fontes de energia renovável e demonstra ser claramente rentável.

Numa perspetiva de entendimento da abrangência deste tipo de estudos, houve a necessidade de procurar outros contextos em que a metodologia fosse aplicada. Numa reabilitação de um edifício de bairro residencial na cidade de Moscovo (Rússia), Paiho et. al [33] através de uma abordagem holística, verificou uma redução de necessidades de 34% da energia primária, e diminuição de 72% na energia necessária para o aquecimento. Os autores concluíram que o gás natural se apresentava com a solução mais eficaz, comparativamente ao biogás, potenciando também a produção de energia renovável. Por fim, constataram ainda que a renovação de um bairro não deve ser limitada à reabilitação das habitações, mas alargada a todo o território e a toda a cadeia energética, de forma a atingir melhores resultados ao nível da abordagem holística (global).

Este tipo de estudos não se foca somente em edifícios residenciais. Como exemplo, o estudo de Ferrari et. al [34] procedeu à avaliação da reabilitação energética em um edifício público (escritórios), sito no campus da Universidade de Milão (Itália) com o objetivo de melhorar o desempenho energético, ao nível dos requisitos nZEB. Este estudo, através da melhoria do isolamento térmico das coberturas e fachadas, atingiu reduções de 40% das necessidades de energia primária e emissões de GEE associadas. O estudo permitiu também concluir que o uso de níveis superiores ao padrão estabelecido não é proporcional ao desempenho, podendo também alcançar necessidades de energia primária próximo de zero, através da exploração das fontes de energia renovável no local.

Na mesma perspetiva, o estudo de Congedo et. al [35] analisou através da metodologia de custo-ótimo, o desempenho energético em edifícios novos de escritórios, localizado em Lecce, no sul de Itália. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram reduções de 39% de energia primária e redução de emissões de CO₂ em 41%, ao menor custo. O pacote é constituído por painéis pré-fabricados nas paredes exteriores, janelas com caixilharia em madeira, bomba de calor geotérmica, com ventilo-convetores, painéis fotovoltaicos e coletores solares térmicos.

Finalmente, importa ainda realçar uma outra abordagem que foi possível encontrar na literatura científica revista. No artigo de Almeida et. al [36], procedeu-se à análise de edifícios em seis regiões diferentes da Europa, com o objetivo de analisar o efeito de considerar a energia incorporada na rentabilidade de medidas de melhoria em intervenções de reabilitação

energética. Esta abordagem, analisou a implementação da metodologia para comparar o custo-ótimo das reabilitações dos edifícios, alargada à avaliação do ciclo de vida (LCA – Life Cycle Assessment), no âmbito do projeto Annex 56 da Agência Internacional de Energia (IEA – International Energy Agency).

Os resultados obtidos consideraram três cenários de reabilitação por cada caso de estudo, em que se verificou um efeito decrescente entre 2% a 32%, nas potenciais reduções de necessidades de energia primária e emissões alcançadas com as medidas de reabilitação. A investigação refere, que todos os pacotes são rentáveis para seguintes casos: na Áustria, significa um impacto nas reduções de 4% a 11%; em Portugal uma diminuição das reduções de 2% a 15%; na Espanha uma diminuição de 2% a 5%, para todos os indicadores. Por sua vez, num edifício não residencial, situado na República Checa, a maioria das soluções são rentáveis, e tem um efeito nas reduções de 5% a 12%. No caso da Suécia verifica-se um número menor de soluções rentáveis, visto existir aquecimento urbano, apresentando redução de 15% a 32% para EPNR, de 8% a 15% TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo) e de 9% a 19% para emissões de carbono. Na Dinamarca, não existem medidas rentáveis, no entanto verifica-se um efeito de diminuição nas reduções de 3% a 6% para as emissões de carbono e de 14% a 28% para EPNR e TEP. A consideração de energia incorporada tem um efeito de diminuição da redução de energia primária e emissões de GEE, mas não tem implicações na hierarquia da rentabilidade das medidas consideradas.

2.4 Conclusão

Ao longo dos últimos anos tem-se verificado grandes alterações climáticas, com impacto na vida das populações, pelo que importa consciencializar a sociedade para a importância do desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a EU impõem restrições apertadas, ao nível do consumo energético e nas emissões de GEE.

A nível europeu, o edificado existente é responsável pelo consumo de 40% da energia, que na sua maioria apresenta fraco desempenho energético, necessitando de reabilitação principalmente ao nível da envolvente. No que se refere ao contexto português, o parque habitacional apresenta oportunidade de reabilitação e possibilita uma abordagem à construção sustentável.

Após consulta regulamentar verificou-se, que tanto a legislação nacional como as diretivas europeias, focaram-se inicialmente em edifícios novos, mas com o desenvolvimento da tecnologia e respetivo aumento dos consumos energéticos também se começou a direcionar os esforços para os edifícios existentes. Só a longo prazo, seria possível obter impactos significativos com intervenção apenas no edificado novo, visto que a substituição do parque edificado existente é efetuada lentamente [2]. A última diretiva europeia publicada a 9 de julho de 2018 com prazo para a ratificação da legislação nacional até 10 de março de 2020, apresenta como um dos objetivos acelerar a reabilitação rentável dos edifícios existentes.

A reabilitação energética com vista ao objetivo nZEB está intimamente ligada à rentabilidade económica que deve ser avaliada considerando as reduções de necessidades de energia primária, bem como os custos globais ao longo do período de vida útil do edifício. O conceito de edifício nZEB vai estar cada vez mais presente, visto que a sua implementação obrigatória para todos os edifícios novos é aplicada após 31 dezembro de 2020.

A revisão efetuada à literatura científica na área permitiu sustentar que a reabilitação energética com o objetivo nZEB é atingida com intervenção ao nível da envolvente, com aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos (fachadas, cobertura e pavimentos), com envidraçados duplos nos vãos exteriores e quando associados a sistemas técnicos eficientes e integradas fontes de energias renováveis, apresenta um potencial significativo na redução de necessidades de EPNR, de emissões de gases poluentes associados e nos custos globais anuais. Entre outros benefícios diretos encontram-se ainda a melhoria do conforto e bem-estar do ocupante associado à melhoria do desempenho energético do edifício. Do ponto de vista custo/benefício, a reabilitação energética tem potencial económico, com rentabilidade positiva, mesmo com a introdução de abordagens distintas e reconhecidas no meio científico, como a holística ou a avaliação do ciclo de vida (LCA) que contempla a energia incorporada e emissões associadas.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo, é descrito o procedimento da metodologia adotada para a obtenção da rentabilidade de medidas de melhoria e de pacotes de reabilitação aplicados num edifício de habitação social.

3.1 Abordagem metodológica

A abordagem centra-se numa lógica de caso de estudo para atingir os objetivos propostos. A abordagem metodológica utilizada neste estudo remete para o Regulamento Delegado 244/212 [28] relativamente aos passos necessários à análise do custo ótimo. A Figura 2 apresenta as 5 fases consideradas.

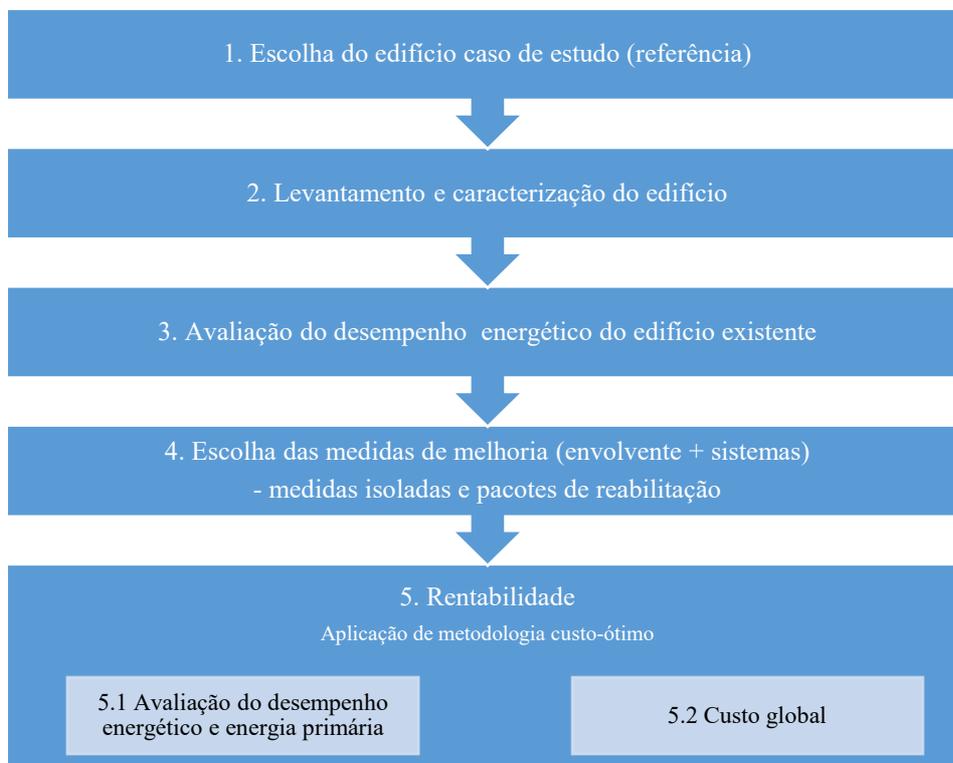


Figura 2 - Procedimento da metodologia adotada na investigação

Na primeira fase (1.), o edifício foi identificado para o caso de estudo. Na segunda fase (2.), foram realizados o levantamento dimensional e a caracterização das soluções construtivas. A terceira fase (3.), diz respeito à obtenção do desempenho energético através da quantificação das necessidades energéticas do edifício existente. Na quarta fase (4.), são propostas medidas de melhoria para a envolvente que foram analisadas isoladamente e que serviram de base para a constituição dos pacotes de reabilitação, e na quinta e última fase (5.), é avaliada a rentabilidade económica para as medidas de melhoria isoladamente, e posteriormente para os pacotes de reabilitação.

Em seguida são detalhadas as várias fases.

Fase (1.) O edifício caso de estudo foi escolhido e identificado por apresentar diversos fatores, nomeadamente: 1) as características térmicas, ao nível da envolvente serem suscetíveis de melhoria, 2) existir a possibilidade de visita ao local do edifício, 3) ser possível consultar os projetos de execução e 4) presentemente verificar-se a necessidade e possibilidade de reabilitação. Adicionalmente, o edifício em estudo, ao nível da envolvente, apresenta patologias que necessitam de intervenção e existe a possibilidade de apresentar candidatura de financiamento aos fundos comunitários no âmbito do quadro Portugal 2020. Este edifício serviu como base à reabilitação de referência ao nível do desempenho energético e ao nível económico (custo global) para ser comparado com as medidas de melhoria e com os pacotes de reabilitação. A reabilitação de referência consiste numa intervenção centrada em obras de manutenção e conservação em que não há melhorias no desempenho energético do edifício.

Fase (2.) Nesta fase foi realizado um levantamento rigoroso, quer ao nível dimensional quer ao nível da caracterização das soluções construtivas empregues no edifício caso de estudo. Este levantamento foi executado com recurso a visitas ao local e com prospeções realizados nos elementos construtivos, de forma a caracterizar com maior exatidão a própria constituição das soluções construtivas, bem como as características térmicas dos materiais.

Fase (3.) Após a obtenção destes elementos, existem condições para realizar a avaliação do desempenho energético do edifício nas condições em que atualmente se encontra (cujo desempenho será a base da reabilitação de referência), neste caso com recurso à ferramenta informática (folha de cálculo) disponibilizada pelo IteCons [37], de modo a obter um cálculo

automático das necessidades energéticas. Esta fase é apresentada com maior pormenor, na secção 3.2 “Avaliação do desempenho energético”.

Fase (4.) Posteriormente são analisadas diversas medidas de melhoria de desempenho energético, nomeadamente para a envolvente exterior (fachadas, envidraçados e cobertura) isoladamente, de forma a facilitar a constituição de pacotes de reabilitação. As medidas de melhoria foram escolhidas tendo por base as soluções construtivas mais utilizadas no mercado português. Adicionalmente, as medidas de melhoria incluídas neste estudo, consideraram ainda características como: serem fáceis de aplicar, rápidas a executar, evitar demolições e compatíveis com a base de aplicação. Estas medidas de melhoria têm como objetivo originar um aumento significativo no desempenho energético do edifício, i.e., uma redução nas necessidades energéticas do edifício, nomeadamente em relação a aquecimento, arrefecimento e AQS.

Para a constituição dos pacotes de reabilitação e após a análise isolada das medidas de melhoria, sinalizaram-se as soluções custo-ótimo de cada medida aplicada a cada elemento construtivo da envolvente. Adicionalmente incluiu-se as medidas de melhoria por elemento construtivo que apresentaram um desempenho energético próximo da solução custo-ótimo.

Progressivamente são incorporados os sistemas técnicos e por fim a produção de energia proveniente de fontes renováveis, conforme se constata na Figura 3. As soluções construtivas e os sistemas técnicos foram concebidos tendo por base a oferta existente no mercado português, bem como a pesquisa bibliográfica, tendo sempre em consideração os aspetos económicos, funcionais/desempenho e ambientais.

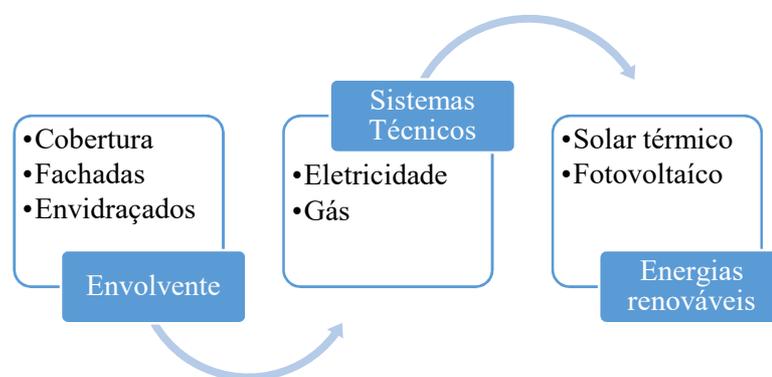


Figura 3 - Interação dos níveis das medidas de melhoria

Após análise das medidas aplicadas isoladamente, acompanhando a Figura 3, criaram-se os pacotes de reabilitação com as melhores soluções relativamente à rentabilidade, incluindo as soluções de custo-ótimo, de todos os grupos das medidas de melhoria (envolvente). A esses pacotes de reabilitação energética, compostos por medidas de melhoria de toda a envolvente são associados sistemas técnicos de climatização e AQS, quer alimentados por eletricidade quer por gás natural. São depois acrescentadas as fontes de energia renovável com recurso a coletores solares térmicos para aquecimento de água sanitária e a painéis fotovoltaicos para a produção de eletricidade.

Fase 5.) Após definição das medidas de melhoria e pacotes de reabilitação e com vista à determinação da rentabilidade económica dos mesmos, este estudo seguiu a metodologia do custo-ótimo, conforme detalhada na secção 3.3, e baseada essencialmente na avaliação do desempenho energético da medida ou pacote de medidas (passo 5.1) e no custo global do mesmo (passo 5.2). Resumidamente, a metodologia baseia-se na análise comparativa de diversos cenários de reabilitação energética com a reabilitação de referência.

3.2 Avaliação do desempenho energético

A avaliação do desempenho energético, utilizada tanto na fase 3, como no passo 5.1 da Figura 2 é realizada através do cálculo das necessidades energéticas que obedeceu na íntegra ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) publicado através do Decreto-Lei nº118/2013, respetivas alterações, portarias e despachos referidos no mesmo [29]. A energia despendida para a climatização e para a preparação de AQS (águas quentes sanitárias), foi quantificada com recurso à aplicação informática REH, designada por “Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e de Desempenho de Edifícios”, disponibilizada pelo ITeCons [37]. Para a satisfação da verificação da ventilação necessária no âmbito do REH foi utilizada a aplicação disponibilizada pelo LNEC [38]. Os fatores de conversão usados entre a energia final e a energia primária foram os constantes no Despacho (extrato) nº 15793-D/2013 [39].

A definição dos vários parâmetros necessários ao cálculo, assim como as fórmulas mais importantes a ter em conta neste método são detalhadas nas secções seguintes.

3.2.1 Zonamento climático

As zonas climáticas baseiam-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos (NUTS) de nível III, segundo o despacho (extrato) nº 15793-F/2013 [40].

Os parâmetros climáticos (X) são obtidos, através da equação 1, tendo por base edifícios de referência, com valores definidos para cada NUTS III (X_{REF}) e ajustados à altitude do local (Z). Os ajustamentos são do tipo linear com declive (a), proporcionais à diferença entre a altitude do local (Z) e o local de referência (Z_{REF}).

$$X = X_{REF} + a(Z - Z_{REF}) \quad (1)$$

Os parâmetros são obtidos para as duas estações consideradas (aquecimento e arrefecimento) e deverão cumprir os requisitos de qualidade térmica da envolvente por zona climática, quer em número de graus-dias (GD) na base de 18°C correspondente à estação de aquecimento, quer em temperatura média exterior correspondente à estação de arrefecimento.

3.2.2 Soluções construtivas

A caracterização geral das soluções construtivas teve como base a realização de várias visitas ao local e pela consulta de informação existente, nomeadamente projetos e memórias descritivas, bem como o processo de concurso público. As soluções construtivas foram analisadas no local ao detalhe, principalmente as fachadas (envolvente exterior), onde se realizaram medições e sondagens de forma a ter certeza da sua constituição. A informação recolhida durante as visitas nem sempre coincidia com a documentação existente, o que de alguma forma complicou o levantamento do existente. As características dos materiais, nomeadamente a massa volúmica e a condutibilidade térmica, foram obtidas com recurso ao ITE 50 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil [11].

As soluções construtivas empregues nas envolventes exteriores e interiores são descritas através dos seus elementos constituintes, espessuras utilizadas e respetivas características térmicas de forma a obter os coeficientes de transmissão térmica de cada solução construtiva. Os coeficientes térmicos ou de transmissão térmica (U) que caracterizam a transferência de calor que ocorre entre ambientes separados por uma solução construtiva, foram calculados de acordo com o Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 com recurso à equação 2.

$$U \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (2)$$

Em que:

R_j – Resistência térmica da camada j [W/(m².°C)];

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [W/(m².°C)];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [W/(m².°C)].

As resistências térmicas superficiais (interior e exterior) foram obtidas no Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 tendo em conta o sentido do fluxo de calor do elemento construtivo. De referir que o mesmo despacho determina que se adote duas resistências térmicas interiores (R_{si}) nos elementos construtivos que separam um espaço interior de um espaço não útil ou de um edifício contíguo, uma resistência referente ao interior da fração e a outra ao interior do espaço não útil.

Em construções novas ou grandes reabilitações os coeficientes de transmissão térmica superficiais dos elementos opacos, em zona corrente, onde fazem parte os elementos construtivos do tipo paredes, pavimentos e coberturas, devem cumprir os coeficientes máximos admissíveis ($U_{máx}$), para a zona climática de inverno em questão, conforme prevê a portaria nº 379-A/2015 [41].

Outro aspeto a ter em consideração são as pontes térmicas na envolvente do edifício que são heterogeneidades existentes numa zona corrente da envolve (interior ou exterior). As pontes térmicas podem ser planas, como por exemplo pilares, vigas e caixas de estores ou podem ser lineares. Neste caso, os coeficientes de transmissão térmica das pontes térmicas lineares (Ψ) foram obtidos com recurso a valores tabelados por defeito, por tipos de ligações entre elementos construtivos, conforme prevê o despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [42]. Já o coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas planas (U_{PTP}) foi calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, através da equação 2, de acordo com o Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [42]. Este coeficiente de transmissão térmica (U_{PTP}) não deverá ser superior a 0.9 W/(m².°C), conforme exigido na portaria nº 379/A/2015 de 22 de outubro [41].

Os vãos envidraçados exteriores são caracterizados através do coeficiente de transmissão térmico médio dia-noite com ocupação noturna (U_{wdn}), do fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão ($g_{L,vi}$) e do fator solar global do vão ($g_{L,Tp}$) com todos os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados (caso não existam toma o valor do fator solar do vidro). De referir que a portaria nº 379-A/2015 [41] estipula que o coeficiente de transmissão térmico máximo admissível do vão envidraçado (U_{wdn}) para a zona climática de inverno I2 (zona onde está inserido o caso de estudo) é de 2,40W/(m².°C). Já a portaria nº 349-B/2013 [43] regula o fator solar máximo admissível do vão envidraçado ($g_{L,Tp}$) segundo a classe de inércia térmica (forte) e a zona climática de verão associadas (V2). Estes parâmetros (U_{wdn} e $g_{L,vi}$) foram obtidos com recurso a valores tabelados constantes no despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [42], ou quando exista informação disponibilizada pelo fabricante dos vãos envidraçados e ou pela consulta do ITE 50 [44]. O fator solar global do vão ($g_{L,Tp}$) para vidro simples foi obtido com recurso à equação 3, constante no despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [42].

$$g_{L, Tp} = g_{L, vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85} \quad (3)$$

3.2.3 Inércia térmica

A inércia térmica foi caracterizada e quantificada segundo o despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [42]. A inércia térmica pode ser definida como a capacidade dos elementos construtivos (interiores) em armazenar energia, estando relacionada com a massa superficial útil de cada elemento construtivo (M_{si} em kg/m²) em função do posicionamento do isolamento térmico.

O mesmo despacho distingue os elementos construtivos em 3 tipos (EL1, EL2 e EL3). Em elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente (EL1), o M_{si} não pode ultrapassar os 150kg/m². Em elementos em contacto com o solo (EL2), o M_{si} não pode ultrapassar os 150kg/m². Em elementos de compartimentação (parede ou pavimento) interior da fração autónoma (EL3), o M_{si} não pode ultrapassar os 300kg/m².

Posteriormente, contabilizam-se as áreas por tipo de elemento construtivo. A massa volúmica foi obtida com recurso ao ITE 50 [44]. De referir que as paredes exteriores entraram com metade da massa superficial útil (M_{si}) devido à inexistência de isolamento térmico. Quando há isolamento, contabiliza-se massa superficial útil desde o mesmo até ao interior. A inércia térmica pode ser classificada em três tipos: fraca, média e forte.

A inércia térmica é calculada segundo a equação 4.

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

Em que:

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m²];

r – Fator de redução da massa superficial útil;

S_i – Área da superfície interior do elemento i [kg/m²];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²].

A classe da inércia térmica interior é obtida com recurso aos intervalos da classe de inércia térmica interior definidos no despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [42].

3.2.4 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr})

O coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) foi obtido segundo o despacho nº15793-K/2013 [42], recorrendo a valores definidos no despacho, em função da taxa de renovação do ar, da relação A_i/A_u tendo em consideração o volume do espaço não útil (V_{enu}). A_i representa a área dos elementos que separam o espaço útil do espaço não útil e A_u representa a área dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior. Para valores do parâmetro b_{tr} superior a 0,7 terão de se cumprir os requisitos definidos para a envolvente exterior, para valores do parâmetro b_{tr} igual ou inferior a 0,7 terão de se cumprir os requisitos definidos para a envolvente interior, conforme disposto para ambos os casos na Portaria nº 379-A/2015 [41].

3.2.5 Caracterização dos sistemas de ventilação

O cálculo das taxas de ventilação foi realizado com recurso à folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC [38] designada de “Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS”, conforme citado no despacho nº15793-K/2013 [42].

3.2.6 Caracterização dos sistemas técnicos

As águas quentes sanitárias (AQS) são obtidas com recurso a esquentador alimentado a gás natural, com potência de 19,2 kW e eficiência nominal de 0,75 visto ser um equipamento antigo. No estado atual do edifício não existe nenhum sistema de climatização quer para aquecimento, quer para arrefecimento, mas foram considerados os sistemas por defeito previstos na legislação e constantes na aplicação informática REH disponibilizada pelo IteCons [37], nomeadamente ar condicionado mutisplit ar-ar, aquecedores elétricos e esquentador, para efeitos de cálculo.

3.2.7 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) são obtidas segundo o despacho nº15793-I/2013 [45], recorrendo à equação 5.

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \quad (5)$$

Em que:

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios [kWh];

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh];

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes de ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh];

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²].

3.2.8 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) são obtidas segundo o despacho nº15793-I/2013 [45], recorrendo à equação 6.

$$N_{vc} [kWh/(m^2 \cdot ano)] = \frac{(1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v}}{A_p} \quad (6)$$

Em que:

η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh];

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²].

3.2.9 Necessidades nominais anuais de energia primária

As necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os usos, nomeadamente aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}), produção de AQS (Q_a / A_p) e ventilação mecânica (W_{vm} / A_p), deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável ($E_{ren,p} / A_p$). São obtidas segundo o despacho nº15793-I/2013 [45], recorrendo à equação 7.

$$N_{tc} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (7)$$

Em que:

N_{ic} – Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)];

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

N_{vc} – Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)];

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano];

- $f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k ;
- η_k – Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;
- j – Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;
- p – Fontes de origem renovável;
- $E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de energia renovável p [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;
- W_{vm} – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento [m²];
- $F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh_{EP}/kWh];
- δ – Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar o valor de 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

As necessidades de energia elétrica para o funcionamento contínuo da ventilação mecânica (W_{vm}) é estimada segundo o despacho nº15793-I/2013 [45], recorrendo à equação 8.

$$W_{vm} \text{ [kWh/ano]} = \frac{V_f}{3600} \cdot \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} \cdot \frac{H_f}{1000} \quad (8)$$

Em que:

- V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m³/h];
- ΔP – Diferença de pressão total do ventilador [Pa];
- η_{tot} – Rendimento total de funcionamento do ventilador;
- H_f – Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano [h]. Por defeito considera-se que os ventiladores funcionam 24 h/dia, devendo ser tomado o valor de 8760 h, sendo que, nos sistemas de ventilação híbridos, pode ser adotado outro valor desde que seja fundamentado com uma estimativa anual do funcionamento da ventilação fração.

A energia útil necessária para a preparação de AQS durante um ano é obtida segundo o despacho nº15793-I/2013 [45], recorrendo à equação 9.

$$Q_a \text{ [kWh/ano]} = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000} \quad (9)$$

Em que:

M_{AQS} – Consumo médio de referência [litros];

ΔT – Aumento de temperatura necessária para a preparação das AQS e que, para efeitos do presente cálculo, toma o valor de referência de 35°C;

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera de 365 dias.

A energia útil necessária média de referência, para a preparação de AQS (M_{AQS}), em edifícios de habitação, é segundo o despacho nº15793-I/2013 [45], recorrendo à equação 10.

$$M_{AQS} \text{ [litros]} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} \quad (10)$$

Em que:

n – Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e $n+1$ ocupantes nas tipologias do Tipo Tn com $n>0$;

f_{eh} – Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo setor das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0.90$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

A contribuição de fontes de energia renovável ($E_{ren,p}$) é definida com recurso a ferramentas de simulação, nomeadamente a energia solar térmica. Esta energia é usada maioritariamente para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) com recurso à aplicação de coletores solares térmicos e à produção de energia elétrica com recurso aos painéis fotovoltaicos. Os coletores solares térmicos foram quantificados tendo em conta o número de ocupantes, de acordo com os requisitos impostos no REH [29], com apoio da ferramenta informática de cálculo regulamentar relativo ao aproveitamento de energias renováveis (SCE.ER), disponibilizada

pela Direção-Geral de Energia e Geologia [46]. No caso dos painéis fotovoltaicos, estes foram dimensionados com o apoio da aplicação informática PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) disponibilizado pela União Europeia [47] e que tem em consideração a localização geográfica. Neste dimensionamento foi tido em conta, a variação do número de painéis fotovoltaicos que influencia os respetivos valores de potência pico dos mesmos, de forma a colmatar as necessidades energéticas obtidas em cada pacote de reabilitação.

3.3 Metodologia de custo-ótimo

A metodologia referente à fase 5.) assenta essencialmente em duas etapas, uma ao nível do desempenho energético do edifício e a outra ao nível do cálculo do custo global da intervenção de reabilitação (Figura 4). Os valores de cálculo são obtidos para a reabilitação de referência e para cada medida de melhoria isoladamente e ainda para cada pacote de medidas de reabilitação, durante o período de vida útil do edifício. Estes dois eixos são essenciais para aplicar o método do custo-ótimo de forma a obter a rentabilidade de cada cenário de reabilitação.

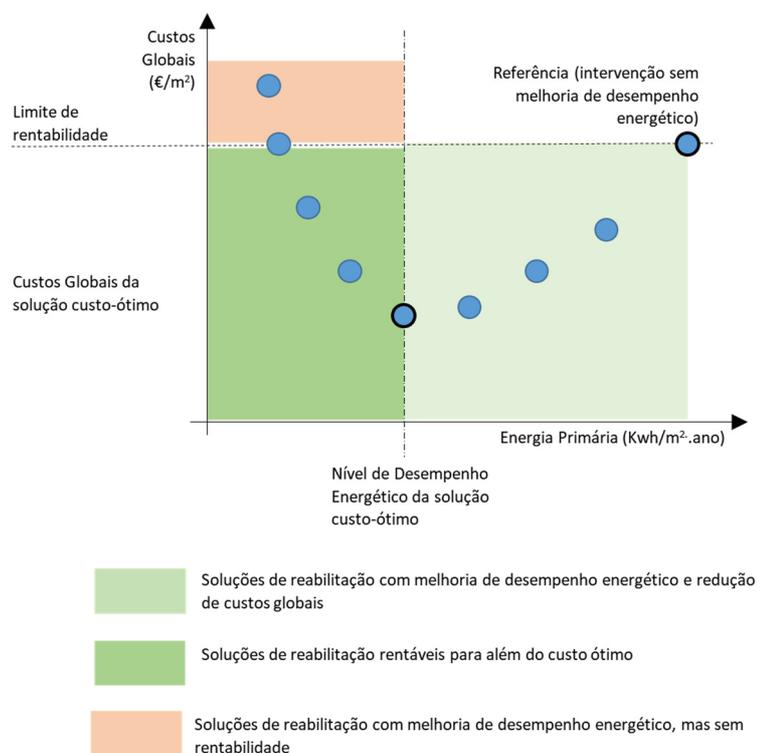


Figura 4 - Gráfico genérico da análise de custo-ótimo [48]

A análise de custo-ótimo das medidas de melhoria propostas seguiu o estabelecido pelo Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 da Comissão Europeia de 16 janeiro de 2012 [28] que complementa a Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios [5]. Esta metodologia sugere uma comparação entre a rentabilidade das diferentes medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação, em comparação com a reabilitação de referência, relacionando a energia primária com os custos globais de cada solução construtiva em análise, tomando em consideração o ciclo de vida do edifício [32]. O ciclo de vida do edifício foi considerado como sendo de 30 anos, conforme descrito nos princípios gerais do Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 [28].

O cálculo das necessidades energéticas obedeceu na íntegra ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) publicado através do Decreto-Lei nº118/2013 [29] e já detalhado na secção 3.2. A metodologia de avaliação dos custos globais das soluções de reabilitação seguiu o estipulado no Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 [28].

Os pacotes de reabilitação foram constituídos por diversas soluções construtivas aplicadas à envolvente do edificado habitacional em estudo. Os pacotes de reabilitação foram definidos para as fachadas, vãos envidraçados, laje de esteira e para sistemas de AQS e de climatização. De forma a cumprir o estipulado no Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 [28] ainda se incluíram sistemas de produção de energia renovável, neste caso com recurso aos coletores solares térmicos e/ou painéis fotovoltaicos.

Os resultados das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação propostas para a reabilitação são representados com recurso a gráficos de forma a ser mais fácil identificar a rentabilidade das várias medidas e da solução de custo-ótimo. O eixo das ordenadas (y) apresenta os valores do custo global da reabilitação, já o eixo das abcissas (x) está associado aos valores do consumo da energia primária não renovável, por cada medida de melhoria estudada. São consideradas medidas com rentabilidade as que se localizam abaixo da linha definida pela reabilitação de referência (Figura 4). O nível de custo-ótimo corresponde à medida de melhoria que proporciona um desempenho energético do edifício pelo menor custo global durante o ciclo de vida do edifício.

3.3.1 Desempenho energético e energia primária

Na secção 3.2 foi apresentado com detalhe, o procedimento aplicado na avaliação do desempenho energético, bem como a referenciação dos respetivos despachos regulamentares utilizados neste estudo. Este método foi utilizado tanto para a avaliação do desempenho da reabilitação de referência, bem como das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação a analisar, sendo que o indicador fundamental a ser obtido é a energia primária de origem não renovável (EPNR) que terá que ser utilizada.

O desempenho energético foi analisado para todas as variantes (medidas de melhoria) isoladamente e para os pacotes de reabilitação que englobam várias medidas. No caso dos pacotes de reabilitação, o cálculo das necessidades energéticas teve em consideração as características construtivas que foram alteradas, nomeadamente coeficientes de transmissão térmica das soluções propostas para a envolvente e pontes térmicas planas e lineares. A inércia térmica não sofreu alteração com a adição de isolamento na envolvente do edifício. As características dos sistemas técnicos também foram atualizadas aquando dos pacotes de reabilitação que incluíam os mesmos. Os coeficientes de transmissão térmica (U) foram obtidos analiticamente para todas as medidas de melhoria da envolvente, recorrendo aos parâmetros térmicos constantes na publicação ITE 50 [44] e nos catálogos técnicos dos materiais aplicados nas soluções construtivas.

3.3.2 Avaliação do custo global

O custo global de cada medida de melhoria ou conjunto de medidas (pacote de reabilitação) foi obtido seguindo o indicado no Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 [28] e é composto por vários tipos de custos, como ilustrado na Figura 5. O custo global foi calculado para a perspetiva privada (na ótica do investidor) e para a perspetiva social (na ótica do Estado) durante o período de vida útil do edifício. Na perspetiva privada, o custo global inclui a taxa de impostos, já na perspetiva social o custo global não inclui a taxa de impostos, mas contempla os custos relacionados com as emissões de GEE. Estes cálculos foram efetuados com o apoio de uma folha de cálculo através das equações 11 e 12, sendo incluídas as categorias de custos expostos na Figura 5.

Os custos de investimento de cada medida/conjunto de melhoria, respetivo custo das operações de manutenção, bem como os custos de substituição e valor residual foram obtidos

com recurso ao Gerador de Preços da CYPE [49]. Os custos das emissões GEE são os indicados no regulamento delegado (UE) N° 244/2012 [28] que apresentam um crescimento acentuado ao longo do tempo de vida útil do edifício.

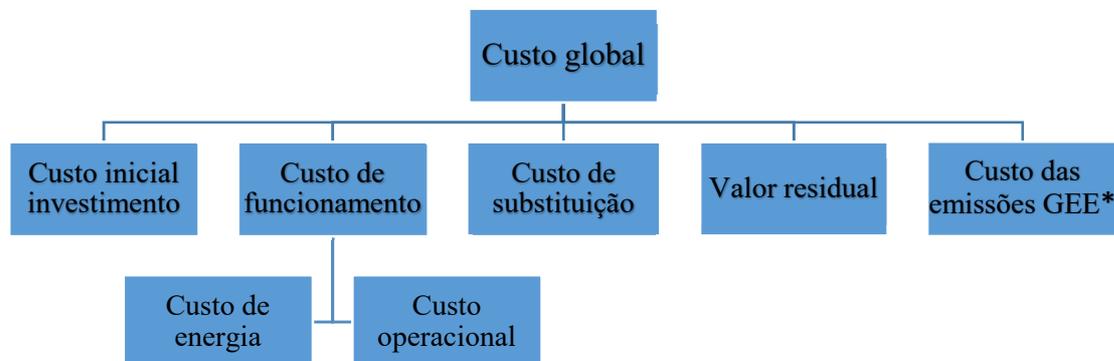


Figura 5 - Categoria de custos de acordo com o regulamento delegado (UE) N° 244/2012 [28]

* custo relativo à perspetiva social

O custo da energia elétrica e suas previsões da evolução foram obtidos tendo por base o observatório europeu através da publicação “EU energy trends to 2030” [50] e também pelos valores previstos nos cenários ”Roadmap 2050” da Fundação Europeia do Clima [51]. Já os custos do gás natural e sua previsão de evolução foram os valores publicados na “Word Energy Outlook” da Agência Internacional da Energia (IEA) [52].

3.3.2.1 Cálculo financeiro (Perspetiva privada)

O custo global na ótica do investidor é obtido através da equação 11, sendo composto pela soma de várias parcelas de custos que refletem os preços pagos pelo cliente tendo em consideração toda a vida útil do edifício – investimento inicial, custos de exploração, manutenção e substituição, bem como valor residual em fim de vida, a deduzir, se for o caso. No custo global foi aplicada uma taxa de desconto que reflete o grau de risco do investimento para o futuro. Neste caso específico, foi considerada uma taxa de 6%.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) * R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (11)$$

Em que:

τ - Período de cálculo

$C_g(\tau)$ - Custo global (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo

C_I - Custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j

$C_{a,i}(j)$ - Custo anual no ano i para a medida ou conjunto de medidas j

$R_d(i)$ - Fator de desconto para o ano i , com base na taxa de desconto r e p o número de anos $[(1/(1+r/100))^p]$

$V_{f,\tau}(j)$ – Valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo

3.3.2.2 Cálculo macroeconómico (Perspetiva social)

O custo global, numa perspetiva social, é obtido através da equação 12, representando os custos pagos pelo cliente com a exclusão das taxas de impostos. Para além destes custos, são também incluídos os custos relativos às emissões de GEE. A taxa de desconto considerada foi de 3%.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) * R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (12)$$

Em que:

$C_{c,i}(j)$ - Custo do carbono para a medida ou conjunto de medidas j durante o ano i

3.4 Conclusão

O estudo da rentabilidade das medidas de melhoria e/ou pacotes de reabilitação assenta numa abordagem metodológica seguindo o procedimento ilustrado na Figura 2, constituído por 5 fases, em que a fase 3.) “Avaliação do desempenho energético do edifício existente” e a fase 5.) “Rentabilidade” foram consideradas centrais na investigação.

A rentabilidade é avaliada seguindo a metodologia de custo-ótimo que se baseia na relação entre o desempenho energético em termos de energia primária e no custo global da intervenção. O cálculo do custo global abrange diferentes categorias de custos: custos iniciais de investimento, dos custos de exploração e dos custos de substituição (relativamente ao ano inicial), bem como dos custos de eliminação e considera todo o ciclo de vida do edifício – 30 anos no caso de intervenções de reabilitação. Utilizando esta metodologia, a rentabilidade da intervenção no edifício é determinada por comparação com a “reabilitação de referência” que

considera somente operações de manutenção no edifício, sem melhorias de desempenho energético.

CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

A reabilitação energética a levar a cabo no Bairro Social das Enguardas, tema desta dissertação, é uma oportunidade relevante de financiamento dos fundos comunitários no âmbito dos Planos Estratégicos de Desenvolvimento Urbano (PEDU) inscritos no Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020).

Com esta investigação dá-se resposta ao imposto pelos regulamentos atuais e desenvolve-se um caso de estudo de referência acerca da reabilitação energética de um edifício de habitação social, situação essencial à disseminação de boas práticas.

Neste capítulo vão ser abordadas especificações do edifício em estudo, como a localização, caracterização das soluções construtivas, levantamento dimensional, incluindo também a avaliação do desempenho energético do edifício existente, de acordo com o descrito na secção 3.2 da metodologia da investigação. Por fim propõe-se as medidas de melhoria e os pacotes de reabilitação a serem aplicados ao edifício existente.

4.1 Caracterização e levantamento geral do edificado

Nesta fase será apresentada uma breve descrição do edificado, com identificação das soluções construtivas, caracterização do tipo de zonas, definição das envolventes e obtenção dos coeficientes de transmissão térmica. Estas tarefas foram realizadas com recurso a visitas ao local das edificações e pela consulta e análise dos projetos de execução.

O Bairro Social das Enguardas fica localizado na freguesia de S. Victor, cidade de Braga, atravessado pela Rua Senhor da Paz e pela Travessa dos Congregados (Figura 6). Este Bairro Social faz parte do parque habitacional municipal da cidade de Braga. O parque habitacional municipal de Braga é constituído pelo Bairro Social das Andorinhas (237 frações), Bairro

Social de Santa Tecla (172 frações), Complexo Habitacional do Picoto (50 frações) e ainda por fogos dispersos pelo concelho (135 frações).

Este Bairro é composto por 11 edifícios (Blocos A a L) multifamiliares de habitação social, foi construído no ano de 1979, e é genericamente composto por R/C e três andares. Os 11 edifícios abarcam 7 frações comerciais e 171 frações destinadas exclusivamente a fins habitacionais, distribuídas por 24 apartamentos com dois quartos (T2), 127 apartamentos com três quartos (T3) e 20 apartamentos com quatro quartos (T4). As lojas encontram-se a ser usadas em diversas atividades instaladas ao nível térreo, nomeadamente para sede da associação de moradores, sede do clube desportivo “Leões das Enguardas”, café do clube desportivo, Centro de Atividades dos Tempos Livres (CATL) e “oficina de sapateiro”.



Figura 6 - Localização do Bairro Social das Enguardas [53]

A construção deste edificado habitacional foi à data financiado pelo Fundo de Fomento da Habitação, tendo sido alvo de obras em 2003 ao nível da envolvente exterior. A intervenção nessa data pautou-se pela aplicação de pintura em membrana elástica nas fachadas e substituição da cobertura de telhas em fibrocimento por painel *sandwich*. O bairro apresenta

características típicas de construção a custos controlados, com áreas dos compartimentos reduzidas e materiais construtivos, nomeadamente os revestimentos, de baixa qualidade.

Todos os blocos habitacionais são servidos por mais de uma entrada que dá acesso direto à caixa de escadas sem recurso a elevadores. O edifício alvo de estudo, Bloco C (Figura 7) é acedido por duas entradas com acesso direto à caixa de escadas. Cada entrada é composta por 8 apartamentos, dois por cada piso, totalizando 16 fogos.



Figura 7 - Implantação e identificação do edificado no bairro social

A entrada 1 designada na Figura 8 como “ENT.1” com 4 fogos de tipologia T4 à esquerda e com 4 fogos de tipologia T3 à direita. A entrada 2 é designada na Figura 8 como “ENT.2” com 4 fogos de tipologia T2 à esquerda e com 4 fogos de tipologia T3 à direita. O edifício

(Figura 8) é composto por três tipologias diferentes, 4 frações de tipologia T2, 8 frações de tipologia T3 e 4 frações de tipologia T4.



Figura 8 - Planta tipo do edifício (Bloco C), com o apartamento alvo de estudo assinalado

O estudo aqui apresentado foi centrado em particular numa fração do último piso, de tipologia T3, 3º Dtº da entrada 2 no bloco C, à direita da Figura 8. O apartamento T3 é representativo da tipologia com o maior número de fogos no bairro. O levantamento dimensional do apartamento encontra-se disponível no ANEXO I. Para além disso, este apartamento será aquele que potencialmente poderá apresentar maiores necessidades energéticas, essencialmente por: 1) localizar-se junto à cobertura; 2) por conter a fachada lateral direita (parede de empena – Figura 9) orientada a norte e 3) ter maior área de envolvente exterior. Esta conclusão teve como base estudos já elaborados no âmbito da reabilitação energética em edifícios e condições semelhantes [54].

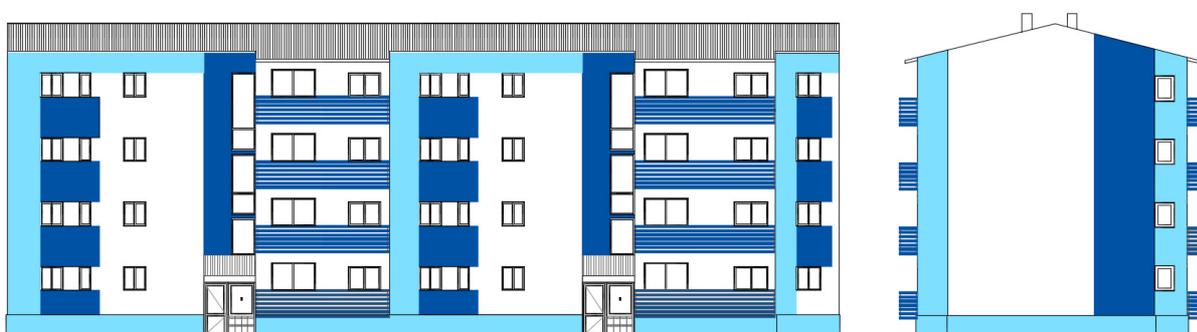


Figura 9 - Fachada Principal e Lateral Direita de edifício tipo

As soluções construtivas empregues neste bairro são apresentadas com informação discriminada dos materiais utilizados na sua constituição e respetivas características relevantes no âmbito da reabilitação em causa, em resumo na Tabela 1. Esta informação só foi possível com recurso a diversas visitas ao local com execução de sondagens e confrontação com a documentação existente, que nem sempre era esclarecedora. As características dos materiais, nomeadamente a massa volúmica e a condutibilidade térmica, foram obtidas com recurso ao ITE 50, publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil [44].

Tabela 1 - Características resumo das soluções construtivas

Elemento da envolvente	Espessura (cm)	Constituição	U [W/(m².°C)]
Cobertura (laje esteira)	0,15	betão armado	COB=3,52
Paredes exteriores (fachadas)	0,20	betão celular autoclavado	PE1=0,69
	0,07 + 0,13	betão celular + betão armado	PE2=1,43
Vãos Envidraçados (madeira + vidro simples 4mm)	gL,vi	gL,Tp	U_{wdn} [W/(m².°C)]
	VE1=0,88	VE1=0,07	VE1=3,40
	VE2=0,88	VE2=0,88	VE2=5,10

Do ponto de vista estrutural, o edifício foi construído com recurso à designada construção em túnel, constituída por paredes e lajes maciças de betão, representada em planta na Figura 10, em trama sólida escura. Ao nível das fundações, a laje de piso do R/C encontra-se sob um desvão sanitário, sendo um espaço não útil (ENU) sem contacto direto com o solo e sem ventilação. Esta envolvente interior não será alvo de análise, no entanto tudo indica que seria alvo de reforço no que diz respeito ao estudo térmico, visto atualmente não existir isolamento térmico.

Do ponto de vista de envolvente exterior opaca (Figura 11), existem dois tipos de soluções para as paredes exteriores e a cobertura inclinada de duas águas constituída em painel *sandwich*. Por fim, as paredes interiores também apresentam dois tipos distintos de solução construtiva, conforme apresentado na Figura 10.

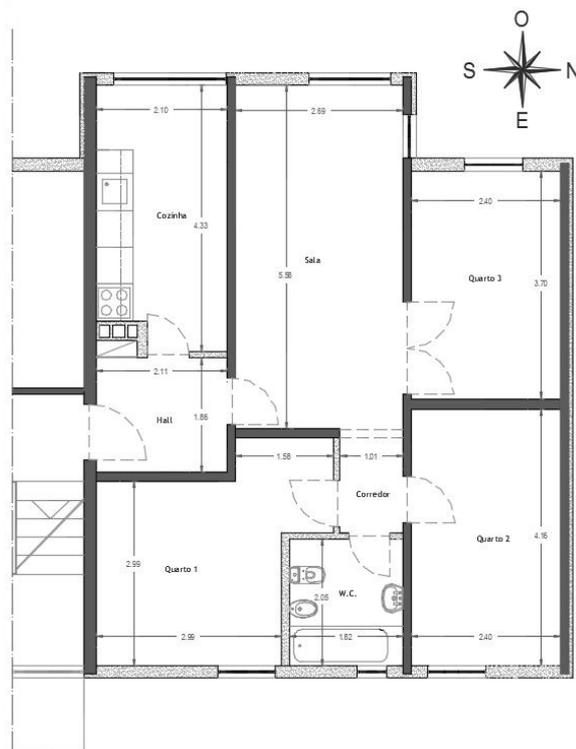


Figura 10 - Planta de apartamento tipo T3

O edifício caso de estudo é uma construção típica de habitação social com visíveis patologias existentes ao nível da envolvente, conforme se constata na Figura 11. Verifica-se a necessidade de reabilitação de forma a colmatar as patologias construtivas existentes, aumentar o conforto, melhorar a funcionalidade e a estética e também melhorar o seu desempenho energético de forma significativa, de modo a ir ao encontro das necessidades atuais dos habitantes, no sentido também de contribuir para a diminuição da pobreza energética identificada neste tipo de bairros.



Figura 11 - Vista do edifício (bloco C) onde se situa a habitação analisada

4.1.1 Caracterização da cobertura

A cobertura é inclinada, construída em duas águas com as vertentes revestidas a painel *sandwich*, constituído por isolamento térmico e confinado por ambas as faces por chapa metálica lacada. Os painéis são aplicados sobre as vigotas pré-fabricadas de betão que têm a função de madres, e estas suportadas por alvenarias de blocos de cimento. O desvão da cobertura não é acessível - considerado um espaço não útil (ENU) - e apresenta características de espaço não ventilado. A laje de esteira é em betão armado com 15cm de espessura, revestida pelo interior com reboco à base de gesso, sendo os constituintes e suas características apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior (CBE1)

CBE1 - Cobertura inclinada com desvão (ENU)	Espessura [m]	Massa volumica [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	R_t [m ² .°C/W]
Laje em betão armado	0,150	1900	2,00	0,08
Reboco interior à base de gesso	0,005	1150	0,57	0,01
R_{se} - interior ENU (ascendente)				0,10
R_{si} (ascendente)				0,10
ΣR_t				0,28
U [W/(m ² .°C)]				3,52

4.1.2 Caracterização das paredes exteriores

Existem dois tipos de soluções construtivas para as paredes exteriores, uma simples e outra dupla. As fachadas principal e posterior são constituídas por paredes simples e estão orientadas a este e oeste, respetivamente. As fachadas laterais são constituídas por paredes duplas. Nesta fração em análise, a fachada lateral direita (parede da empena) está orientada a norte e a fachada lateral esquerda, com uma pequena área, está orientada a sul.

A parede simples é constituída por blocos de betão celular autoclavado com espessura de 20cm, revestida pelo interior com reboco à base de gesso e pelo exterior revestidas com reboco à base de produtos hidráulicos, conforme se pode constatar na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior simples (PDE1)

PDE1 - Parede exterior simples (betão celular)	Espessura [m]	Massa volúmica [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	R_t [m ² .°C/W]
Reboco exterior à base de produtos hidráulicos	0,015	1900	1,30	0,01
Bloco de betão celular autoclavado	0,200	450	0,16	1,25
Reboco interior à base de gesso	0,010	1150	0,57	0,02
R_{se}				0,04
R_{si}				0,13
ΣR_t				1,45
U [W/(m ² .°C)]				0,69

A parede dupla é composta por dois panos, o pano exterior constituído por blocos de betão celular autoclavado com espessura de 7cm e o pano interior constituído por betão armado (parede estrutural) com espessura de 13cm, conforme Tabela 4. Esta parede é revestida pelo interior com reboco à base de gesso e pelo exterior com reboco à base de produtos hidráulicos.

Tabela 4 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior dupla (PDE2)

PDE2 - Parede exterior dupla	Espessura [m]	Massa volúmica [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	R_t [m ² .°C/W]
Reboco exterior à base de produtos hidráulicos	0,015	1900	1,30	0,01
Bloco de betão celular autoclavado	0,070	450	0,16	0,44
Betão armado	0,130	2450	2,00	0,07
Reboco interior à base de gesso	0,010	1150	0,57	0,02
R_{se}				0,04
R_{si}				0,13
ΣR_t				0,70
U [W/(m ² .°C)]				1,43

4.1.3 Caracterização das paredes interiores

Existem dois tipos de soluções construtivas para as paredes interiores. Uma é constituída em betão armado (parede estrutural) e a outra em blocos de betão celular autoclavado (parede divisória), e ambas são revestidas com reboco à base de gesso. A parede utilizada para a envolvente interior é em betão armado e separa o espaço interior da habitação do espaço não útil (caixa de escadas), com a constituição discriminada na Tabela 5.

Tabela 5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PDI1)

PDI1 - Parede interior (betão armado)	Espessura [m]	Massa volúmica [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	R_t [m ² .°C/W]
Reboco interior à base de gesso	0,01	1150	1,30	0,01
Betão armado	0,13	2450	2,00	0,07
Reboco interior à base de gesso	0,01	1150	0,57	0,02
R_{se} - interior ENU				0,13
R_{si}				0,13
ΣR_t				0,35
U [W/(m ² .°C)]				2,86

4.1.4 Caracterização dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados exteriores são constituídos em caixilharia de madeira com folhas de correr ou giratórias, sem classificação de permeabilidade ao ar. Os vidros são simples e incolores com 4mm de espessura. As proteções exteriores são de PVC de cor branca, sem isolamento térmico no interior. Todos os vãos envidraçados exteriores do apartamento têm proteção exterior, com exceção do vão da cozinha. Apresentam-se as características dos vãos na Tabela 6, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado médio dia-noite com ocupação noturna (U_{wdn}), o fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão ($g_{L,vi}$) e o fator solar global do vão ($g_{L,Tp}$) com todos os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados (caso não existam toma o valor do fator solar do vidro).

Tabela 6 - Características dos vãos envidraçados

VE - Vãos envidraçados (exteriores)	U_{wdn} [m ² .°C]	FS Vidro $g_{L,vi}$	FS Global $g_{L,Tp}$
Vãos com protecção exterior	3,40	0,88	0,07
Vão sem protecção exterior	5,10	0,88	0,88

4.1.5 Caracterização das pontes térmicas

As pontes térmicas são heterogeneidades existentes nas zonas correntes da envolvente. O edifício em estudo apresenta os dois tipos de pontes térmicas, as planas e as lineares. As pontes térmicas planas identificadas na fração resumem-se às caixas de estores dos vãos envidraçados exteriores, pois devido à utilização da construção em túnel, não há pilares nem

vigas. A caixa de estore é composta por uma pala de betão pelo exterior e por tampa de madeira pelo interior, conduzindo a um coeficiente de transmissão térmica (U) de $3,79\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$, com as características apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo da ponte térmica plana da parede exterior (caixa de estore)

PTPPDE1 - Ponte térmica plana (caixa de estore)	Espessura [m]	Massa volúmica [kg/m ³]	λ [W/(m·°C)]	R_t [m ² ·°C/W]
Reboco exterior à base de produtos hidráulicos	0,015	1900	1,30	0,01
Pala em betão	0,020	1900	2,00	0,01
Tampa interior em madeira	0,013	657,5	0,18	0,07
R_{se}				0,04
R_{si}				0,13
ΣR_t				0,26
U [W/(m ² ·°C)]				3,79

As pontes térmicas lineares foram caracterizadas com recurso a valores tabelados contantes no despacho n° 15793-K/2013 [42], pois não existe nenhum isolamento térmico. Esta metodologia apresenta valores conservadores para os coeficientes de transmissão térmica lineares. Apresentam-se os tipos de ligações entre elementos construtivos identificadas e respetivas características na Tabela 8.

Tabela 8 - Características das pontes térmicas lineares

Tipo de ligação	Comp. B (m)	Ψ (W/m·°C)	Total
Fachada com pavimento intermédio	24,64	0,70	17,25
Fachada com cobertura	14,40	0,70	10,08
Duas paredes verticais em ângulo saliente	12,50	0,50	6,25
Fachada com caixilharia	28,70	0,30	8,61
Zona da caixa de estores	5,70	0,30	1,71

4.1.6 Caracterização da inércia térmica

A inércia térmica foi caracterizada e quantificada segundo disposto no REH, através do despacho (extrato) n° 15793-K/2013 [42]. Os elementos construtivos foram distinguidos nos 3 tipos (EL1, EL2 e EL3) conforme prevê o mesmo despacho. Posteriormente, contabilizou-se as áreas por tipo de elemento construtivo. A massa volúmica foi obtida com recurso ao ITE

50, publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil [44], incluída nas tabelas de cálculo do coeficiente térmico já expostas. De referir que as paredes exteriores entraram com metade da massa superficial útil (M_{si}) devido à inexistência de isolamento térmico. A Tabela 9 apresenta o cálculo da inércia térmica, segundo a equação 4, que conduziu a uma classe de inércia forte, visto ser superior a 400kg/m^2 .

Tabela 9 - Cálculo da inércia térmica

Designação do tipo de solução	Elemento	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A x Msi x r
PDE1 - Parede exterior simples (betão celular)	EL1	33,81	130,00	65,00	1	2197,65
PDE2 - Parede exterior dupla	EL1	29,18	390,00	150,00	1	4377,00
PTPPDE1 - Ponte térmica plana (caixa de estore)	EL1	2,34	46,55	22,29	1	52,16
CBE1 - Cobertura inclinada com desvão (ENU)	EL1	79,08	290,75	150,00	1	11862,00
PDI1 - Parede interior (betão armado) - Caixa de escadas	EL1	11,50	349,00	150,00	1	1725,00
PDI1 - Parede interior (betão armado) - Fração autónoma	EL1	9,08	349,00	150,00	1	1362,00
PAV11 - Pavimento em contacto com outra fracção	EL1	79,08	461,75	150,00	1	11862,00
PDI1 - Parede interior (betão armado)	EL3	45,90	349,00	300,00	1	13770,00
PDI2 - Parede interior (betão celular)	EL3	14,33	72,50	61,00	1	874,13
TOTAL						48081,94
Ap (m ²)						62,71
It (kg/m²)						766,72

4.1.7 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr})

O coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) traduz as perdas de calor por transmissão nos elementos construtivos e foi analisado segundo o despacho nº15793-K/2013 [42] para as envolventes interiores em contacto com os espaços não úteis (ENU), de forma a entender se a envolvente interior terá de obedecer os requisitos mínimos de exterior ou os requisitos mínimos de interior.

Como não foi possível obter com precisão a temperatura do espaço não útil recorreu-se a valores definidos no despacho, em função da taxa de renovação do ar, da relação A_i/A_u tendo em consideração o volume do espaço não útil (V_{enu}). A_i representa a área dos elementos que separam o espaço útil do espaço não útil e A_u representa a área dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior.

Os espaços não úteis (ENU) existentes na fração em estudo são a caixa de escadas e o desvão da cobertura. A caixa de escadas apresenta ventilação fraca (não tem abertura permanente), com volume inferior a 50m^3 e com relação A_i/A_u superior a 0,5 e inferior a 1. Com recurso aos valores tabelados chegou-se a um valor de b_{tr} de 0,7 o que significa que têm que ser cumpridos os requisitos mínimos definidos para a envolvente interior. O desvão da cobertura apresenta características de não ventilada, com volume superior a 50m^3 e inferior a 200m^3 , e com uma relação A_i/A_u superior a 0,5 e inferior a 1. Com recurso aos valores tabelados chegou-se a um valor de b_{tr} de 0,8 o que significa que têm que ser cumpridos os requisitos mínimos definidos para a envolvente exterior.

4.1.8 Caracterização dos sistemas de ventilação

A ventilação é realizada de forma natural, não havendo grelhas de ventilação para o efeito, através da abertura de janelas e da permeabilidade da envolvente exterior, através das caixas de estores, que se considerou com permeabilidade ao ar alta. A cozinha está munida de conduta de extração equipada com exaustor mecânico com filtros.

O cálculo de ventilação foi realizado com recurso à folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC [38] designada de “Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS”, conforme citado no despacho nº15793-K/2013 [42]. Nas condições referidas foi possível obter o valor estimado em 0,92 renovações de ar por hora (rph) do ar interior, quer na estação de inverno quer na estação de verão, com o valor mínimo de 0,40 rph e o valor de referência de 0,60 rph.

4.1.9 Caracterização dos sistemas técnicos

As águas quentes sanitárias (AQS) são obtidas com recurso a esquentador alimentado a gás natural, com potência de 19,2 kW e eficiência nominal de 0,75 visto ser um equipamento antigo. Não existe nenhum sistema de climatização quer para aquecimento, quer para arrefecimento, considerando-se assim os sistemas por defeito estipulados no REH [29].

4.1.10 Zonamento climático

Portugal encontra-se dividido em três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) e baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos (NUTS) de nível III, segundo o despacho (extrato) nº 15793-F/2013 [40].

O edifício encontra-se localizado no município de Braga pertencendo à NUTS III do Cávado, correspondendo à zona climática de inverno I2 e de verão V2. Os parâmetros climáticos foram obtidos a partir de valores de referência da NUTS III e ajustados à altitude do local com 201 metros, através da equação 1 e apresentado na Tabela 10, de forma a obter-se os requisitos de qualidade térmica.

Tabela 10 - Parâmetros climáticos ajustados

Parâmetros Climáticos	Estação de Aquecimento			Estação de Arrefecimento
	Duração da Estação de Aquecimento [M]: X (meses)	Número de Graus-Dias [GD]: X (°C)	Temperatura Exterior Média do Mês Mais Frio [$\theta_{ext,i}$]: X (°C)	Temperatura Exterior Média [$\theta_{ext,v}$]: X (°C)
X_{REF} (meses)	6,8	1491	9	20,7
a (mês/km)	0,001	1,3	-0,006	-0,003
z (m)	201	201	201	201
z_{REF} (m)	171	171	171	171
X (meses / °C)	6,83	1530	8,82	20,61

O zonamento climático de inverno caracteriza-se com a duração da estação de aquecimento em meses (M), com o número de Graus-Dias (GD) e com a temperatura exterior média do mês mais frio, ambos em graus Celcius (°C). O zonamento climático de verão caracteriza-se com uma duração da estação de 4 meses e com o parâmetro temperatura exterior média, em graus Celcius. Após ajustamento dos parâmetros climáticos, verifica-se que o número de graus-dias referente à estação de aquecimento e a temperatura média exterior referente à estação de arrefecimento cumprem os intervalos de requisitos de qualidade térmica definidos no mesmo despacho.

4.2 Caracterização do desempenho energético do edifício existente

Para esta fase da investigação foi analisada uma habitação-tipo num dos edifícios do bairro (Figura 7). A habitação analisada situa-se no último piso do edifício (Figura 11) e tem 63m² de área útil. A caracterização de desempenho energético do edificado existente foi realizada tendo por base as necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}), sendo estas associadas às águas quentes sanitárias e à climatização, quer para aquecimento, quer para arrefecimento.

O cálculo foi realizado com recurso à ferramenta de cálculo disponibilizada pelo IteCons [37], onde se obteve as necessidades energéticas constantes na Tabela 11.

Tabela 11 - Necessidades energéticas iniciais

Necessidades energéticas	Valor	Referência
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano) - <i>Nic</i>	226,43	55,46
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano) - <i>Nvc</i>	4,59	8,26
Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano) - <i>Qa</i>	2377	2377
Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano) - <i>Ntc</i>	621,80	188,13
<i>Ntc/Nt</i>	3,31	-
Classe energética	F	-

Por forma a manter os níveis de conforto térmico definidos na regulamentação portuguesa (temperatura ambiente interior entre 18°C e 25°C), o apartamento de tipologia T3, nas suas características atuais, com uma taxa de renovação de ar calculada de 0,92 rph, apresenta necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (*Nic*) de 266,43 kWh/m².ano e necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de 4,59 kWh/m².ano. Para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) a uma temperatura de 45°C necessita de energia útil de 2377 kWh/ano.

A habitação com 63 m² de área útil tem necessidades anuais globais de energia primária de 621,80 kWh/m².ano correspondente à classe energética F (menos eficiente). Esta classe energética deve-se sobretudo às necessidades de energia útil relacionada com a estação de aquecimento, bastante excessivo em comparação com os valores de referência. Por outro lado, verificam-se necessidades de energia útil na estação de arrefecimento abaixo dos valores de referência (a perda energia noturna pela envolvente é suficiente para arrefecer os espaços interiores), mas com menos expressão nos valores globais de energia primária necessária.

4.3 Medidas de melhoria na reabilitação energética

A caracterização e levantamento geral do edificado em conjunto com o cálculo das necessidades nominais de energia primária para aquecimento, arrefecimento e produção de AQS, permitiu obter um conhecimento mais aprofundado das zonas a intervir no âmbito da reabilitação energética.

A envolvente exterior é a principal responsável pela perda de energia, nomeadamente na estação de aquecimento, onde as necessidades de energia são elevadas. Não menos importante são os sistemas técnicos e de ventilação e, com menos expressão, é preciso ter também em consideração a envolvente interior que apresenta uma área muito reduzida e, por isso, não foi incluída neste estudo ao nível de apresentação de propostas de melhoria.

Assim, neste estudo, para a envolvente exterior foram propostas medidas de melhoria de reabilitação energética para as paredes exteriores (fachadas), para os vãos envidraçados (janelas) e para a laje de esteira da cobertura. A investigação analisou soluções construtivas correntes e mais utilizadas em Portugal incluindo ainda um painel pré-fabricado (desenvolvido na UMinho), totalizando nesta fase 41 variáveis, conforme listado na Tabela 12. As características térmicas e energéticas de cada medida de melhoria estão disponíveis no ANEXO II.

Tabela 12 - Medidas de melhoria de reabilitação energética

Var.	Cob.	Pared. exteriores	Vãos env.	U [W/(m ² .°C)]	Var.	Cob.	Pared. exteriores	Vãos env.	U [W/(m ² .°C)]
REF	-----	Pintura	Pintura	COB=3.52; PE1=0.69; PE2=1.43; VE1=3.40; VE2=5.10	21	-----	Iso.Int. EPS 90 mm	-----	PE=0.32
1	-----	ETICS EPS 40mm	-----	PE1=0.40; PE2=0.57	22	-----	Iso.Int. EPS 120 mm	-----	PE=0.24
2	-----	ETICS EPS 80mm	-----	PE1=0.28; PE2=0.36	23	-----	Iso.Int. PLMN 60mm	-----	PE=0.48
3	-----	ETICS EPS 120mm	-----	PE1=0.22; PE2=0.26	24	-----	Int. int. PLMN 90mm	-----	PE=0.33
4	-----	ETICS PLRV 40mm	-----	PE1=0.40; PE2=0.57	25	-----	Iso.Int. PLMN 120mm	-----	PE=0.25
5	-----	ETICS PLRV 80mm	-----	PE1=0.28; PE2=0.36	26	-----	Iso.Int. Cortiça 60mm	-----	PE=0.53
6	-----	ETICS PLRV 120mm	-----	PE1=0.22; PE2=0.26	27	-----	Iso.Int. Cortiça 90mm	-----	PE=0.37
7	-----	ETICS Cortiça 40mm	-----	PE1=0.41; PE2=0.59	28	-----	Iso.Int. Cortiça 120mm	-----	PE=0.28
8	-----	ETICS Cortiça 80mm	-----	PE1=0.29; PE2=0.37	29	-----	EPS 60mm	-----	COB=0.48
9	-----	ETICS Cortiça 120mm	-----	PE1=0.22; PE2=0.27	30	-----	EPS 90mm	-----	COB=0.33
10	-----	MORE-CONNECT	-----	PE1=0.13; PE2=0.14	31	-----	EPS 120mm	-----	COB=0.26
11	-----	F.Vent. EPS 40 mm	-----	PE1=0.37; PE2=0.50	32	-----	PLMN 100mm	-----	COB=0.38
12	-----	F.Vent. EPS 80 mm	-----	PE1=0.25; PE2=0.30	33	-----	PLMN 120mm	-----	COB=0.32
13	-----	F.Vent. EPS 120 mm	-----	PE1=0.19; PE2=0.22	34	-----	PLMN 140mm	-----	COB=0.28
14	-----	F.Vent. PLMVP 40mm	-----	PE1=0.39; PE2=0.57	35	-----	PP 60mm	-----	COB=0.41
15	-----	F.Vent. PLMVP 80mm	-----	PE1=0.27; PE2=0.33	36	-----	PP 80mm	-----	COB=0.32
16	-----	F.Vent. PLMVP 120mm	-----	PE1=0.21; PE2=0.24	37	-----	PP 100mm	-----	COB=0.26
17	-----	F.Vent. Cortiça 40 mm	-----	PE1=0.39; PE2=0.55	38	-----	-----	PVC. +Vidro 2x Standard	VE=2.70; g _{L,vi} =0.75
18	-----	F.Vent. Cortiça 80 mm	-----	PE1=0.27; PE2=0.34	39	-----	-----	PVC. +Vidro 2xtérmico	VE=1.40; g _{L,vi} =0.39
19	-----	F.Vent. Cortiça 120 mm	-----	PE1=0.21; PE2=0.25	40	-----	-----	ALUM. +Vidro 2x Standart	VE=2.70; g _{L,vi} =0.75
20	-----	Iso.Int. EPS 60 mm	-----	PE=0.46	41	-----	-----	ALUM. +Vidro 2x térmico	VE=1.40; g _{L,vi} =0.39

COB=Cobertura

PE = Parede Exterior

VE = Vão Envidraçado

F. Vent. = Fachada Ventilada

ETICS = Sistema composto isolamento térmico exterior

MORE-CONNECT = Painel pré-fabricado

Iso. Int. = Isolamento pelo interior

EPS = Poliestireno expandido

PLRV = Placa Lã Rocha Vulcânica

PLMVP = Placa Lã Mineral com Véu Preto

PLMN = Placa Lã Mineral Natural

PP = Poliuretano projetado

PVC = Policloreto de vinil

ALUM. = Alumínio

As medidas relativas às paredes exteriores são constituídas por 4 tipos de soluções construtivas - sistema composto de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), painel pré-fabricado aplicado pelo exterior, fachada ventilada e isolamento térmico pelo interior. Cada solução construtiva concebida para as paredes exteriores tem 3 variantes em relação ao tipo de isolamento e cada tipo de isolamento tem 3 variantes ao nível da espessura. Os tipos de isolamento usados foram o poliestireno expandido (EPS), placa de lã rocha vulcânica (PLRV) e cortiça expandida. O painel pré-fabricado analisado neste estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto de investigação Europeu More-Connect na Universidade do Minho e é composto por uma estrutura de madeira, revestimento em *Coretech* e isolamento em poliuretano injetado, tendo no total 120mm de espessura (Figura 12). Esta solução preconiza ainda a colocação de uma manta de lã rocha de 100mm entre o painel e a parede exterior existente e foi testada em laboratório na Universidade do Minho [54]. Esta solução pretende potenciar não só o desempenho energético na envolvente opaca, como o tempo da intervenção, que é reduzido para o máximo de 8 dias.

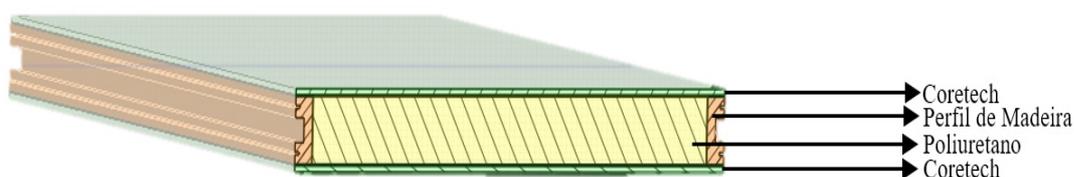


Figura 12 - Painel More-Connect [55]

As melhorias propostas para a cobertura referem-se à adição de isolamento térmico sobre a laje de esteira. Neste elemento construtivo também foram analisadas 3 variantes relativas aos tipos de isolamento e cada tipo de isolamento tem 3 variantes ao nível da espessura. Os tipos de isolamento analisados foram o EPS, placa de lã mineral natural (PLMN) e o poliuretano projetado (PP).

Os vãos envidraçados foram avaliados com 4 variáveis, 2 constituídos com caixilharia em PVC (policloreto de vinil) e 2 constituídos em caixilharia de alumínio. Cada de tipo de caixilharia foi analisado com vidro duplo *standard* e com vidro duplo térmico de baixa emissividade. Todos os envidraçados propostos contêm proteções exteriores em alumínio termolacado de cor branca com isolamento térmico no interior.

O coeficiente de transmissão térmica (U) das medidas de melhoria foi obtido analiticamente, recorrendo aos parâmetros térmicos constantes na publicação ITE 50 [44] e nos catálogos técnicos dos materiais aplicados nas soluções construtivas.

Além da proposta de medidas de melhoria para a envolvente, foram considerados 8 possíveis sistemas técnicos com e sem energia renovável, conforme listado na Tabela 13, que serão simulados com os pacotes de reabilitação formados pelas melhores medidas isoladas.

Tabela 13 – Sistemas técnicos e energias renováveis

Var.	AQS	Aquecimento	Arrefecimento	Energias Renováveis
REF.	Esquentador $\eta=0,75$	Aquecedores electricos $\eta=1,00$	A/C (splits) EER=3,00	-----
S1	Caldeira $\eta=0,92$	Caldeira $\eta=0,92$	A/C (splits) EER=4,00	-----
S2	Bomba calor COP=3,33	Bomba calor COP=3,33	Bomba calor EER=2,68	-----
S3	Esquentador $\eta=0,97$	A/C (splits) COP=4,40	A/C (splits) EER=4,00	-----
S4	Caldeira $\eta=0,92$	Caldeira $\eta=0,92$	-----	-----
S5	Caldeira $\eta=0,92$	Caldeira $\eta=0,92$	A/C (splits) EER=4,00	ST - AQS (REH)
S6	Bomba calor COP=3,33	Bomba calor COP=3,33	Bomba calor EER=2,68	PV
S7	Esquentador $\eta=0,97$	A/C (splits) COP=4,40	A/C (splits) EER=4,00	PV
S8	Caldeira $\eta=0,92$	Caldeira $\eta=0,92$	-----	ST - AQS (REH)

Inicialmente expõe-se a constituição de 4 sistemas técnicos para a climatização e preparação de AQS. Ainda são integradas as fontes de energia renovável formando mais 4 sistemas. Para a preparação de AQS foram analisados aparelhos como o esquentador e a caldeira a gás e a bomba de calor. Para a climatização (aquecimento e arrefecimento) foram analisados aquecedores elétricos (reabilitação de referência), a caldeira a gás, a bomba de calor e o ar condicionado. Para a produção de energia renovável foram analisadas o coletor solar térmico (ST) para a produção de AQS no âmbito dos requisitos do REH e ainda os painéis fotovoltaicos (PV). De referir que alguns aparelhos têm mais de que uma função, nomeadamente a caldeira que serve para a produção de AQS e aquecimento com recurso aos

radiadores, a bomba de calor que tem as 3 funções (aquecimento, arrefecimento e AQS) e o ar condicionado (A/C) que tem a função de arrefecimento e aquecimento com recurso a *splits*. De referir que o A/C atribuído por defeito à reabilitação de referência foi alterado para um A/C mais eficiente para os pacotes de reabilitação aqui propostos.

4.4 Conclusão

O levantamento dimensional e a caracterização do edifício caso de estudo, no estado em que se encontra, em conjunto com a análise do seu desempenho energético através do cálculo das necessidades nominais energéticas úteis para a climatização e preparação de AQS, é essencial para se entender quais as melhores medidas de melhoria a propor para a envolvente e para os sistemas técnicos.

Para este estudo foi selecionada a habitação tipo de tipologia T3 com área útil de 63 m², localizada no último piso junto à cobertura que apresenta a classificação energética F, principalmente devido às necessidades de energia para o aquecimento da habitação. Esta análise evidencia, nesta fase, a necessidade de intervenção ao nível da envolvente exterior e ao nível dos sistemas técnicos, proposto na secção 4.3. Ao nível da envolvente propôs-se intervenção nas fachadas (paredes exteriores), vãos exteriores envidraçados e na cobertura (laje de esteira). Ao nível dos sistemas técnicos, propôs-se a integração de coletores solares térmicos para preparação de AQS e painéis solares fotovoltaicos para a produção de energia elétrica de origem renovável.

CAPÍTULO 5 – RENTABILIDADE DOS PACOTES DE REABILITAÇÃO

O capítulo apresenta o resultado dos cálculos efetuados relativamente à comparação da reabilitação de referência com as diversas intervenções no edifício para avaliar a sua rentabilidade. Tanto melhorias para envolvente como introdução de sistemas e fontes de energia renovável foram analisados. No âmbito das melhorias de envolvente, juntamente com as soluções correntes e mais utilizadas em Portugal, foi também testado um sistema de painéis modulares pré-fabricados com isolamento térmico desenvolvido na Universidade do Minho no âmbito do projeto More-Connect [55].

Inicialmente é apresentada a análise isolada de rentabilidade para as paredes exteriores, de seguida analisa-se a laje de esteira da cobertura e por fim são analisados os vãos exteriores. Tendo por base os resultados isolados obtidos no estudo da rentabilidade para os elementos construtivos da envolvente, foram posteriormente definidos os pacotes de reabilitação a serem testados. Os pacotes de reabilitação incluem as soluções de custo-ótimo, bem como as melhores medidas de melhoria, obtidas na análise isolada. Após a constituição dos pacotes de medidas de envolvente, foram associados os sistemas técnicos e integradas as fontes de energia renovável aos melhores pacotes de reabilitação ao nível de rentabilidade. Em toda esta análise de rentabilidade foram estudadas 95 variáveis. Os custos de investimento inicial relacionados com as medidas de melhoria e pacotes de reabilitação encontram-se disponíveis no ANEXO III. Os custos anuais globais relacionados com as medidas de melhoria e pacotes de reabilitação encontram-se disponíveis no ANEXO IV. As necessidades energéticas relacionadas com as medidas de melhoria e pacotes de reabilitação encontram-se disponíveis no ANEXO VI.

5.1 Análise isolada das medidas de melhoria

Nesta fase de análise isolada das medidas de melhoria aplicadas nas paredes exteriores, na laje de esteira e nos vãos exteriores, são constituídas 41 variáveis de estudo.

A Figura 13 e a Figura 14 mostram os resultados obtidos da rentabilidade para a perspetiva privada e para a perspetiva social respetivamente, analisadas isoladamente as paredes exteriores (fachadas) com 4 tipos de soluções construtivas, conforme anteriormente descrito. Para as paredes exteriores foram testadas 28 variáveis isoladamente. Observando os gráficos constata-se a existência de 4 tipos de soluções construtivas com rentabilidade positiva (abaixo da linha referência).

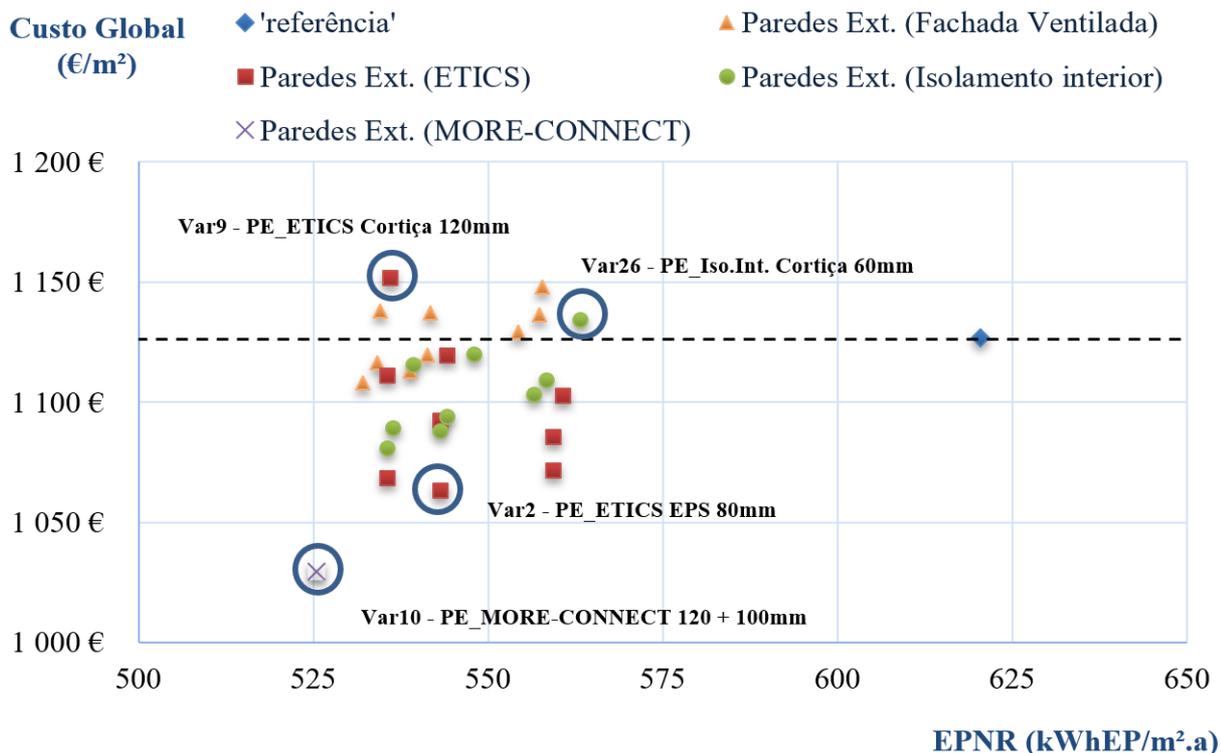


Figura 13 - Resultados da análise de custo-ótimo (paredes exteriores) – Perspetiva privada

Na Figura 13, apresentam-se os resultados das variáveis 1 a 28, constantes na Tabela 12. Conforme se pode verificar, na perspetiva privada, quase todas as variantes ETICS (com exceção da cortiça com espessura 120mm – var9), apresentam-se como soluções com rentabilidade positiva. A mesma situação é verificada para o isolamento pelo interior, com todas as variantes a serem apresentadas como rentáveis com exceção daquela que contém cortiça com espessura de 60mm (var26). A fachada ventilada apresenta menos variáveis rentáveis. Os cálculos indicam que, para o isolamento com cortiça, nenhuma espessura é rentável, e que para os isolamentos EPS e PLMN, as menores espessuras consideradas também não se encontram abaixo da linha de referência.

Relativamente, à perspetiva social (Figura 14) é de salientar que todas as variáveis constituem soluções com rentabilidade positiva. Esta situação deve-se principalmente, entre outros fatores, ao fraco desempenho energético da reabilitação de referência, que é agravado pelos custos da taxa de emissões de CO₂. Esta dinâmica faz com que a linha de referência se situe mais alta no eixo das ordenadas, relativamente ao gráfico da rentabilidade, e as variáveis fiquem abaixo da linha de referência constituindo assim soluções com rentabilidade positiva.

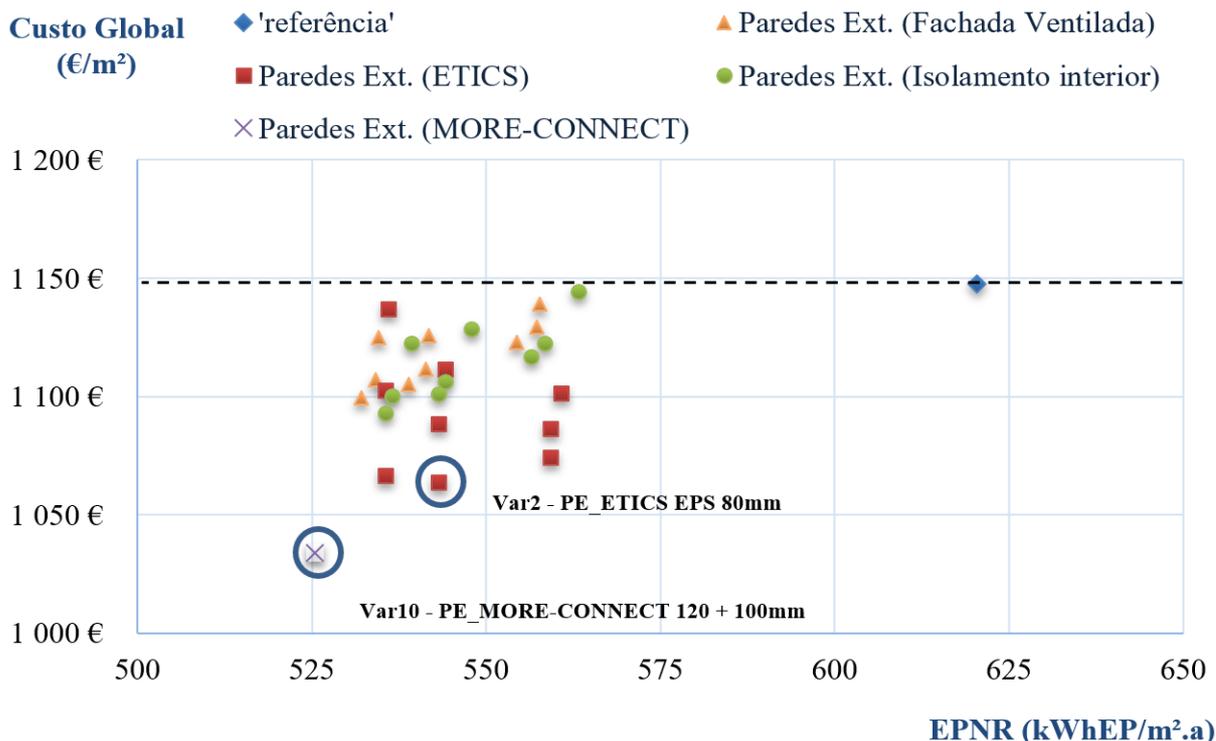


Figura 14 - Resultados da análise de custo-ótimo (paredes exteriores) – Perspetiva social

Da análise efetuada, a solução de custo-ótimo é o painel pré-fabricado More-Connect (var10 - conforme Tabela 12), em ambas as perspetivas, levando a necessidades de energia primária não renovável (EPNR) de 525kWh/m².ano. A solução de custo-ótimo, na perspetiva privada tem o custo global anual de 1029€/m² e na perspetiva social tem um custo de 1033€/m². Muito próximo da solução de custo-ótimo apresenta-se a variável ETICS com isolamento EPS de 80 mm de espessura (var2 – conforme Tabela 12), com necessidades de EPNR de 543kWh/m².ano. Esta medida de melhoria aumenta o custo em cerca de 30€/m² e apresenta em ambas as perspetivas o mesmo custo global anual de 1063€/m². A solução de custo-ótimo isoladamente conduz a uma diminuição 15% nas necessidades nominais anuais globais de energia primária e uma redução no custo global anual de 9%.

A Figura 15 e Figura 16 mostram os resultados obtidos, para a perspetiva privada e para a perspetiva social, analisada isoladamente a laje de esteira da cobertura com 3 tipos de isolamento, conforme anteriormente descrito. Para a laje de esteira foram testadas 9 variáveis isoladamente. Observando os gráficos da Figura 15 e Figura 16, constata-se que todas as variáveis constituem soluções com rentabilidade (abaixo da linha referência) e muito próximas, em ambas as perspetivas. Observando a Figura 15 e Figura 16, destaca-se que a solução de custo-ótimo é PLMN de 140mm de espessura (var34 - conforme Tabela 12), em ambas as perspetivas apresentando necessidades de energia primária não renovável (EPNR) de 334kWh/m².ano. A solução de custo-ótimo, na perspetiva privada tem o custo global anual de 752€/m² e na perspetiva social tem um custo de 764€/m². Muito próximo da solução de custo-ótimo apresenta-se a solução que contém a PLMN de 120mm de espessura (var.33 - conforme Tabela 12), com necessidades de EPNR de 338kWh/m².ano. Esta medida de melhoria aumenta o custo em 4€/m², na perspetiva privada tem o custo global anual de 756€/m² e na perspetiva social tem um custo de 768€/m². A solução de custo-ótimo aplicada isoladamente conduz a uma diminuição de 46% das necessidades nominais anuais globais de energia primária e uma diminuição de 33% nos custos globais anuais, dependendo da espessura considerada.

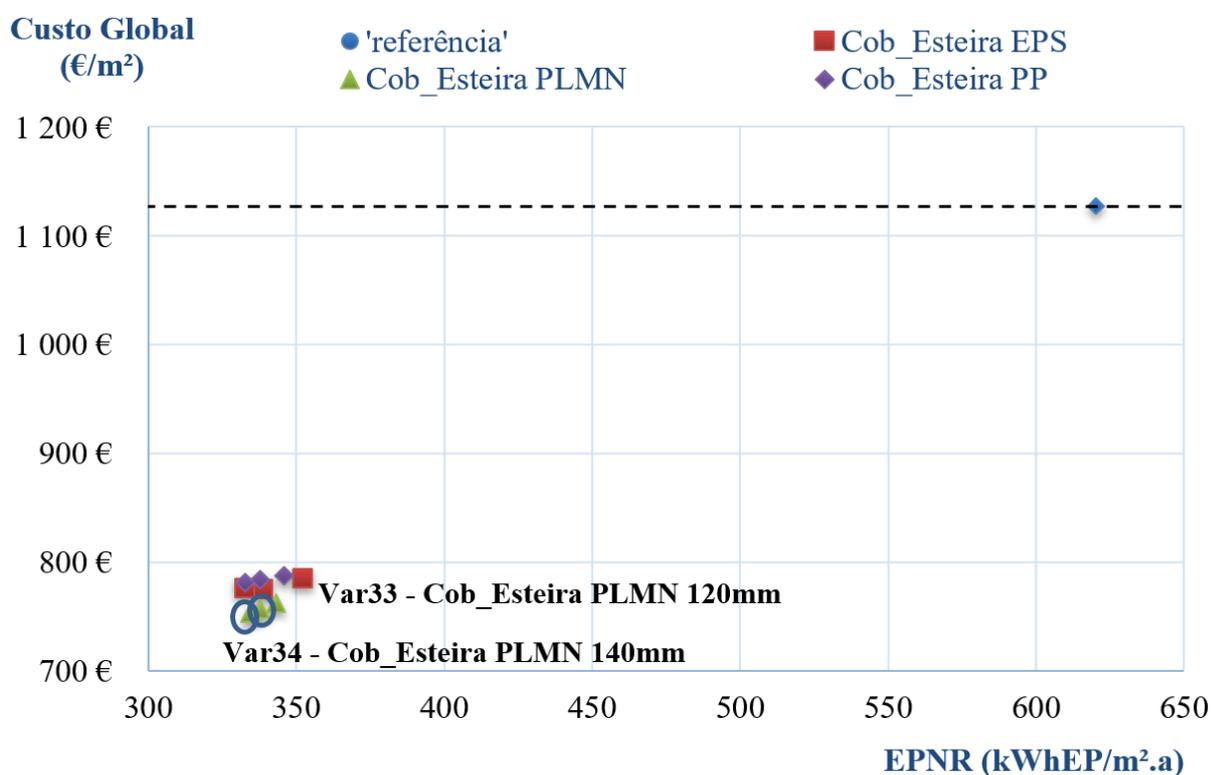


Figura 15 - Resultados da análise de custo-ótimo (laje esteira) – Perspetiva privada

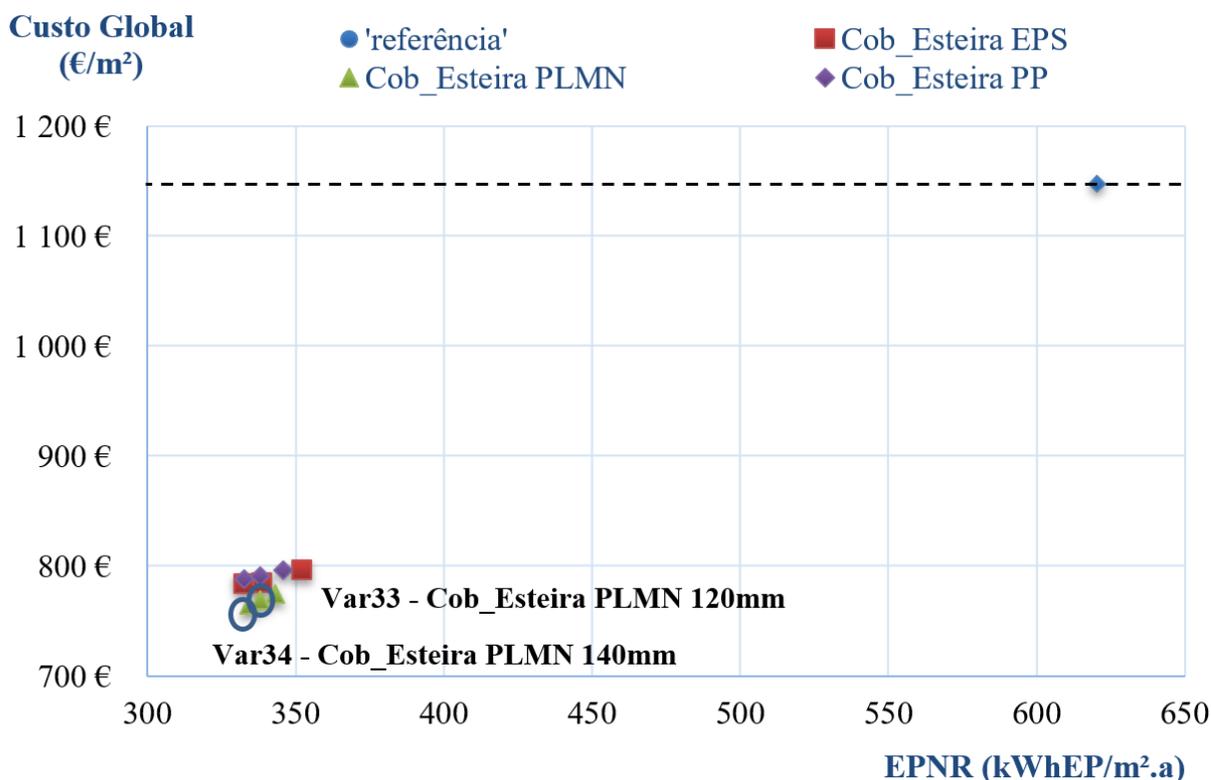


Figura 16 - Resultados da análise de custo-ótimo (laje esteira) – Perspetiva social

A Figura 17 e Figura 18 mostram os resultados obtidos, para a perspetiva privada e para a perspetiva social, analisados isoladamente os vãos envidraçados, conforme anteriormente descrito. Para os vãos envidraçados foram testadas 4 variáveis isoladamente. Da análise efetuada, constata-se que, em ambas as perspetivas, nenhuma das variáveis corresponde a uma solução de reabilitação com rentabilidade positiva, encontrando-se acima da linha de referência. De destacar, a solução que levou à melhor rentabilidade é a caixilharia PVC com envidraçado térmico (var39 - conforme Tabela 12), em ambas as perspetivas, esta conduz a necessidades de energia primária não renovável (EPNR) de 604kWh/m².ano (redução de 3% EPNR). Esta medida, na perspetiva privada tem o custo global anual de 1166€/m², mais cara 4% relativamente à reabilitação de referência, e na perspetiva social tem um custo de 1177€/m².

Esta melhoria aplicada isoladamente representa uma diminuição de 0,4% a 3% na dependência das necessidades nominais anuais globais de energia primária. Constatou-se ainda que o tipo de vidros e o espaço de ar existente entre eles influenciam diretamente as características térmicas do envidraçado e por sua vez o desempenho energético do edifício.

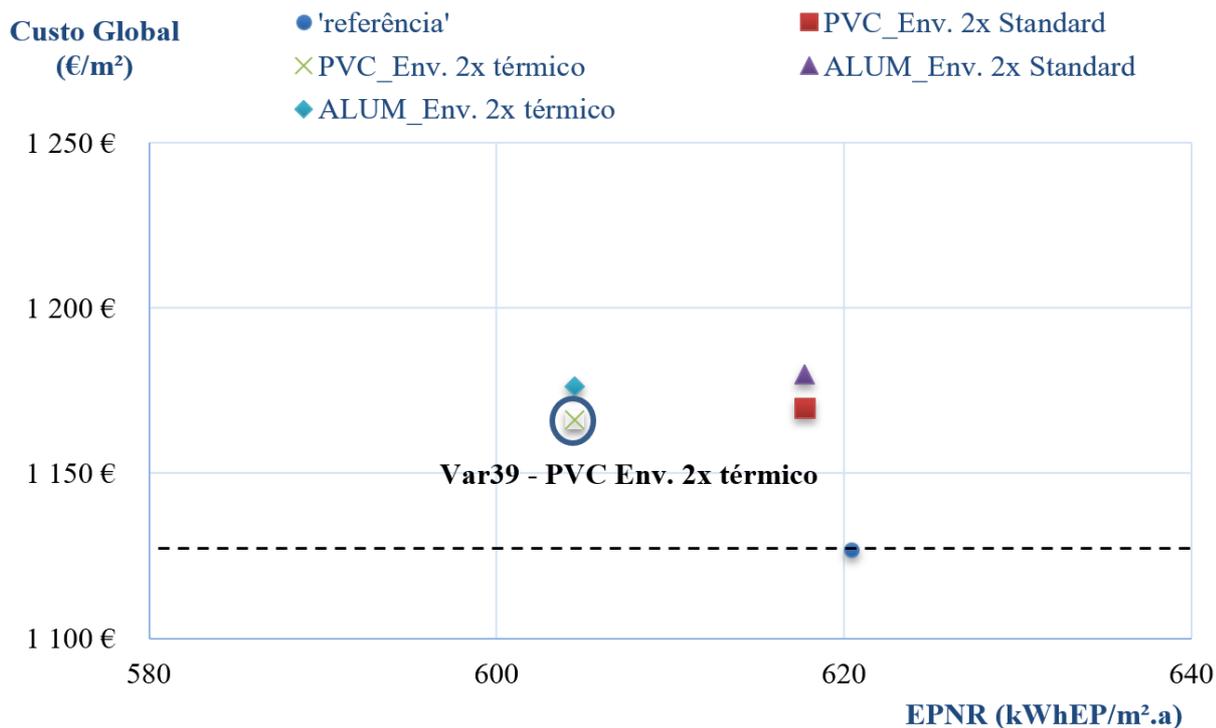


Figura 17 - Resultados da análise de custo-ótimo (vãos envidraçados) – Perspetiva privada

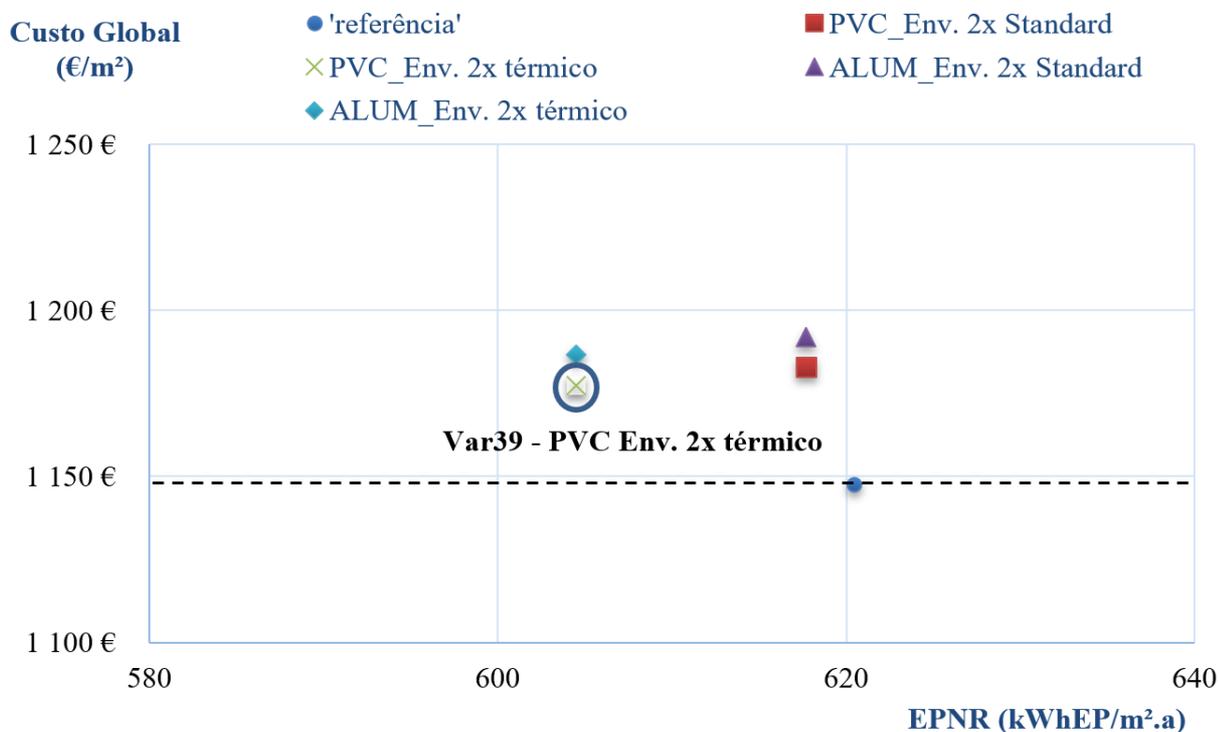


Figura 18 - Resultados da análise de custo-ótimo (vãos envidraçados) – Perspetiva social

A Figura 19 e a Figura 20 mostram todos os resultados obtidos para os elementos da envolvente, para a perspetiva privada e para a perspetiva social, aplicados ao caso de estudo para 41 variáveis analisadas isoladamente, conforme constantes na Tabela 12. Destacam-se 3 grandes grupos de variáveis associados às soluções construtivas aplicadas à cobertura (laje de esteira), às paredes exteriores (PE) e aos vãos envidraçados (VE) que conduzem a uma diminuição da EPNR de cerca de 46% (laje de esteira), 15% (PE) e 3% (VE), e a uma diminuição do custo global de 33% (laje de esteira), 9% (PE) e a um aumento no custo de 4% (VE), respetivamente.

As reduções obtidas indicam que é possível alcançar melhorias significativas no desempenho energético do edifício com soluções com rentabilidade muito elevada. Estes resultados sugerem ainda que estas soluções, ao nível da envolvente, podem contribuir significativamente para que o edificado existente atinja os requisitos nZEB.

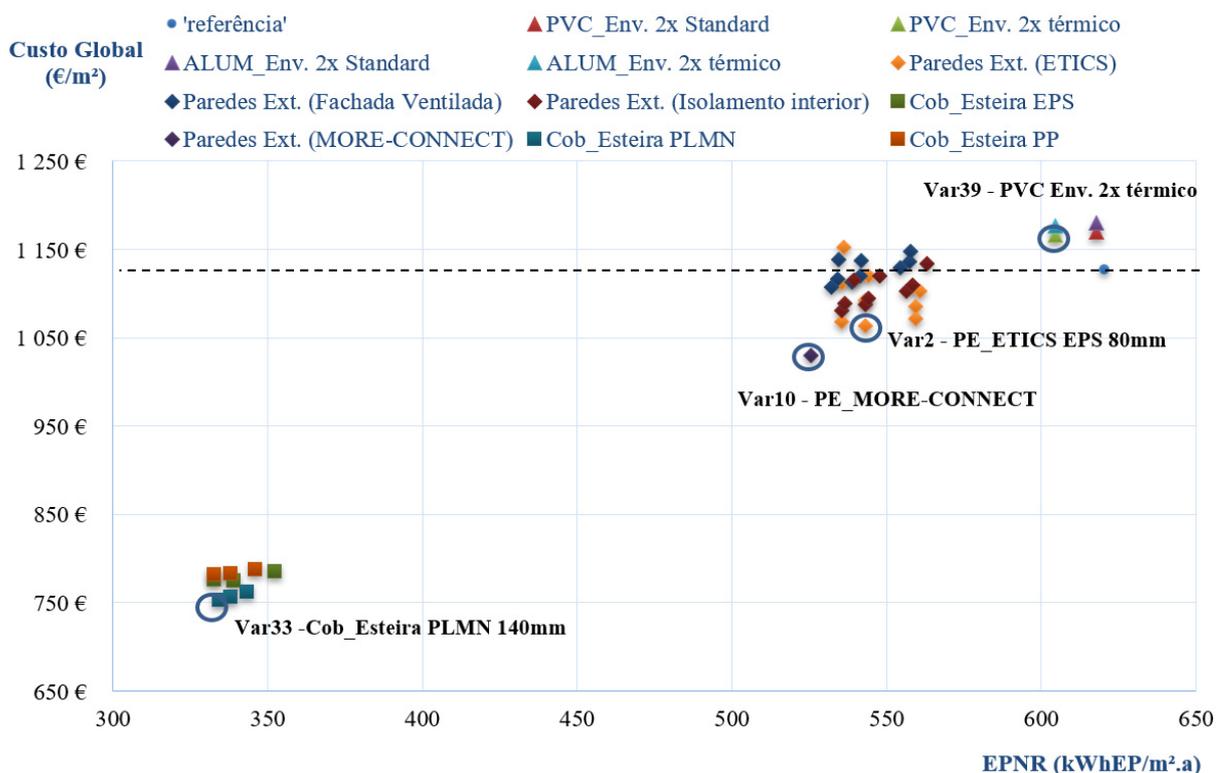


Figura 19 - Resultados da análise de custo-ótimo (medidas isoladas) – Perspetiva privada

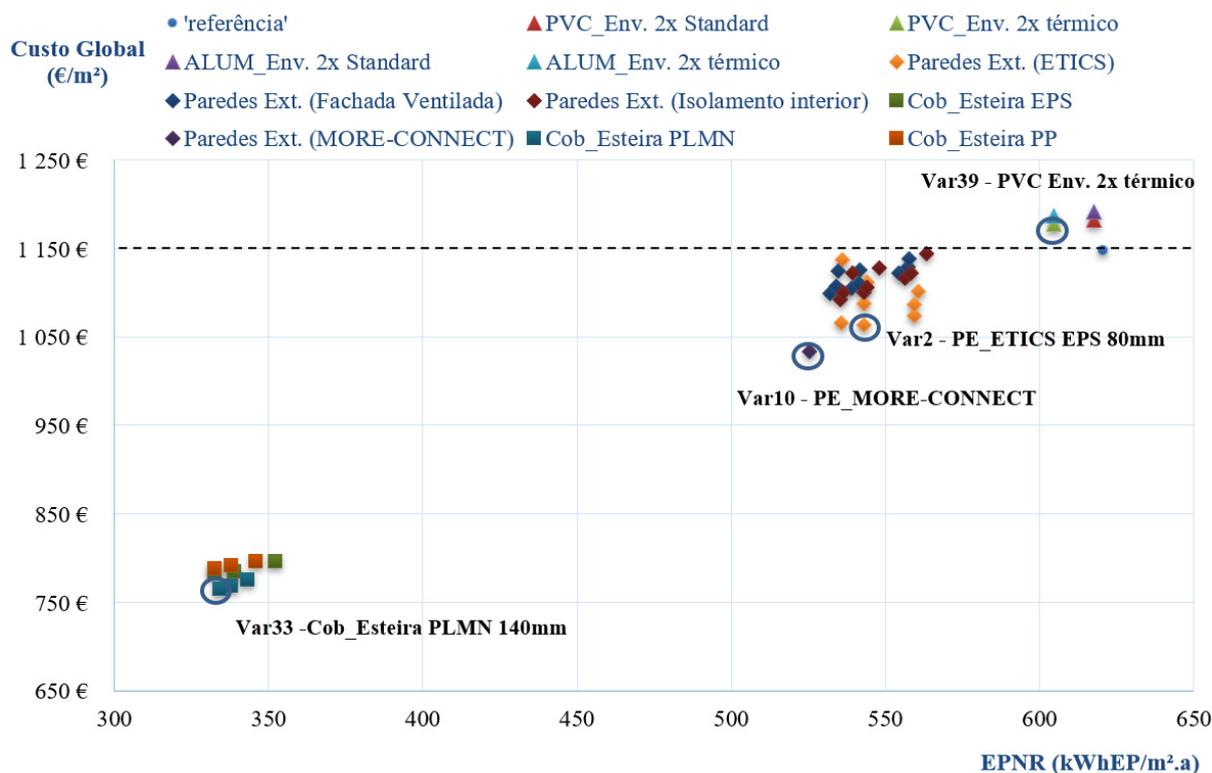


Figura 20 - Resultados da análise de custo-ótimo (medidas isoladas) – Perspetiva social

5.2 Análise dos pacotes de reabilitação

Após análise das medidas aplicadas isoladamente, criaram-se 6 pacotes de reabilitação (Tabela 14), onde incluíram-se as soluções de custo-ótimo, dos 3 grandes grupos de variáveis. Adicionalmente incluíram-se as medidas de melhoria por elemento construtivo que apresentaram um desempenho energético próximo da solução de custo-ótimo. Numa segunda fase, foram associados os sistemas técnicos e integradas as fontes de energia renovável.

Para as paredes exteriores (PE) foram escolhidos o painel pré-fabricado More-Connect, o ETICS com EPS de espessuras 80mm e 120mm. Para a laje de esteira da cobertura (Cob_Esteira) foi escolhido a PLMN de espessuras 120mm e 140mm. Para o vão envidraçado (Env.) foi escolhida a caixilharia de PVC com vidro duplo térmico. Não houve modificação relativamente aos sistemas de climatização e águas quentes sanitárias selecionados, continuando a ser considerados os sistemas por defeito definidos anteriormente. Estas medidas de melhoria energética foram combinadas entre elas, de forma a analisar todas as possibilidades de constituição, originando 6 pacotes de reabilitação, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Pacotes de reabilitação

Variável	Cobertura	Paredes exteriores	Vãos envidraçados	Sistemas técnicos
REF	-----	Pintura	Pintura	Esquentador + AVAC + Aquecedor electrico [REF.]
42 (Pac. 1)	Cob_Esteira PLMN 140mm	PE_MORE-CONNECT 220mm	Env. PVC. + Vidro 2xtérmico	Sistemas por defeito REF.
43 (Pac. 2)	Cob_Esteira PLMN 140mm	PE_ETICS EPS 80mm	Env. PVC. + Vidro 2xtérmico	Sistemas por defeito REF.
44 (Pac. 3)	Cob_Esteira PLMN 140mm	PE_ETICS EPS 120mm	Env. PVC. + Vidro 2xtérmico	Sistemas por defeito REF.
45 (Pac. 4)	Cob_Esteira PLMN 120mm	PE_MORE-CONNECT 220mm	Env. PVC. + Vidro 2xtérmico	Sistemas por defeito REF.
46 (Pac. 5)	Cob_Esteira PLMN 120mm	PE_ETICS EPS 80mm	Env. PVC. + Vidro 2xtérmico	Sistemas por defeito REF.
47 (Pac. 6)	Cob_Esteira PLMN 120mm	PE_ETICS EPS 120mm	Env. PVC. + Vidro 2xtérmico	Sistemas por defeito REF.

A Figura 21 e a Figura 22 mostram os resultados obtidos para a rentabilidade dos pacotes constituídos, em ambas as perspetivas, onde se constata a formação de 4 grupos de variáveis associados aos pacotes de reabilitação (Tabela 14) da envolvente e às soluções construtivas aplicadas isoladamente (Tabela 12). Observando as figuras, verifica-se que os pacotes (var.42 e var.45) conduzem a uma diminuição até 70% na EPNR e 43% do custo global anual.

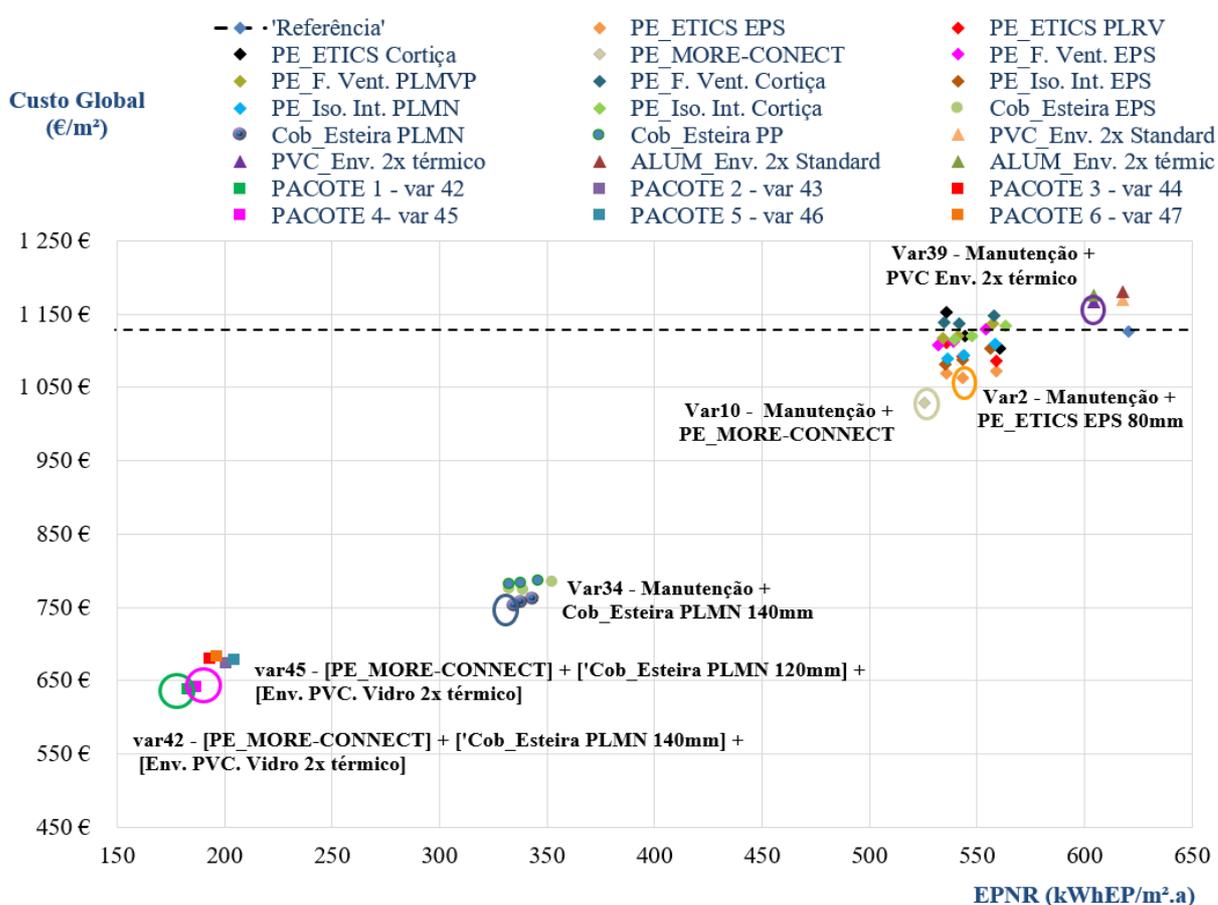


Figura 21 - Resultados da análise de custo-ótimo (pacotes reabilitação) – Perspetiva privada

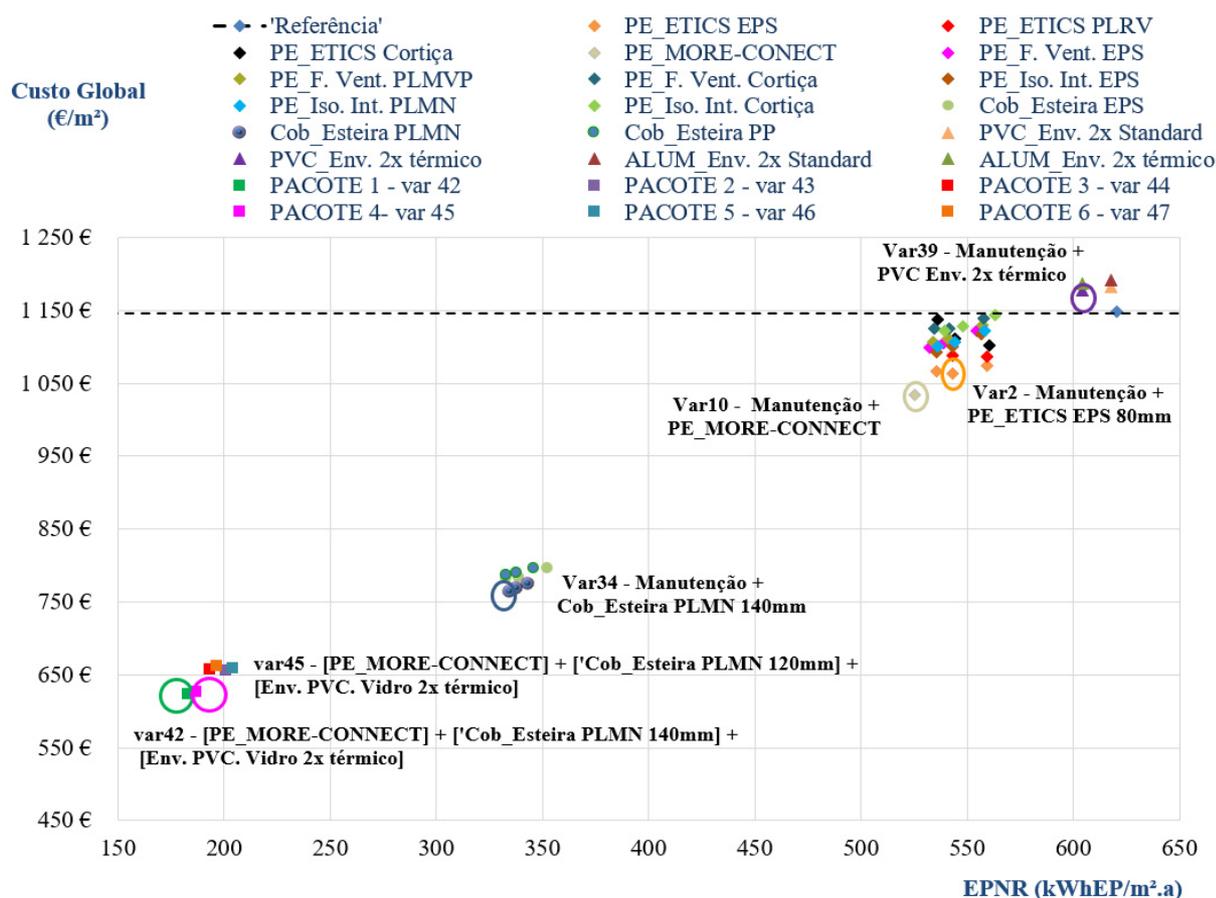


Figura 22 - Resultados da análise de custo-ótimo (pacotes reabilitação) – Perspetiva social

De referir que o pacote solução custo-ótimo (var.42 – constante na Tabela 14) é constituído pelo painel More-Connect nas paredes exteriores, pela PLMN de 140mm na cobertura e pelo vão envidraçado PVC com vidro duplo térmico que conduz a um custo global anual de 638€/m² (redução de 43%) e a uma EPNR de 183kWh/m².ano (redução de 70%). Também outra solução (var.45 – constante na Tabela 14) se vislumbra como alternativa, com a diferença apenas na espessura do isolamento da laje de esteira para 120mm.

Nesta fase, apresentam-se os resultados para pacotes de reabilitação com sistemas técnicos integrados, com e sem produção de energia renovável. Os sistemas técnicos associados às fontes de energia renovável, doravante designados por sistemas técnicos, analisados e combinados com todos os pacotes de reabilitação, são apresentados na Tabela 15 e Tabela 16, constituíram 48 variáveis de estudo, desde a variável 48 à variável 95.

De referir que não foi constituído nenhum pacote de reabilitação com as duas fontes de energia renovável, de forma a poder-se entender qual a contribuição de cada fonte de energia.

No cálculo do custo anual global teve-se em consideração o tempo de vida útil de cada aparelho, segundo a norma europeia CEN/TC 228 N565 [56]. As respetivas características encontram-se descritos no ANEXO V.

Tabela 15 - Constituição dos pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos

Variável	Cobertura	Paredes exteriores	Vãos envidraçados	Sistemas técnicos
48 (Pac.1 + S1)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S1 - Caldeira+A/C
49 (Pac.1 + S2)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S2 - Bomba de Calor (HP)
50 (Pac.1 + S3)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S3 - Esquentador+A/C
51 (Pac.1 + S4)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S4 - Caldeira
52 (Pac.1 + S5)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S5 - Caldeira+A/C+ST
53 (Pac.1 + S6)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S6 - HP + PV
54 (Pac.1 + S7)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S7 - Esquentador+A/C+PV
55 (Pac.1 + S8)	Esteira PLMN 140mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S8 - Caldeira+ST
56 (Pac.2 + S1)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S1 - Caldeira+A/C
57 (Pac.2 + S2)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S2 - Bomba de Calor (HP)
58 (Pac.2 + S3)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S3 - Esquentador+A/C
59 (Pac.2 + S4)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S4 - Caldeira
60 (Pac.2 + S5)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S5 - Caldeira+A/C+ST
61 (Pac.2 + S6)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S6 - HP + PV
62 (Pac.2 + S7)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S7 - Esquentador+A/C+PV
63 (Pac.2 + S8)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 80mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S8 - Caldeira+ST
64 (Pac.3 + S1)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S1 - Caldeira+A/C
65 (Pac.3 + S2)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S2 - Bomba de Calor (HP)
66 (Pac.3 + S3)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S3 - Esquentador+A/C
67 (Pac.3 + S4)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S4 - Caldeira
68 (Pac.3 + S5)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S5 - Caldeira+A/C+ST
69 (Pac.3 + S6)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S6 - HP + PV
70 (Pac.3 + S7)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S7 - Esquentador+A/C+PV
71 (Pac.3 + S8)	Esteira PLMN 140mm	ETICS EPS 120mm	PVC. + Vidro 2xtérmico	S8 - Caldeira+ST
72 (Pac.4 + S1)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S1 - Caldeira+A/C
73 (Pac.4 + S2)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S2 - Bomba de Calor (HP)
74 (Pac.4 + S3)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S3 - Esquentador+A/C
75 (Pac.4 + S4)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S4 - Caldeira
76 (Pac.4 + S5)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S5 - Caldeira+A/C+ST
77 (Pac.4 + S6)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S6 - HP + PV
78 (Pac.4 + S7)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S7 - Esquentador+A/C+PV
79 (Pac.4 + S8)	Esteira PLMN 120mm	MORE-CONNECT 220mm	PVC. +Vidro 2xtérmico	S8 - Caldeira+ST

Tabela 16 - Constituição dos pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos (conclusão)

Variável	Cobertura	Paredes exteriores	Vãos envidraçados	Sistemas técnicos
80 (Pac.5+ S1)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S1 - Caldeira+A/C
81 (Pac.5+ S2)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S2 - Bomba de Calor (HP)
82 (Pac.5+ S3)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S3 - Esquentador+A/C
83 (Pac.5+ S4)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S4 - Caldeira
84 (Pac.5+ S5)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S5 - Caldeira+A/C+ST
85 (Pac.5+ S6)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S6 - HP + PV
86 (Pac.5+ S7)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S7 - Esquentador+A/C+PV
87 (Pac.5+ S8)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 80mm	PVC. + Vidro 2x térmico	S8 - Caldeira+ST
88 (Pac.5+ S1)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S1 - Caldeira+A/C
89 (Pac.5+ S2)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S2 - Bomba de Calor (HP)
90 (Pac.5+ S3)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S3 - Esquentador+A/C
91 (Pac.5+ S4)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S4 - Caldeira
92 (Pac.5+ S5)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S5 - Caldeira+A/C+ST
93 (Pac.5+ S6)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S6 - HP + PV
94 (Pac.5+ S7)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S7 - Esquentador+A/C+PV
95(Pac.5+ S8)	Esteira PLMN 120mm	ETICS EPS 120mm	PVC. +Vidro 2x térmico	S8 - Caldeira+ST

Constituídos os pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos, demonstra-se a análise da rentabilidade, através da Figura 23. Decidiu-se aqui salientar a perspetiva privada, uma vez que é a perspetiva mais adequada com vista aos objetivos práticos da dissertação – assistir a BragaHabit na escolha das medidas de melhoria a implementar numa intervenção de reabilitação energética.

Verifica-se, na Figura 23, que os resultados se encontram mais dispersos, mas formando grupos, quando comparados com os pacotes de reabilitação sem sistemas. Esta característica nos resultados deve-se essencialmente à eficiência dos aparelhos, bem como à introdução de fontes de energia renovável, que afetam diretamente o desempenho energético do edifício e o custo global deste. Os grupos formados estão também associados aos 8 sistemas técnicos definidos. De salientar que a solução de custo-ótimo (var.78 – constante na Tabela 15) tem integrado o sistema técnico S7 (Esquentador + A/C + PV) que conduz a uma EPNR de 39kWh/m².ano (redução de 94%) e tem um custo anual global de 517€/m² (redução de 54%).

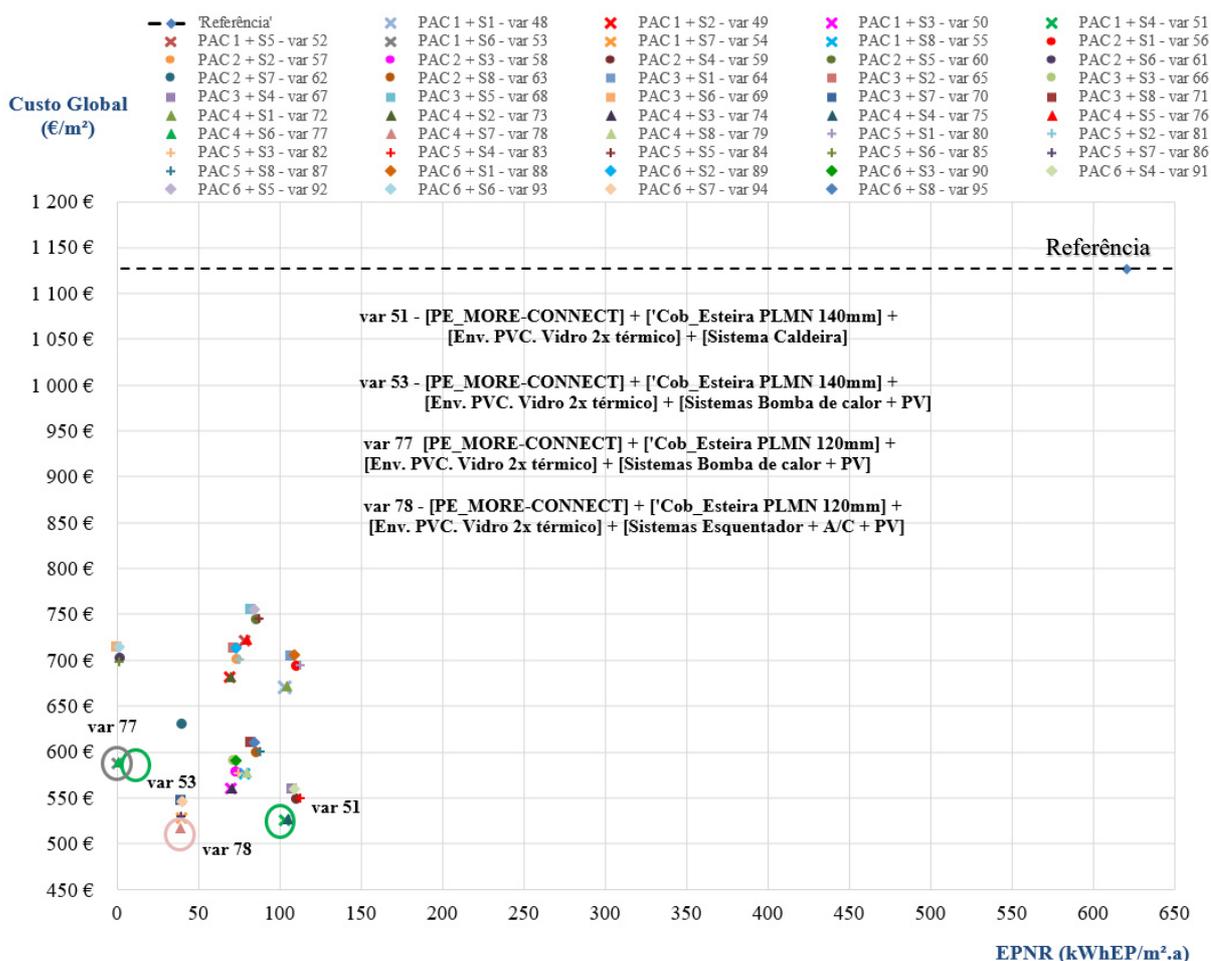


Figura 23 - Resultados da análise de custo-ótimo (pacotes reabilitação + sistemas técnicos) – Perspetiva privada

Visto que todos os pacotes de reabilitação apresentam rentabilidade positiva, na Figura 24 apresenta-se a pormenorização dos pacotes agrupados por sistema, com vista a perceber-se o impacto que estes têm no desempenho energético do edifício, bem como nos custos globais ao longo do período de utilização.

Numa primeira perspetiva do gráfico, na Figura 24 constata-se a existência dos 8 grupos de soluções associados aos sistemas técnicos. Da esquerda para a direita, conforme se apresenta na Figura 24, verifica-se que o primeiro grande grupo, que tem integrado o sistema S6 (HP + PV) com necessidades de EPNR muito próximas de zero, com custo global anual na ordem dos 580€/m². Posteriormente surge um segundo grupo com a integração do sistema S7 (Esquentador + A/C + PV) que inclui a solução de custo-ótimo (var.78 – constante na Tabela 15) que conduz a necessidades de EPNR de 39kWh/m².ano com custo anual global de 517€/m². Por fim, os restantes 6 grupos apresentam uma rentabilidade menos atrativa. No

entanto, destaca-se o grupo que contém integrado o S4 (Caldeira a gás) que conduz a um custo anual global de 525€/m² (redução de 43%) próximo do custo da solução de custo-ótimo, mas com necessidades de EPNR na ordem dos 100kWh/m².ano (redução de 83%); ou ainda o grupo que contém o sistema técnico S3 (Esq. + A/C) que conduz a um custo anual global de 559€/m² e necessidades de EPNR na ordem dos 70kWh/m².ano.

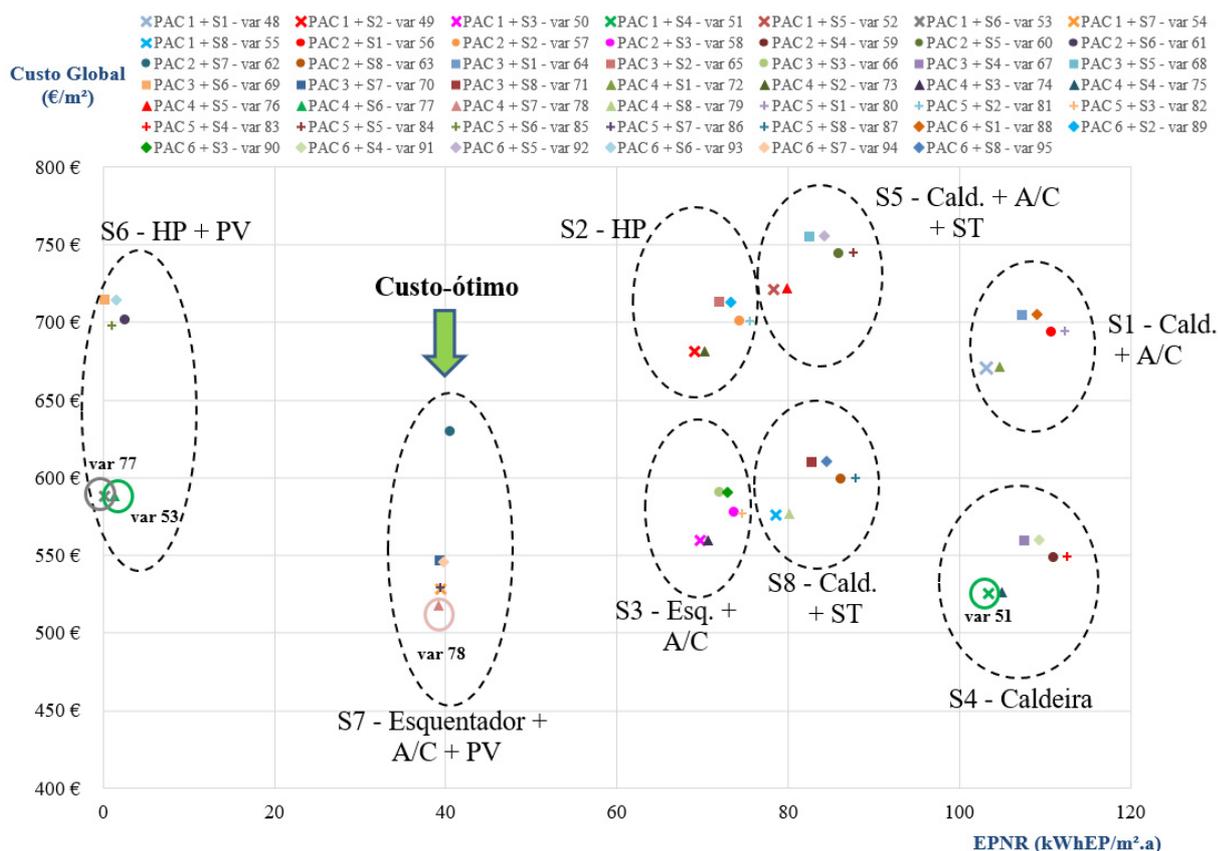


Figura 24 - Resultados da análise de custo-ótimo agrupados (pacotes reabilitação + sistemas técnicos) – Perspetiva privada

Pode-se constatar também o aparecimento de sinergias nesta análise de rentabilidade, visto que a solução de custo-ótimo (var.78 - constante na Tabela 15) dos pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos não é a mesma que a solução de custo-ótimo (var.42 – constante na Tabela 12) verificada nos pacotes de reabilitação constituídos apenas com medidas de melhoria para a envolvente. A diferença entre estes dois pacotes de reabilitação, para além dos sistemas técnicos, é verificada na espessura do isolamento aplicado sobre a laje de esteira na cobertura. Na análise dos pacotes de reabilitação (sem alteração dos sistemas) a solução de custo-ótimo contém a PLMN de 140mm de espessura e aquando da análise dos

pacotes de reabilitação com alteração dos sistemas e integração das fontes de energia renovável, a solução de custo-ótimo contém a PLMN de 120mm de espessura.

Após conclusão da análise de rentabilidade dos cenários de reabilitação, verifica-se que a solução de custo-ótimo (var.78 - constante na Tabela 15) conduz a uma redução de necessidades de energia primária não renovável (ENPR) de 94%, com 39kWh/m².ano e uma redução no custo global de 54%. Ainda existem soluções com redução de necessidades de ENPR de 100% (var.53 e var.77 - constante na Tabela 15) que contém o S6 (HP+PV), na esteira a PLMN de 140mm e representam um acréscimo de 70€/m² relativamente à solução custo-ótimo com um custo anual global de 588€/m² (redução de 48%), que poderão indicar o caminho para os edifícios que obedeçam ao conceito ZEB.

5.3 Conclusão

A constituição dos pacotes de reabilitação permitiu uma análise mais prática, ao associar numa fase posterior, os sistemas técnicos e integrar as fontes de energia renovável. O estudo dos pacotes de reabilitação para a envolvente, evidencia a possibilidade de intervenções de carácter rentável em edifícios com muito fraco desempenho energético, nomeadamente utilizando tecnologia corrente e disponível no mercado, conduzindo a reduções muito significativas em termos de energia primária. No entanto, de uma forma geral, para além das indicações específicas para a reabilitação neste edifício em particular, a análise permite também iniciar a sugestão de direções a tomar neste tipo de edifícios.

O estudo permitiu entender que é possível uma redução de energia primária não renovável de 70% e no custo global anual uma redução de 43%, apenas com melhorias aplicadas na envolvente, conjugadas em pacotes de reabilitação. A solução de custo-ótimo é constituída pelo painel modular pré-fabricado More-Connect nas paredes exteriores, pela PLMN de 140mm na cobertura e pelo vão envidraçado PVC com vidro duplo térmico que conduz a um custo global anual de 638€/m² e uma ENPR de 183kWh/m².ano.

Quando no estudo se associa sistemas técnicos sem produção de energia renovável, conduz a uma redução de necessidades de ENPR de 83% e uma redução de 43% no custo global anual, com o pacote de reabilitação constituído pelo painel modular pré-fabricado, isolamento na laje

de esteira, envidraçados duplos, conjugado com uma caldeira a gás natural para aquecimento e preparação de AQS. Esta redução de EPNR vai ao encontro dos valores obtidos em outros estudos de edifícios nacionais, que contemplam pacotes de reabilitação para intervenção na envolvente associando sistemas técnicos sem recurso a fontes de energia renovável. Neste seguimento, é de referir os resultados das investigações, nomeadamente: - Almeida et. al [2] onde se obteve uma redução de 80%; - Brandão de Vasconcelos et al. [30] obteve 50% de redução, mas apenas com a inclusão de ar condicionado para climatização, mantendo o sistema de AQS; - e ainda Mestre et. al [25] obteve redução de 73% de necessidades de EPNR. Em dois estudos mais específicos, de habitação social, nomeadamente de Ferreira et. al [31], [32], obtiveram na solução de custo-ótimo reduções de EPNR de 81% no caso do bairro social Rainha Dona Leonor, e de 75% no caso da urbanização de Vila D' Este.

Os resultados alcançados e comparados são justificados por condições particulares do caso de estudo, nomeadamente este ser centrado apenas numa fração autónoma desenvolvida apenas num piso, estar localizada junto à cobertura e conter fachada de empena exposta a norte. O desempenho energético do edifício existente, antes da proposta de reabilitação, é fraco com necessidades energéticas elevadas, o que potencia este grande intervalo de reduções.

No entanto, quando introduzidas opções de sistemas de climatização com eficiências diferenciadas e fontes de produção de energia renovável, a redução de necessidades de energia primária não renovável (EPNR) pode atingir os 100% ainda dentro do limite da rentabilidade positiva. A chamada solução de custo-ótimo, - aquela que diz respeito à solução que conduz à melhor relação custo/desempenho energético (54% no custo global e 94% de redução de energia primária) - no caso deste edifício específico – é uma solução integrada que inclui o painel modular pré-fabricado, colocação de isolamento na laje de esteira e substituição de envidraçados, em conjugação com um esquentador a gás (para aquecimento de águas), ar condicionado (A/C) e produção de energia através de painéis fotovoltaicos. Nesta solução de custo-ótimo verifica-se o efeito de sinergia, nomeadamente através da redução da espessura do isolamento na cobertura (PLMN 120mm).

A solução que conduz à redução de necessidades energéticas de 100%, é constituída pelas mesmas medidas de melhoria da envolvente da solução de custo-ótimo, dos pacotes de reabilitação (com alteração dos sistemas técnicos), mas contém o sistema S6 (HP+PV),

representando um acréscimo de 70€/m² relativamente ao custo da solução de custo-ótimo, tendo no entanto, uma redução de 48% relativamente à reabilitação de referência.

Os resultados da rentabilidade obtidos são positivos. Quando incluídas fontes de energia renovável, as melhorias conduzem a reduções de necessidades de EPNR de 100%. Isto deve-se essencialmente ao pacote de reabilitação com necessidades nulas de energia primária, ter incorporada uma bomba de calor (HP) para a climatização e AQS, que atualmente é uma tecnologia bastante eficiente, mas com custos de investimento elevados quando comparados com outras tecnologias. No entanto, a solução de custo-ótimo conduz também a reduções significativas (94%). Consta-se ainda que a distância entre estes dois pacotes – necessidades nulas e custo ótimo, é de 6% na energia primária e de 2% no custo global.

Em resumo, apresenta-se a Figura 25 onde é possível comparar os diferentes níveis de patamares de reabilitação, através das energias primárias não renováveis e respetivos custos anuais globais associados.

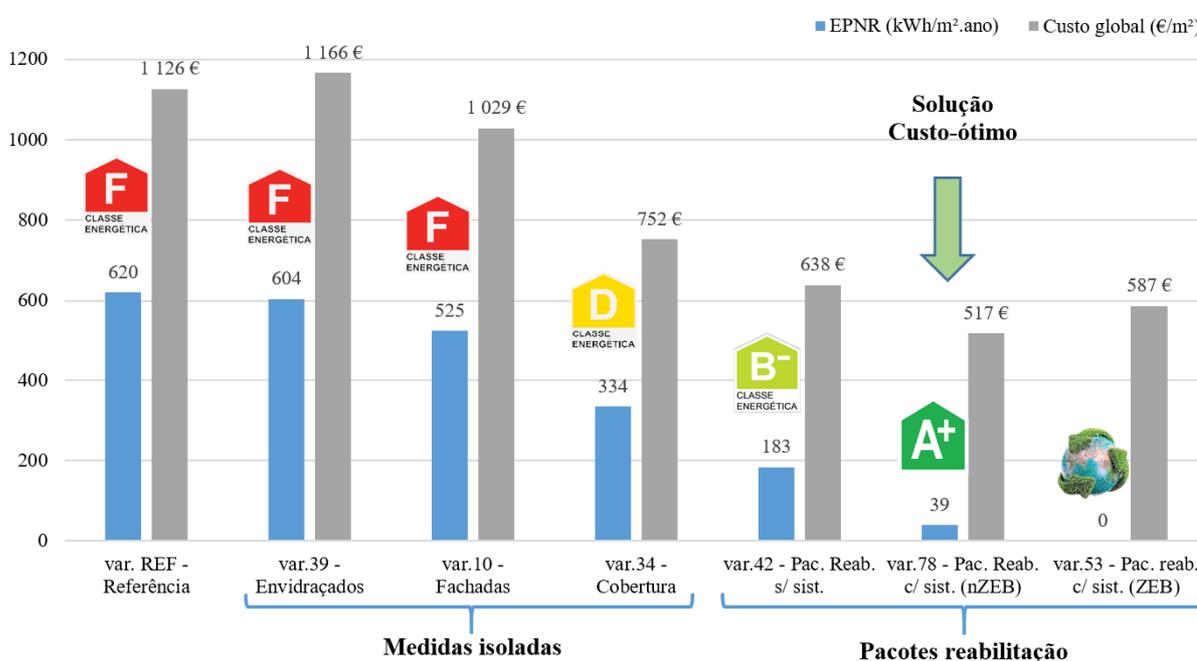


Figura 25 - Níveis de patamares de reabilitação (perspetiva privada)

Por patamares de reabilitação entende-se o caminho percorrido durante a investigação para encontrar as soluções de custo-ótimo, desde, - a variável referência que é o edifício no estado em que se encontra, sem melhoramento no desempenho energético, – variáveis das medidas

de melhoria isoladas para a envolvente (envidraçados, fachadas e cobertura) que representam a solução custo-ótimo de cada medida isoladamente, – variável pacote de reabilitação sem alteração dos sistemas técnicos referente à solução de custo-ótimo, - pacotes de reabilitação associados aos sistemas técnicos incluindo as fontes de energia renovável (nZEB e ZEB). A reabilitação nZEB constitui solução de custo-ótimo, já a reabilitação ZEB não constitui solução de custo-ótimo.

Através desta comparação conclui-se que a intervenção global do edifício demonstra ser mais atrativa, ao nível da rentabilidade económica durante a vida útil do edifício, do que a intervenção isolada num elemento construtivo.

Esta abordagem demonstra resultados que poderão indicar o caminho a seguir na reabilitação energéticas dos edifícios com o objetivo de atingir os conceitos nZEB e até ZEB, bem como contribuir para mitigar o problema da pobreza energética, associada a contextos de bairros sociais.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

A rentabilidade de soluções de renovação aplicadas a um edifício de habitação social em Braga foi avaliada neste estudo, com recurso a uma metodologia de determinação de soluções de custo-ótimo. Como resultado do estudo, foi possível identificar as soluções de custo-ótimo e de rentabilidade positiva para a renovação do edifício utilizado como caso de estudo.

A caracterização do edifício e a avaliação do desempenho energético foram determinantes para o conhecimento mais aprofundado da envolvente, de forma a propor as melhores medidas de melhoria que constituem os pacotes de reabilitação. A estes pacotes, posteriormente foram associados sistemas técnicos e integradas fontes de energia renovável, que foram determinantes para elevar o desempenho energético do edifício. Diferentes desempenhos foram alcançados através da consideração de diferentes soluções de reabilitação que conduziram a reduções de EPNR diferenciadas, nomeadamente com pacotes de reabilitação sem alteração dos sistemas técnicos e com pacotes associados aos sistemas técnicos e fontes de energia renovável. As propostas de reabilitação alcançaram níveis de redução de EPNR de 70%, 94% e 100%, respetivamente.

6.1 Conclusões

Numa análise isolada das medidas de melhoria aplicadas na envolvente, verificou-se, que a solução que apresenta a rentabilidade ótima para os vãos envidraçados é a caixilharia PVC com vidro duplo térmico e proteção solar. No caso das paredes exteriores verificou-se que a solução de custo-ótimo é o painel pré-fabricado More-Connect e para a cobertura é o isolamento de placa de lã mineral (PLMN) com espessura de 140mm. Destas medidas, a que conduz à redução mais significativa em termos de energia primária é o isolamento na cobertura que pode chegar aos 46% de redução.

Verifica-se ainda que as medidas associadas em pacotes de reabilitação, aplicados neste caso de estudo, sem a produção de energia renovável e sem alteração dos sistemas técnicos, num

período de 30 anos, conduz a uma diminuição de 70% da EPNR e 43% do custo global anual, respetivamente de 621kWh/m².ano para 183kWh/m².ano e de 1126€/m² para 638€/m², quando comparados com a reabilitação de referência. Os gases com efeito de estufa lançados para a atmosfera acompanham a redução da EPNR, na ordem dos 70%.

Também foram analisadas e obtidas rentabilidades bastante promissoras, para os cenários de reabilitação constituídos pelos pacotes de reabilitação com a integração dos sistemas técnicos e fontes de energia renovável, nomeadamente coletores solares térmicos para a produção de AQS e painéis fotovoltaicos para a produção de eletricidade. O cenário que se apresenta como ótimo (redução de 54% no custo global e 94% de EPNR) é o constituído pelo painel pré-fabricado More-Connect para as paredes, por PLMN com espessura de 120mm para a laje de esteira e a substituição de envidraçados em PVC com vidro duplo térmico e proteção solar, em conjugação com um esquentador a gás (para aquecimento de águas), ar condicionado (climatização) e produção de energia através de painéis fotovoltaicos. Ainda se verificou também o efeito de sinergia com a diminuição da espessura do isolamento da cobertura.

Nesta mesma análise também surgiram soluções rentáveis com redução de 100% de EPNR, que contém o sistema S6 (HP+PV), que conduziu a uma redução de 48% do custo anual global relativamente à reabilitação de referência, mas não constitui solução de custo-ótimo.

De uma forma mais abrangente a reabilitação nZEB, ou até mesmo a ZEB, pode ter um papel preponderante na reabilitação da habitação social como instrumento para a redução e combate à pobreza energética e pode proporcionar uma poupança energética significativa para os utilizadores, com condições interiores mais confortáveis e saudáveis e resiliência adicional, relativamente a eventuais subidas dos custos de energia através de um nível de autossuficiência em termos de produção de energia renovável.

6.2 Trabalhos Futuros

A continuação ou aprofundamento desta investigação é sempre bem-vinda, pois aumenta a qualidade e o leque de soluções de custo-ótimo, no âmbito da mesma. O aumento na análise de variáveis que levará a maior precisão no nível ótimo do desempenho alcançado é vantajoso, nomeadamente a combinação de outros tipos de isolamentos e espessuras dos

isolamentos propostos (processo iterativo), outras técnicas construtivas, outros sistemas técnicos e ainda outras fontes de energia renovável.

Num estudo mais abrangente, seria também interessante replicar a investigação para mais frações habitacionais em conjunto, ao nível da análise de rentabilidade económica.

Outra contribuição importante seria a atualização dos preços das soluções construtivas aplicadas, principalmente dos sistemas técnicos e fontes de energia renovável, das necessidades energéticas, dos impostos aplicáveis e das taxas de juros (desconto).

Esta metodologia pode ser aplicada a diferentes tipos de edifícios, outras épocas construtivas e outras localizações geográficas, com zonas climáticas diferentes.

Espera-se que tenha contribuído para a implementação futura de uma ferramenta informática dirigida aos decisores com capacidade técnica. Nesta ferramenta fornecia-se apenas os parâmetros característicos do edifício em estudo, gerando a melhor medida ou pacote de melhorias a serem aplicados na reabilitação energética ao nível da rentabilidade económica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Comissão Europeia, «Energia - Uma energia sustentável, segura e a preços acessíveis para os europeus», *Compreender As Políticas Da União Europeia*. Serviço das Publicações da União Europeia, Bruxelas, pp. 97-112, 2015.
- [2] M. Almeida, M. Ferreira, e A. Rodrigues, «Reabilitação Energética do Parque Património Construído - Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo», *Rev. «Materiais Construção»*, n. January, 2013.
- [3] INE e LNEC, *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação - Análise e Evolução 2001-2011*. Lisboa: INE, I.P., 2013.
- [4] União Europeia, *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro 2002 - Desempenho Energético dos Edifícios*. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia, 2002.
- [5] União Europeia, *Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 - Desempenho Energético dos Edifícios (reformulação)*. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia, 2010.
- [6] União Europeia, *Directiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de Maio de 2018 - Desempenho Energético dos Edifício (alteração)*. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia, 2018.
- [7] J. P. Gouveia, J. Seixas, e G. Long, «Mining households' energy data to disclose fuel poverty: Lessons for Southern Europe», *J. Clean. Prod.*, vol. 178, pp. 534-550, 2018.
- [8] Agência Portuguesa do Ambiente, «Conferência da ONU sobre Ambiente e Desenvolvimento», 2019. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=494>. [Acedido: 04-Jan-2019].
- [9] Nações Unidas, «Declaração do Rio Sobre Ambiente e Desenvolvimento», Rio de Janeiro, 1992.
- [10] Nações Unidas, «Relatório Brundtland - Our Common Future». p. 318, 1987.

- [11] Nações Unidas, «Kyoto Protocol Reference Manual», *United Nations Framew. Conv. Clim. Chang.*, pp. 1-130, 2008.
- [12] Nações Unidas, «Convention on Climate Change: Climate Agreement of Paris.», pp. 1-27, 2015.
- [13] Agência Portuguesa do Ambiente, «Roteiro Europeu Baixo Carbono 2050», 2019. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=508>. [Acedido: 04-Jan-2019].
- [14] Comissão Europeia, «Ação climática: Construir um mundo que nos Agrada com um Clima de que Gostamos». Serviço das Publicações da União Europeia, Bruxelas, p. 10, 2014.
- [15] Comissão Europeia, «Ação climática da UE», 2019. Disponível em: https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_pt. [Acedido: 04-Jan-2019].
- [16] ADENE, LNEC, INETI, e IPQ, *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*, DGGE / IP-. Lisboa, 2004.
- [17] M. Almeida, M. Ferreira, e A. Rodrigues, *Definição de nZEB em Portugal - Contributo com base em análises de custo de ciclo de vida*, Manuela Al. Guimarães: Seminário Reabilitação Energética de Edifícios Livro de Atas, 2012.
- [18] União Europeia, «Statistics on Income and Living Conditions», *Eurostat*, 2015. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Main_Page. [Acedido: 20-Dez-2018].
- [19] A. F. Apolinário Henriques, «Relação entre o indicador de pobreza energética e as temperaturas do ar medidas no interior de habitações na região da Grande Lisboa na estação de inverno», *Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente*. Universidade de Lisboa, 2018.
- [20] A. B. & M. F. Kontonasiou. E, «Tackling fuel poverty with building renovation. ECEEE Summer Study Proceedings 2015 - First Fuel Now», pp. 1281-1292.
- [21] Comissão Europeia, «EU Energy Poverty Observatory», 2019. Disponível em: <https://www.energypoverty.eu/>. [Acedido: 05-Jan-2019].
- [22] S. G. Simoes, V. Gregório, e J. Seixas, «Mapping Fuel Poverty in Portugal», *Energy Procedia*, vol. 106, pp. 155-165, Dez. 2016.

- [23] Instituto Nacional de Estatística, «Inquérito à Caracterização da Habitação Social relativo a 2015», 2015. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=250034590&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt. [Acedido: 06-Jan-2019].
- [24] S. Tavares da Silva, *Direito da Eficiência Energética*, Imprensa d. Universidade de Coimbra, 2017.
- [25] A. Mestre, M. Iten, e M. Almeida, *SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE FACHADAS COMO CONTRIBUTO PARA ASSEGURAR OS nZEB - UM CASO DE ESTUDO EM PORTUGAL*. Seminário de Reabilitação de Fachadas, 2016, pp. 103-117.
- [26] República Portuguesa, *Decreto-Lei n.º40/90 de 6 Fevereiro - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Lisboa: Diário da República, I Série - N.º31, 1990, pp. 490-504.
- [27] República Portuguesa, *Decreto-Lei n.º80/2009 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Reformulação RCCTE)*. Lisboa: Diário da República, I Série A - N.º67, 2006, pp. 2468-2513.
- [28] União Europeia, *Regulamento Delegado n.º244/2012 da Comissão Europeia, de 16 de janeiro de 2012 - Quadro Metodológico Comparativo para o Cálculo dos Níveis Ótimos de Rentabilidade*. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia - L 81/18, 2012, pp. 18-36.
- [29] República Portuguesa, *Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de agosto - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - N.º159, 2013, pp. 4988-5005.
- [30] A. C. M. A. Brandão de Vasconcelos, M. Duarte Pinheiro, A. Cabaço, «Energy Cost-Efficient Rehabilitation Measures for the Portuguese Residential Buildings Constructed in the 1960-1990 Period», *Energy Build.*, vol. 37, n. 5, pp. 429-442, 2016.
- [31] M. Ferreira, «Custo Ótimo De Ciclo De Vida Na Requalificação Urbana Da Urbanização De Vila D ' Este». CONPAT 2015 - XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, Lisboa, pp. 1-8, 2015.
- [32] M. Ferreira, M. Almeida, e A. Rodrigues, «Cost optimality and net-zero energy in the renovation of Portuguese residential building stock - Rainha Dona Leonor neighbourhood case study», *Int. J. Sustain. Build. Technol. Urban Dev.*, vol. 5, n. 4, pp.

306-317, 2014.

- [33] S. Paiho, H. Hoang, Å. Hedman, R. Abdurafikov, M. Sepponen, e M. Meinander, «Energy and emission analyses of renovation scenarios of a Moscow residential district», *Energy Build.*, vol. 76, pp. 402-413, 2014.
- [34] S. Ferrari e M. Beccali, «Energy-environmental and cost assessment of a set of strategies for retrofitting a public building toward nearly zero-energy building target», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 32, pp. 226-234, 2017.
- [35] P. M. Congedo, C. Baglivo, D. D'Agostino, e I. Zacà, «Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates», *Energy*, vol. 91, n. 244, pp. 967-982, 2015.
- [36] M. Almeida, M. Ferreira, e R. Barbosa, «Relevance of Embodied Energy and Carbon Emissions on Assessing Cost Effectiveness in Building Renovation - Contribution from the Analysis of Case Studies in Six European Countries», *Buildings*, vol. 8, n. 8, p. 103, 2018.
- [37] ITeCons, «Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e de Desempenho de Edifícios, de acordo com o REH (Decreto Lei nº118/2013 de 20 de Agosto)», *Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade*, 2017. Disponível em: <http://www.itecons.uc.pt>.
- [38] A. Pinto, «Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS». LNEC, Lisboa, 2014.
- [39] República Portuguesa, *Despacho (extrato) n.º15793-D/2013, 3 dezembro de 2013 - Fatores de conversão entre energia final e energia primária*. Lisboa: Diário da República, 2.ª série - N.º 234, 2013, p. 35088.
- [40] República Portuguesa, *Despacho (extrato) n.º15793-F, 3 de dezembro de 2013 - Zonas Climáticas*. Lisboa: Diário da República, 2.ª série - N.º 234, 2013, pp. 26-31.
- [41] República Portuguesa, *Portaria n.º379-A/2015 de 22 de outubro de 2015 - Coeficientes de Transmissão Térmica Superficiais Máximos Admissíveis*. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - N.º 207, 2015, p. 9196.
- [42] República Portuguesa, *Despacho (extrato) n.º15793-K/2013 de 3 de dezembro 2013 - Parâmetros para o cálculo dos coeficientes térmicos*. Lisboa: Diário da República, 2.ª

- série - N.º234, 2013, pp. 58-87.
- [43] República Portuguesa, *Portaria n.º349-B de 29 de novembro de 2013 - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções*. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - N.º 232, 2013, pp. 18-29.
- [44] C. Santos e L. Matias, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios ITE 50*, LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2006.
- [45] República Portuguesa, *Despacho (extrato) n.º15793-I 3 de dezembro de 2013 - Metodologia de cálculo para a determinar as necessidades energéticas nominais de energia útil e primária*. Lisboa: Diário da República, 2.ª série - N.º 234, 2013, pp. 41-54.
- [46] Direção-Geral de Energia e Geologia, «cálculo regulamentar relativo ao aproveitamento de energias renováveis (SCE.ER)». Ver 1.5.7, 2018.
- [47] União Europeia, «PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)», *Last update: 21/09/2017*, 2017. Disponível em: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>.
- [48] M. Almeida e M. Ferreira, «Cost effective energy and carbon emissions optimization in building renovation ({Annex} 56)», *Energy Build.*, vol. 152, n. Supplement C, pp. 718-738, 2017.
- [49] S. A. © CYPE Ingenieros, «Gerador de Preços. Portugal», 2018. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info/access.html>.
- [50] P. Capros, L. Mantzos, N. Tasios, A. De Vita, e N. Kouvaritakis, *EU energy trends to 2030 - UPDATE 2009*. 2010.
- [51] Comissão Europeia, *Energy Roadmap 2050*, n. April. Luxembourg: ISBN 978-92-79-21798-2, doi:10.2833/10759 ©, 2012, pp. 1-24.
- [52] OECD e IEA, *World Energy Outlook 2012*. Paris: International Energy Agency, ISBN: 978 92 64 12413 4, 2012, p. 577.
- [53] Google, «Google Maps», 2019. Disponível em: <https://www.google.pt/maps/>. [Acedido: 04-Jan-2019].
- [54] P. Castro, M. Almeida e Sandra Silva «Caracterização e Otimização do Desempenho

dos Módulos de Reabilitação Energética da Fachada do Edifício Eng. Mota Pinto em Gaia». Dissertação de Mestrado Mestrado Integrado em Engenharia Civi, Universidade do Minho, 2016.

- [55] P. O. t. Veld, «MORE-CONNECT: Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for modular retrofitting and smart connections», *Energy Procedia*, 2015.
- [56] European Standard, «Energy Efficiency for Buildings - Standard Economic Evaluation Procedure for Energy Systems in Buildings prEN 15459:2006 TC 228 WI 016», 2006.

RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO

A investigação desenvolvida nesta dissertação deu origem às seguintes publicações:

Almeida, M., Barbosa, R., e Pinheiro, N., “*Análise de Custo - Ótimo de Medidas para a Melhoria de Desempenho Energético num Edifício de Habitação Social em Braga, Portugal*”, in Atas do VI Congresso de Engenharia Civil, Juiz de Fora, Brasil, Maio 2019.

Almeida, M., Barbosa, R., e Pinheiro, N., “*O papel da reabilitação nZEB no combate à pobreza energética*”, in Edifícios e Energia, n.º121 Jan/Fev 2019, Media Line.

ANEXOS

ANEXO I - Resumo do levantamento dimensional da habitação

ANEXO II - Características térmicas e energéticas das medidas de melhoria

ANEXO III - Orçamento das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação

ANEXO IV - Custos globais das medidas de melhoria

ANEXO V - Características dos sistemas técnicos definidos

ANEXO VI - Necessidades energéticas das medidas de melhoria

ANEXO I - Resumo do levantamento dimensional da habitação (interior)

Compartimento	Área compartimento (m ²)	Área envidraçada (m ²)	Orientação do envidraçado	Pé Direito (m)	% Área compartimento	Volume (m ³)
Cozinha	8,68	2,07	Oeste	2,50	13,8	21,70
Sala	15,01	1,33	Oeste	2,50	23,9	37,53
		0,76	Norte			
Hall entrada	3,92			2,50	6,3	9,81
Corredor	1,71			2,50	2,7	4,27
W.C.	3,73	0,48	Este	2,50	5,9	9,33
Quarto 1	10,80	0,95	Este	2,50	17,2	26,99
Quarto 2	9,98	0,95	Este	2,50	15,9	24,96
Quarto 3	8,88	0,95	Oeste	2,50	14,2	22,20
TOTAL	62,71	7,49		2,50	100,00	156,78

Resumo do levantamento dimensional da habitação (envolvente exterior)

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m ²)	Área a deduzir (Vãos, PTP) (m ²)	Cor	U Solução (W/m ² .°C)	Área Efectiva (m ²)
PDE1	Oeste		21,25	5,31	Clara	0,69	15,94
PDE1	Este		21,25	3,38	Clara	0,69	17,87
PDE2	Norte		3,75	1,08	Clara	1,43	2,67
PDE2	Sul		3,75		Clara	1,43	3,75
PDE2	Norte		22,76		Clara	1,43	22,76
PTPPDE1	Oeste	PDE1	0,96		Clara	3,79	0,96
PTPPDE1	Norte	PDE2	0,38		Clara	3,79	0,38
PTPPDE1	Este	PDE1	1,00		Clara	3,79	1,00

Resumo do levantamento dimensional da habitação (vãos exteriores envidraçados)

Compartimento	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada (m ²)	Permeabilidade da Caixa de Estore	<i>gT</i> corrigido	Área do compartimento que serve (m ²)	Área de envidraçados do compartimento que serve (m ²)	Aenv < 5% Apav
Cozinha	VE2	Oeste	2,07	Perm. Alta	0,38	8,68	2,07	Não
Sala	VE1	Oeste	1,33	Perm. Alta	0,03	15,01	1,33	Não
Sala	VE1	Norte	0,76	Perm. Alta	0,04	15,01	1,33	Não
Quarto 1	VE1	Oeste	0,95	Perm. Alta	0,03	10,80	0,95	Não
Quarto 2	VE1	Este	0,95	Perm. Alta	0,03	9,98	0,95	Não
W.C.	VE1	Este	0,48	Perm. Alta	0,03	3,73	0,48	Não
Quarto 3	VE1	Este	0,95	Perm. Alta	0,03	8,88	0,95	Não

ANEXO II - Características térmicas e energéticas das medidas de melhoria

CBII - Cobertura inclinada com desvão (ENU) - Laje de esteira	Espessura [m]	U [W/(m².°C)]	N_{tc} [kWh/m².ano]	N_{vc} [kWh/m².ano]	N_{ac} [kWh/m².ano]	N_{ic} [kWh/m².ano]	Classe energética
Isolamento térmico, poliestireno expandido (EPS - $\lambda=0.033$)	0,06	0,48	120,07	1,79	37,90	355,89	D
Isolamento térmico, poliestireno expandido (EPS - $\lambda=0.033$)	0,09	0,33	114,82	1,54	37,90	342,77	D
Isolamento térmico, poliestireno expandido (EPS - $\lambda=0.033$)	0,12	0,26	112,37	1,40	37,90	336,65	D
Isolamento térmico, feltro isolante de lã mineral - $\lambda=0.042$	0,10	0,38	116,57	1,61	37,90	347,14	D
Isolamento térmico, feltro isolante de lã mineral - $\lambda=0.042$	0,12	0,32	114,47	1,52	37,90	341,89	D
Isolamento térmico, feltro isolante de lã mineral - $\lambda=0.042$	0,14	0,28	113,07	1,44	37,90	338,40	D
Poliuretano projetado - $\lambda=0.028$	0,06	0,41	117,62	1,67	37,90	349,76	D
Poliuretano projetado - $\lambda=0.028$	0,08	0,32	114,47	1,49	37,90	341,89	D
Poliuretano projetado - $\lambda=0.028$	0,10	0,26	112,37	1,40	37,90	336,65	D
Parede exteriores (isolamento pelo interior)	Espessura [m]	U [W/(m².°C)]	N_{tc} [kWh/m².ano]	N_{vc} [kWh/m².ano]	N_{ac} [kWh/m².ano]	N_{ic} [kWh/m².ano]	Classe energética
Isolamento térmico pelo interior (EPS - $\lambda=0.031$) com gesso cartonado	0,06	0,46	200,74	4,92	37,90	557,57	F
Isolamento térmico pelo interior (EPS - $\lambda=0.031$) com gesso cartonado	0,09	0,32	195,38	4,96	37,90	544,18	F
Isolamento térmico pelo interior (EPS - $\lambda=0.031$) com gesso cartonado	0,12	0,24	192,32	4,98	37,90	536,52	F
Isolamento térmico pelo interior, painel de lã mineral natural ($\lambda=0.032$) com gesso cartonado	0,06	0,48	201,5	4,91	37,90	559,48	F
Isolamento térmico pelo interior, painel de lã mineral natural ($\lambda=0.032$) com gesso cartonado	0,09	0,33	195,77	4,95	37,90	545,13	F
Isolamento térmico pelo interior, painel de lã mineral natural ($\lambda=0.032$) com gesso cartonado	0,12	0,25	192,7	4,98	37,90	537,48	F
Isolamento térmico, painel rígido de aglomerado de cortiça natural expandida ($\lambda=0.036$) com gesso	0,06	0,53	203,42	4,90	37,90	564,26	F
Isolamento térmico, painel rígido de aglomerado de cortiça natural expandida ($\lambda=0.036$) com gesso	0,09	0,37	197,3	4,94	37,90	548,96	F
Isolamento térmico, painel rígido de aglomerado de cortiça natural expandida ($\lambda=0.036$) com gesso	0,12	0,28	193,85	4,97	37,90	540,35	F

Características térmicas e energéticas das medidas de melhoria (conclusão)

Parâmetros	Espessura [m]	U1 [W/(m ² .°C)]	U2 [W/(m ² .°C)]	U PTP [W/(m ² .°C)]	Nic [kWh/m ² .ano]	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nac [kWh/m ² .ano]	Nec [kWh/m ² .ano]	Classe energética
ETICS, isolamento térmico (EPS - λ=0.038)	0.04	0.40	0.57	0.77	201,86	4,86	37,90	560,36	F
ETICS, isolamento térmico (EPS - λ=0.038)	0.08	0.28	0.36	0.42	195,41	4,93	37,90	544,25	F
ETICS, isolamento térmico (EPS - λ=0.038)	0.12	0.22	0.26	0.29	192,34	4,97	37,90	536,56	F
Isolamento térmico, ETICS painel lã de rocha vulcânica - λ=0.038	0.04	0.40	0.57	0.77	201,86	4,86	37,90	560,36	F
Isolamento térmico, ETICS painel lã de rocha vulcânica - λ=0.038	0.08	0.28	0.36	0.42	195,41	4,93	37,90	544,25	F
Isolamento térmico, ETICS painel lã de rocha vulcânica - λ=0.038	0.12	0.22	0.26	0.29	192,34	4,97	37,90	536,56	F
ETICS, painel rígido aglomerado cortiça natural expandida - λ=0.040	0.04	0.41	0.59	0.80	202,44	4,86	37,90	561,81	F
ETICS, painel rígido aglomerado cortiça natural expandida - λ=0.040	0.08	0.29	0.37	0.44	195,81	4,93	37,90	545,24	F
ETICS, painel rígido aglomerado cortiça natural expandida - λ=0.040	0.12	0.22	0.27	0.31	192,53	4,96	37,90	537,06	F
Painel MORE-CONNECT de 120mm + 100 Lã mineral (λ=0.035)	220,00	0.13	0.14	0.15	188,31	5,01	37,90	526,50	F
Fachada ventilada, isolamento térmico, (EPS - λ=0.031)	0.04	0.37	0.50	0.65	199,90	4,89	37,90	555,47	F
Fachada ventilada, isolamento térmico, (EPS - λ=0.031)	0.08	0.25	0.30	0.35	193,70	4,96	37,90	539,96	F
Fachada ventilada, isolamento térmico, (EPS - λ=0.031)	0.12	0.19	0.22	0.24	190,99	4,98	37,90	533,19	F
Fachada ventilada, painel de lã mineral revestido com véu preto - λ=0.035	0.04	0.39	0.54	0.72	201,08	4,87	37,90	558,41	F
Fachada ventilada, painel de lã mineral revestido com véu preto - λ=0.035	0.08	0.27	0.33	0.39	194,66	4,94	37,90	542,37	F
Fachada ventilada, painel de lã mineral revestido com véu preto - λ=0.035	0.12	0.21	0.24	0.27	191,77	4,98	37,90	535,14	F
Fachada ventilada, painel rígido aglomerado cortiça natural expandida - λ=0.036	0.04	0.39	0.55	0.73	201,26	4,87	37,90	558,87	F
Fachada ventilada, painel rígido aglomerado cortiça natural expandida - λ=0.036	0.08	0.27	0.34	0.40	194,84	4,94	37,90	542,83	F
Fachada ventilada, painel rígido aglomerado cortiça natural expandida - λ=0.036	0.12	0.21	0.25	0.28	191,95	4,97	37,90	535,6	F

ANEXO III - Orçamento das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação

Descrição da solução construtiva	Unidade de Medida	A (m2)	Preços/m2	Man/m2	BASE (Referência)	Man	VAR 01 Man+PE ETICS EPS 40mm	Man
Obras de reabilitação de um apartamento		62,71						
Envolvente Opaca					4 200,00 €	103,83 €	7 151,41 €	28,29 €
Envolvente Envidraçada					390,67 €	22,39 €	390,67 €	22,39 €
aquecimento / arrefecimento					2 937,91 €	133,68 €	2 937,91 €	133,68 €
acessórios (radiadores)								
AQS					280,00 €	25,60 €	280,00 €	25,60 €
Renováveis								
TOTAL						285,50 €		209,96 €
Parede exteriores								
Reparação de fissuras e outros nas fachadas (€/m2 área de fachada)	m²	65,34	16,36 €	0,00 €	1 068,96 €	0,00 €		
Limpeza mecânica da fachada com jato de areia (€/m2 área de fachada)	m²	65,34	4,36 €	0,00 €	284,88 €	0,00 €		
Pintura de paredes exteriores com tinta de silicone (€/m2 área de fachada)	m²	65,34	8,98 €	1,59 €	586,75 €	103,83 €		
Aluguer de andaimes	dias	8	115,83 €	0,00 €	926,64 €	0,00 €	926,64 €	0,00 €
Transporte, montagem e desmontagem de andaimes	un	1	716,05	0,00 €	716,05 €	0,00 €	716,05 €	0,00 €
Reparar fachadas para ETICS /Fachada ventilada/MORE-CONNECT €/m2 área de fachada	m²	65,34	19,37 €	0,00 €			1 265,64 €	0,00 €
ETICS EPS 40mm (λ=0.033) ; U1 = 0.40, U2=0.57 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	55,50 €	0,43 €			3 626,37 €	28,29 €
ETICS EPS 80mm (λ=0.033) ; U1 = 0.28, U2=0.36 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	65,14 €	0,51 €				
ETICS EPS 120mm (λ=0.033) ; U1 = 0.22, U2=0.26 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	76,04 €	0,59 €				
ETICS PLRV 40mm (λ=0.033) ; U1 = 0.40, U2=0.57 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	65,58 €	0,51 €				
ETICS PLRV 80mm (λ=0.033) ; U1 = 0.28, U2=0.36 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	85,47 €	0,67 €				
ETICS PLRV 120mm (λ=0.033) ; U1 = 0.22, U2=0.26 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	106,17 €	0,83 €				
ETICS cortiça 40mm (λ=0.033) ; U1 = 0.41, U2=0.59 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	76,28 €	0,60 €				
ETICS Cortiça 80mm (λ=0.033) ; U1 = 0.29, U2=0.37 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	103,74 €	0,81 €				
ETICS Cortiça 120mm (λ=0.033) ; U1 = 0.22, U2=0.26 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	134,21 €	1,05 €				
Panel MORE-CONNECT 120mm (λ=0.018) ; U1 = 0.12, U2=0.14 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	52,00 €	0,78 €				
F. vent., EPS 40mm (λ=0.031) ; U1 = 0.37, U2=0.50 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	99,07 €	0,90 €				
F. vent., EPS 80mm (λ=0.031) ; U1 = 0.25, U2=0.30 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	102,42 €	0,91 €				
F. vent., EPS 120mm (λ=0.031) ; U1 = 0.19, U2=0.22 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	105,78 €	0,91 €				
F. vent., PLMVP 40mm (λ=0.035) ; U1 = 0.39, U2=0.54 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	101,49 €	0,91 €				
F. vent., PLMVP 80mm (λ=0.035) ; U1 = 0.27, U2=0.33 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	105,15 €	0,92 €				
F. vent., PLMVP 120mm (λ=0.035) ; U1 = 0.21, U2=0.24 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	110,14 €	0,93 €				
F. vent., cortiça 40mm (λ=0.036) ; U1 = 0.39, U2=0.55 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	110,03 €	0,92 €				
F. vent., cortiça 80mm (λ=0.036) ; U1 = 0.27, U2=0.34 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	118,15 €	0,93 €				
F. vent., cortiça 120mm (λ=0.036) ; U1 = 0.21, U2=0.25 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	126,27 €	0,95 €				
Isolamento pelo interior, EPS 60mm (λ=0.031) ; U = 0.46 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	35,23 €	1,01 €				
Isolamento pelo interior, EPS 90mm (λ=0.031) ; U = 0.32 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	37,57 €	1,01 €				
Isolamento pelo interior, EPS 120mm (λ=0.031) ; U = 0.24 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	39,90 €	1,02 €				
Isolamento pelo interior, PLMN 60mm (λ=0.032) ; U = 0.48 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	37,97 €	1,01 €				
Isolamento pelo interior, PLMN 90mm (λ=0.032) ; U = 0.33W/(m².°C); Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	41,13 €	1,02 €				
Isolamento pelo interior, PLMN 120mm (λ=0.032) ; U = 0.25 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	45,24 €	1,03 €				
Isolamento pelo interior, cortiça 60mm (λ=0.036) ; U = 0.53 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	51,97 €	1,04 €				
Isolamento pelo interior, cortiça 90mm (λ=0.036) ; U = 0.37 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	57,06 €	1,05 €				
Isolamento pelo interior, cortiça 120mm (λ=0.036) ; U = 0.28 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/m² área de paredes exteriores)	m²	65,34	62,49 €	1,06 €				

Otimização de soluções de reabilitação energética com o objetivo nZEB em edifícios de habitação social – o caso do Bairro Social das Enguardas - Braga

Orçamento das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação (conclusão)

Descrição da solução construtiva	Unidade de Medida	A (m2)	Preços/m2	Man/m2	BASE (Referência)	Man	VAR 01 Man+PE ETICS EPS 40mm	Man
Cobertura								
Limpeza de telhas em cobertura inclinada (€/ m2 área de telhado)	m²	74,70	6,66 €	0,00 €	497,50 €	0,00 €	497,50 €	0,00 €
Limpeza de calciras e rufos	m	35,8	3,33 €	0,00 €	119,21 €	0,00 €	119,21 €	0,00 €
Na laje de esteira (EPS - $\lambda=0.033$) 60mmx U = 0.48 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	14,20 €	0,03 €				
Na laje de esteira (EPS - $\lambda=0.033$) 90mmx U = 0.33 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	19,49 €	0,04 €				
Na laje de esteira (EPS - $\lambda=0.033$) 120mmx U = 0.26 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	25,84 €	0,05 €				
Na laje de esteira (LM - $\lambda=0.042$) 100mmx U = 0.38 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	7,21 €	0,01 €				
Na laje de esteira (LM - $\lambda=0.042$) 120mmx U = 0.32 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	8,13 €	0,02 €				
Na laje de esteira (LM - $\lambda=0.042$) 140mmx U = 0.28 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	8,88 €	0,02 €				
Na laje de esteira (PP - $\lambda=0.028$) 60mmx U = 0.41 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	21,24 €	0,04 €				
Na laje de esteira (PP - $\lambda=0.028$) 80mmx U = 0.32 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m²	74,70	25,99 €	0,05 €				
Na laje de esteira (PP - $\lambda=0.028$) 100mmx U = 0.26 [W/(m².°C)]; Tempo de vida 30 anos (€/ m2 área de laje)	m	74,70	29,30 €	0,07 €				
Envidraçados								
Reparação e pinturas das caixilharias existentes	un	7	55,81 €	3,20 €	390,67 €	22,39 €	390,67 €	22,39 €
Caixilharia PVC, incluindo caixa de estore térmica	Vg	1,00	2 214,79 €	26,17 €				
Caixilharia alumínio, incluindo caixa de estore térmica	Vg	1,00	2 590,11 €	36,26 €				
Vidro duplo Standard 4:166 g ^l -v 0.75; U=2.70 W/m².°C; Tempo de vida 30 anos;	m²	7,49	52,40 €	1,10 €				
Vidro duplo baixa emissividade térmica 4:166 g ^l -v 0.39; U=1.40 W/m².°C; Tempo de vida 30 anos	m²	7,49	128,34 €	2,70 €				
Sistemas técnicos								
Esquentador Gás ; $\eta=75\%$; PU 19.2kW; Tempo de vida 20 anos	un	1	280,00 €	25,60 €	280,00 €	25,60 €	280,00 €	25,60 €
Caldeira condensação Gás Vulcano Aqualstar Green ZWBE 30/32-2A 23 NAT (consum com AQS $\eta=84\%$; $\eta=92\%$; Tempo de vida 20 anos	un	1	2 078,00 €	190,00 €				
Radiators (€/m ² área aquecimento);	un	7	131,49 €	1,84 €				
Bomba calor (consum com arrefecimento e AQS); COP 3.33; EER 2.68; PU 8 KW; Tempo de vida 20 anos	vg	1	7 952,00 €	508,90 €				
Air-Air Multi split External Inverter MXZ-3E54VA "Mitsubishi" ; 5,4/7 kw COP 4.40; EER 4.0; Tempo de vida 15 anos	un	1	1 761,00 €	89,30 €				
Air-Air Multi split Internal SRK25ZSX / 2,5 kW "Mitsubishi" (price per unit); Tempo de vida 15 anos	un	3	583,00 €	29,50 €				
Air-Air Multi split External SCM 100 ZJ-S1 "Daikin" ; EER 3; Tempo de vida 15 anos	un	1	1 163,53 €	59,11 €	1 163,53 €	59,11 €	1 163,53 €	59,11 €
Air-Air Multi split Internal SCM 100 ZJ-S1 "Daikin" ; EER 3; Tempo de vida 15 anos	un	3	439,21 €	22,27 €	1 317,63 €	66,81 €	1 317,63 €	66,81 €
Esquentador condensação Gás Vulcano Sensor Green (WTD 27 AME); $\eta=97\%$; PU 47KW; Tempo de vida 20 anos	un	1	1 270,00 €	114,90 €				
Aquecedor eléctrico 100% , de 500 W (1 em cada quarto); Tempo de vida 15 anos	un	3	152,25 €	2,59 €	456,75 €	7,76 €	456,75 €	7,76 €
Renováveis								
1 Kit Painel solar temo-sifão Vulcano (FCC-2S); depósito 200L (TSS200) ;rend 0,761; Tempo de vida 20 anos	vg	1	1 555,00 €	159,00 €				
Pv - kit autoconsumo 750 W; 3 paineis + 3 micro inversores ; Tempo de vida 20 anos	kit	1	1 380,00 €	69,00 €				
Pv - kit autoconsumo 1250 W; 5 paineis + 5 micro inversores; Tempo de vida 20 anos	kit	1	2 205,00 €	110,25 €				
Pv - kit autoconsumo 1500 W; 6 paineis + 6 micro inversores ; Tempo de vida 20 anos	kit	1	2 620,00 €	131,00 €				

ANEXO IV - Custos globais das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação

Variável	Constituição da solução construtiva (medida de melhoria/Pacotes)	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos) /m2	
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
REF	Manutenção	11 806 €	10 567 €	58 853 €	61 396 €	1 126,76 €	1 147,55 €
var 1	Manutenção + PE_ETICS EPS 40mm	14 820 €	12 743 €	52 377 €	54 632 €	1 071,56 €	1 074,39 €
var 2	Manutenção + PE_ETICS EPS 80mm	15 595 €	13 373 €	51 096 €	53 341 €	1 063,48 €	1 063,85 €
var 3	Manutenção + PE_ETICS EPS 120mm	16 471 €	14 085 €	50 541 €	52 790 €	1 068,60 €	1 066,42 €
var 4	Manutenção + PE_ETICS PLRV 40mm	15 630 €	13 402 €	52 465 €	54 733 €	1 085,87 €	1 086,51 €
var 5	Manutenção + PE_ETICS PLRV 80mm	17 229 €	14 701 €	51 272 €	53 545 €	1 092,34 €	1 088,28 €
var 6	Manutenção + PE_ETICS PLRV 120mm	18 892 €	16 054 €	50 801 €	53 091 €	1 111,36 €	1 102,62 €
var 7	Manutenção + PE_ETICS Cortiça 40mm	16 490 €	14 101 €	52 680 €	54 965 €	1 103,01 €	1 101,35 €
var 8	Manutenção + PE_ETICS Cortiça 80mm	18 697 €	15 895 €	51 514 €	53 813 €	1 119,61 €	1 111,59 €
var 9	Manutenção + PE_ETICS Cortiça 120mm	21 146 €	17 886 €	51 083 €	53 412 €	1 151,79 €	1 136,95 €
var 10	Manutenção + PE_MORE-CONNECT 120 + 100mm	14 539 €	12 514 €	50 026 €	52 314 €	1 029,58 €	1 033,78 €
var 11	Manutenção + PE_F.Vent. EPS 40mm	18 322 €	15 590 €	52 478 €	54 807 €	1 129,00 €	1 122,58 €
var 12	Manutenção + PE_F.Vent. EPS 80mm	18 591 €	15 809 €	51 174 €	53 483 €	1 112,51 €	1 104,95 €
var 13	Manutenção + PE_F.Vent. EPS 120mm	18 861 €	16 028 €	50 608 €	52 908 €	1 107,79 €	1 099,29 €
var 14	Manutenção + PE_F.Vent. PLMVP 40mm	18 516 €	15 748 €	52 744 €	55 079 €	1 136,34 €	1 129,44 €
var 15	Manutenção + PE_F.Vent. PLMVP 80mm	18 810 €	15 987 €	51 395 €	53 709 €	1 119,52 €	1 111,40 €
var 16	Manutenção + PE_F.Vent. PLMVP 120mm	19 211 €	16 313 €	50 795 €	53 101 €	1 116,35 €	1 106,91 €
var 17	Manutenção + PE_F.Vent. Cortiça 40mm	19 203 €	16 306 €	52 787 €	55 124 €	1 147,98 €	1 139,06 €
var 18	Manutenção + PE_F.Vent. Cortiça 80mm	19 855 €	16 837 €	51 447 €	53 764 €	1 137,02 €	1 125,83 €
var 19	Manutenção + PE_F.Vent. Cortiça 120mm	20 508 €	17 367 €	50 853 €	53 163 €	1 137,96 €	1 124,71 €
var 20	Manutenção + PE_Iso.Int. EPS 60mm	14 637 €	12 869 €	54 537 €	57 165 €	1 103,08 €	1 116,79 €
var 21	Manutenção + PE_Iso.Int. EPS 90mm	14 826 €	13 022 €	53 407 €	56 017 €	1 088,07 €	1 100,92 €
var 22	Manutenção + PE_Iso.Int. EPS 120mm	15 013 €	13 174 €	52 765 €	55 365 €	1 080,81 €	1 092,94 €
var 23	Manutenção + PE_Iso.Int. PLMN 60mm	14 858 €	13 048 €	54 703 €	57 335 €	1 109,24 €	1 122,35 €
var 24	Manutenção + PE_Iso.Int. PLMN 90mm	15 112 €	13 254 €	53 497 €	56 110 €	1 094,06 €	1 106,11 €
var 25	Manutenção + PE_Iso.Int. PLMN 120mm	15 442 €	13 523 €	52 856 €	55 459 €	1 089,11 €	1 100,02 €
var 26	Manutenção + PE_Iso.Int. Cortiça 60mm	15 983 €	13 963 €	55 141 €	57 784 €	1 134,17 €	1 144,10 €
var 27	Manutenção + PE_Iso.Int. Cortiça 90mm	16 392 €	14 295 €	53 854 €	56 478 €	1 120,18 €	1 128,57 €
var 28	Manutenção + PE_Iso.Int. Cortiça 120mm	16 828 €	14 650 €	53 136 €	55 749 €	1 115,69 €	1 122,61 €
var 29	Manutenção + Cob_Esteira EPS 60mm	13 111 €	11 628 €	36 112 €	38 280 €	784,93 €	795,84 €
var 30	Manutenção + Cob_Esteira EPS 90mm	13 597 €	12 023 €	34 995 €	37 146 €	774,87 €	784,07 €
var 31	Manutenção + Cob_Esteira EPS 120mm	14 180 €	12 497 €	34 481 €	36 625 €	775,97 €	783,32 €
var 32	Manutenção + Cob_Esteira PLMN 100mm	12 469 €	11 105 €	35 339 €	37 491 €	762,36 €	774,94 €
var 33	Manutenção + Cob_Esteira PLMN 120mm	12 553 €	11 174 €	34 889 €	37 034 €	756,54 €	768,75 €
var 34	Manutenção + Cob_Esteira PLMN 140mm	12 622 €	11 230 €	34 589 €	36 729 €	752,85 €	764,78 €
var 35	Manutenção + Cob_Esteira PP 60mm	13 758 €	12 153 €	35 601 €	37 763 €	787,10 €	795,99 €
var 36	Manutenção + Cob_Esteira PP 80mm	14 194 €	12 508 €	34 935 €	37 088 €	783,44 €	790,88 €
var 37	Manutenção + Cob_Esteira PP 100mm	14 498 €	12 756 €	34 498 €	36 645 €	781,32 €	787,77 €

Otimização de soluções de reabilitação energética com o objetivo nZEB em edifícios de habitação social – o caso do Bairro Social das Enguardas - Braga

Custos globais das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação (continuação)

Variável	Constituição da solução construtiva (medida de melhoria/Pacotes)	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos) /m2	
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
var 38	PVC_Env. 2x Standard	14 533 €	12 783 €	58 825 €	61 397 €	1 169,79 €	1 182,91 €
var 39	PVC_Env. 2x térmico	15 232 €	13 352 €	57 904 €	60 489 €	1 166,27 €	1 177,50 €
var 40	ALUM_Env. 2x Standard	14 994 €	13 159 €	58 996 €	61 594 €	1 179,88 €	1 192,05 €
var 41	ALUM_Env. 2x térmico	15 694 €	13 728 €	58 075 €	60 687 €	1 176,35 €	1 186,64 €
PACOTE 1 - var 42	var 42 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	18 781 €	15 963 €	21 253 €	23 101 €	638,39 €	622,93 €
PACOTE 2 - var 43	var 43 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	19 837 €	16 822 €	22 452 €	24 278 €	674,35 €	655,39 €
PACOTE 3 - var 44	var 44 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	20 713 €	17 534 €	21 896 €	23 725 €	679,45 €	657,94 €
PACOTE 4 - var 45	var 45 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	18 712 €	15 907 €	21 552 €	23 405 €	642,07 €	626,89 €
PACOTE 5 - var 46	var 46 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	19 768 €	16 766 €	22 752 €	24 582 €	678,03 €	659,34 €
PACOTE 6 - var 47	var 47 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	20 644 €	17 478 €	22 198 €	24 032 €	683,17 €	661,93 €
PAC 1 + S1 - var 48	var 48 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	23 619 €	20 246 €	18 430 €	22 823 €	670,53 €	686,80 €
PAC 1 + S2 - var 49	var 49 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	26 349 €	22 399 €	16 373 €	18 127 €	681,25 €	646,25 €
PAC 1 + S3 - var 50	var 50 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	21 269 €	18 237 €	13 836 €	15 421 €	559,80 €	536,72 €
PAC 1 + S4 - var 51	var 51 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	17 500 €	14 483 €	15 442 €	19 360 €	525,30 €	539,68 €
PAC 1 + S5 - var 52	var 52 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	25 961 €	22 342 €	19 264 €	23 220 €	721,18 €	726,54 €
PAC 1 + S6 - var 53	var 53 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	26 349 €	22 399 €	10 516 €	12 173 €	587,87 €	551,31 €
PAC 1 + S7 - var 54	var 54 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	21 889 €	19 015 €	11 260 €	12 802 €	528,60 €	507,37 €
PAC 1 + S8 - var 55	var 55 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	19 842 €	16 579 €	16 275 €	19 757 €	575,95 €	579,42 €
PAC 2 + S1 - var 56	var 56 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	24 675 €	21 105 €	18 814 €	23 477 €	693,49 €	710,92 €
PAC 2 + S2 - var 57	var 57 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	27 405 €	23 258 €	16 520 €	18 235 €	700,44 €	661,66 €
PAC 2 + S3 - var 58	var 58 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	22 325 €	19 095 €	13 874 €	15 418 €	577,26 €	550,36 €
PAC 2 + S4 - var 59	var 59 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	18 556 €	15 342 €	15 825 €	20 014 €	548,25 €	563,79 €
PAC 2 + S5 - var 60	var 60 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	27 017 €	23 200 €	19 647 €	23 874 €	744,14 €	750,67 €
PAC 2 + S6 - var 61	var 61 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	31 352 €	26 789 €	12 645 €	14 607 €	701,58 €	660,12 €
PAC 2 + S7 - var 62	var 62 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	22 325 €	19 095 €	17 161 €	19 619 €	629,67 €	617,35 €
PAC 2 + S8 - var 63	var 63 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	20 898 €	17 437 €	16 658 €	20 411 €	598,90 €	603,54 €
PAC 3 + S1 - var 64	var 64 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	25 551 €	21 817 €	18 611 €	23 152 €	704,22 €	717,09 €
PAC 3 + S2 - var 65	var 65 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	28 281 €	23 970 €	16 420 €	18 146 €	712,81 €	671,60 €
PAC 3 + S3 - var 66	var 66 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	23 201 €	19 807 €	13 821 €	15 377 €	590,38 €	561,07 €
PAC 3 + S4 - var 67	var 67 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	19 432 €	16 054 €	15 622 €	19 688 €	558,99 €	569,96 €

Custos globais das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação (conclusão)

Variável	Constituição da solução construtiva (medida de melhoria/Pacotes)	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)/m2	
		Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
PAC 3 + S5 - var 68	var 68 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	27 893 €	23 912 €	19 445 €	23 549 €	754,87 €	756,83 €
PAC 3 + S6 - var 69	var 69 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	32 228 €	27 501 €	12 545 €	14 519 €	713,96 €	670,06 €
PAC 3 + S7 - var 70	var 70 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	23 201 €	19 807 €	11 059 €	12 569 €	546,33 €	516,28 €
PAC 3 + S8 - var 71	var 71 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	21 774 €	18 149 €	16 456 €	20 085 €	609,64 €	609,71 €
PAC 4 + S1 - var 72	var 72 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	23 550 €	20 190 €	18 568 €	23 023 €	671,62 €	689,09 €
PAC 4 + S2 - var 73	var 73 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	26 280 €	22 343 €	16 467 €	18 223 €	681,65 €	646,88 €
PAC 4 + S3 - var 74	var 74 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	21 200 €	18 181 €	13 906 €	15 492 €	559,82 €	536,95 €
PAC 4 + S4 - var 75	var 75 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	17 431 €	14 427 €	15 581 €	19 562 €	526,42 €	542,00 €
PAC 4 + S5 - var 76	var 76 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	25 892 €	22 286 €	19 401 €	23 420 €	722,27 €	728,83 €
PAC 4 + S6 - var 77	var 77 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	26 280 €	22 343 €	10 610 €	12 268 €	588,27 €	551,93 €
PAC 4 + S7 - var 78	var 78 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	21 200 €	18 181 €	11 238 €	12 779 €	517,28 €	493,70 €
PAC 4 + S8 - var 79	var 79 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	19 774 €	16 523 €	16 415 €	19 959 €	577,07 €	581,75 €
PAC 5 + S1 - var 80	var 80 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	24 606 €	21 049 €	18 951 €	23 677 €	694,58 €	713,22 €
PAC 5 + S2 - var 81	var 81 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	27 336 €	23 202 €	16 614 €	18 330 €	700,84 €	662,28 €
PAC 5 + S3 - var 82	var 82 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	22 256 €	19 039 €	13 944 €	15 488 €	577,27 €	550,59 €
PAC 5 + S4 - var 83	var 83 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	18 487 €	15 286 €	15 964 €	20 216 €	549,37 €	566,12 €
PAC 5 + S5 - var 84	var 84 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	26 948 €	23 144 €	19 785 €	24 074 €	745,23 €	752,96 €
PAC 5 + S6 - var 85	var 85 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	31 283 €	26 733 €	12 502 €	15 699 €	698,21 €	676,63 €
PAC 5 + S7 - var 86	var 86 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	22 256 €	19 039 €	10 948 €	13 028 €	529,50 €	511,35 €
PAC 5 + S8 - var 87	var 87 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	20 830 €	17 381 €	16 798 €	20 958 €	600,02 €	611,37 €
PAC 6 + S1 - var 88	var 88 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	25 482 €	21 761 €	18 750 €	23 353 €	705,34 €	719,40 €
PAC 6 + S2 - var 89	var 89 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	28 212 €	23 914 €	16 514 €	18 242 €	713,22 €	672,24 €
PAC 6 + S3 - var 90	var 90 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	23 132 €	19 751 €	13 892 €	15 448 €	590,40 €	561,31 €
PAC 6 + S4 - var 91	var 91 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	19 363 €	15 998 €	15 763 €	19 891 €	560,13 €	572,30 €
PAC 6 + S5 - var 92	var 92 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	27 824 €	23 856 €	19 583 €	24 095 €	755,98 €	764,66 €
PAC 6 + S6 - var 93	var 93 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	32 159 €	27 445 €	12 639 €	15 805 €	714,37 €	689,69 €
PAC 6 + S7 - var 94	var 94 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	23 132 €	19 751 €	11 082 €	13 141 €	545,60 €	524,51 €
PAC 6 + S8 - var 95	var 95 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	21 706 €	18 093 €	16 596 €	20 634 €	610,78 €	617,56 €

ANEXO V - Características dos sistemas técnicos definidos

Sistemas	Aparelho e características	Custo unitário (€)
Referência	Esquentador Gás ; $\eta=75\%$; PU 19.2kW; Vida útil 20 anos	280,00 €
Referência	Aquecedor eléctrico 100% , de 500 W (1 em cada quarto); Vida útil 15 anos - 3 unidades	152,25 €
Referência	Air-Air Multi split External SCM 100 ZJ-S1 "Daikin" ; EER 3; Vida útil 15 anos	1 163,53 €
Referência	Air-Air Multi split Internal SCM 100 ZJ-S1 "Daikin" ; EER 3; Vida útil 15 anos - 3 unidades	439,21 €
S1, S4 , S5, S8	Caldeira condensação Gás Vulcano Aquastar Green ZWBE 30/32-2A 23 NAT (comum com AQS $\eta=84\%$); $\eta=92\%$; Vida útil 20 anos	2 078,00 €
S2, S6	Bomba calor (comum com arrefecimento e AQS); COP 3.33; EER 2.68; PU 8 KW; Vida útil 20 anos	7 952,00 €
S1, S3, S5, S7	Air-Air Multi split External Inverter MXZ-3E54VA "Mitsubishi" ; 5,4/7 kw COP 4.40; EER 4,0; Vida útil 15 anos	1 761,00 €
S1, S3, S5, S7	Air-Air Multi split Internal SRK25ZSX / 2,5 kW "Mitsubishi" (price per unit); Vida útil 15 anos - 3 unidades	533,00 €
S3, S7	Esquentador condensação Gás Vulcano Sensor Green (WTD 27 AME); $\eta=97\%$; PU 47KW; Vida útil 20 anos	1 270,00 €
S5, S8	1 Kit Painel solar termo-sifão Vulcano (FCC-2S); deposito 200L (TSS200) ;rend 0,761; Vida útil 20 anos	1 555,00 €
S6, S7	Pv - kit autoconsumo 750 W; 3 paineis + 3 micro inversores ; Vida útil 20 anos	1 380,00 €
S6, S7	Pv - kit autoconsumo 1250 W; 5 paineis + 5 micro inversores; Vida útil 20 anos	2 205,00 €
S6, S7	Pv - kit autoconsumo 1500 W; 6 paineis + 6 micro inversores; Vida útil 20 anos	2 620,00 €

COP
EER

(coeficiente de desempenho) - eficiência de aquecimento
(rácio de eficiência energética) - eficiência de arrefecimento

ANEXO VI - Necessidades energéticas das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação

Variável	Constituição da solução construtiva (medida de melhoria/Pacotes)	N _{ic} (kWh/m ² .ano)		N _{vc} (kWh/m ² .ano)		N _{ac} (kWh/m ² .ano)		Fatores de conversão			N _c (kWh/m ² .ano)	Renováveis			Redução face à base
		Total	η	Total	η	Total	η	N _{ic}	N _{vc}	N _{ac}	Total	TS	FV	BM	Total
REF	Manutenção	226,43	1,0	4,59	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	620,43	0,00	0,00	0,00	0,0%
var 1	Manutenção + PE_ETICS EPS 40mm	201,86	1,0	4,86	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	559,23	0,00	0,00	0,00	10%
var 2	Manutenção + PE_ETICS EPS 80mm	195,41	1,0	4,93	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	543,17	0,00	0,00	0,00	12%
var 3	Manutenção + PE_ETICS EPS 120mm	192,34	1,0	4,97	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	535,53	0,00	0,00	0,00	14%
var 4	Manutenção + PE_ETICS PLRV 40mm	201,86	1,0	4,86	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	559,23	0,00	0,00	0,00	10%
var 5	Manutenção + PE_ETICS PLRV 80mm	195,41	1,0	4,93	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	543,17	0,00	0,00	0,00	12%
var 6	Manutenção + PE_ETICS PLRV 120mm	192,34	1,0	4,97	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	535,53	0,00	0,00	0,00	14%
var 7	Manutenção + PE_ETICS Cortiça 40mm	202,44	1,0	4,86	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	560,68	0,00	0,00	0,00	10%
var 8	Manutenção + PE_ETICS Cortiça 80mm	195,81	1,0	4,93	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	544,17	0,00	0,00	0,00	12%
var 9	Manutenção + PE_ETICS Cortiça 120mm	192,53	1,0	4,96	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	535,99	0,00	0,00	0,00	14%
var 10	Manutenção + PE_MORE-CONNECT 120 + 100mm	188,31	1,0	5,01	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	525,48	0,00	0,00	0,00	15%
var 11	Manutenção + PE_F.Vent. EPS 40mm	199,90	1,0	4,89	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	554,36	0,00	0,00	0,00	11%
var 12	Manutenção + PE_F.Vent. EPS 80mm	193,70	1,0	4,96	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	538,92	0,00	0,00	0,00	13%
var 13	Manutenção + PE_F.Vent. EPS 120mm	190,99	1,0	4,98	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	532,16	0,00	0,00	0,00	14%
var 14	Manutenção + PE_F.Vent. PLMVP 40mm	201,08	1,0	4,87	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	557,29	0,00	0,00	0,00	10%
var 15	Manutenção + PE_F.Vent. PLMVP 80mm	194,66	1,0	4,94	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	541,30	0,00	0,00	0,00	13%
var 16	Manutenção + PE_F.Vent. PLMVP 120mm	191,77	1,0	4,98	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	534,11	0,00	0,00	0,00	14%
var 17	Manutenção + PE_F.Vent. Cortiça 40mm	201,26	1,0	4,87	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	557,74	0,00	0,00	0,00	10%
var 18	Manutenção + PE_F.Vent. Cortiça 80mm	194,84	1,0	4,94	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	541,75	0,00	0,00	0,00	13%
var 19	Manutenção + PE_F.Vent. Cortiça 120mm	191,95	1,0	4,97	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	534,55	0,00	0,00	0,00	14%
var 20	Manutenção + PE_Iso.Int. EPS 60mm	200,74	1,0	4,92	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	556,48	0,00	0,00	0,00	10%
var 21	Manutenção + PE_Iso.Int. EPS 90mm	195,38	1,0	4,96	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	543,12	0,00	0,00	0,00	12%
var 22	Manutenção + PE_Iso.Int. EPS 120mm	192,32	1,0	4,98	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	535,48	0,00	0,00	0,00	14%
var 23	Manutenção + PE_Iso.Int. PLMN 60mm	201,50	1,0	4,91	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	558,38	0,00	0,00	0,00	10%
var 24	Manutenção + PE_Iso.Int. PLMN 90mm	195,77	1,0	4,95	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	544,08	0,00	0,00	0,00	12%
var 25	Manutenção + PE_Iso.Int. PLMN 120mm	192,70	1,0	4,98	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	536,43	0,00	0,00	0,00	14%
var 26	Manutenção + PE_Iso.Int. Cortiça 60mm	203,42	1,0	4,90	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	563,17	0,00	0,00	0,00	9%
var 27	Manutenção + PE_Iso.Int. Cortiça 90mm	197,30	1,0	4,94	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	547,90	0,00	0,00	0,00	12%
var 28	Manutenção + PE_Iso.Int. Cortiça 120mm	193,85	1,0	4,97	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	539,30	0,00	0,00	0,00	13%
var 29	Manutenção + Cob_Esteira EPS 60mm	120,07	1,0	1,79	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	352,20	0,00	0,00	0,00	43%
var 30	Manutenção + Cob_Esteira EPS 90mm	114,82	1,0	1,54	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	338,87	0,00	0,00	0,00	45%
var 31	Manutenção + Cob_Esteira EPS 120mm	112,37	1,0	1,40	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	332,63	0,00	0,00	0,00	46%
var 32	Manutenção + Cob_Esteira PLMN 100mm	116,57	1,0	1,61	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	343,30	0,00	0,00	0,00	45%
var 33	Manutenção + Cob_Esteira PLMN 120mm	114,47	1,0	1,52	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	337,98	0,00	0,00	0,00	46%
var 34	Manutenção + Cob_Esteira PLMN 140mm	113,07	1,0	1,44	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	334,41	0,00	0,00	0,00	46%
var 35	Manutenção + Cob_Esteira PP 60mm	117,62	1,0	1,67	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	345,98	0,00	0,00	0,00	44%
var 36	Manutenção + Cob_Esteira PP 80mm	114,47	1,0	1,49	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	337,95	0,00	0,00	0,00	46%
var 37	Manutenção + Cob_Esteira PP 100mm	112,37	1,0	1,40	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	332,63	0,00	0,00	0,00	46%

Needsidades energéticas das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação (continuação)

Variável	Constituição da solução construtiva (medida de melhoria/Pacotes)	N _{ic} (kWh/m ² .ano)		N _{ve} (kWh/m ² .ano)		N _{ac} (kWh/m ² .ano)		Fatores de conversão			N _{re} (kWh/m ² .ano)	Renováveis			Redução face à base
		Total	η	Total	η	Total	η	N _{ic}	N _{ve}	N _{ac}	Total	TS	FV	BM	Total
var 38	PVC_Env. 2x Standard	225,76	1,0	3,33	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	617,71	0,00	0,00	0,00	0,4%
var 39	PVC_Env. 2x térmico	220,43	1,0	3,45	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	604,48	0,00	0,00	0,00	3%
var 40	ALUM_Env. 2x Standard	225,76	1,0	3,33	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	617,71	0,00	0,00	0,00	0,4%
var 41	ALUM_Env. 2x térmico	220,43	1,0	3,45	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	604,48	0,00	0,00	0,00	3%
PACOTE 1 - var 42	var 42 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	52,62	1,0	1,23	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	183,11	0,00	0,00	0,00	70%
PACOTE 2 - var 43	var 43 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	59,70	1,0	1,19	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	200,78	0,00	0,00	0,00	68%
PACOTE 3 - var 44	var 44 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	56,63	1,0	1,21	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	193,12	0,00	0,00	0,00	69%
PACOTE 4 - var 45	var 45 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	54,01	1,0	1,33	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	186,67	0,00	0,00	0,00	70%
PACOTE 5 - var 46	var 46 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	61,09	1,0	1,29	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	204,33	0,00	0,00	0,00	67%
PACOTE 6 - var 47	var 47 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas por defeito REF.]	58,03	1,0	1,31	3,0	37,90	0,75	2,5	2,5	1	196,70	0,00	0,00	0,00	68%
PAC 1 + S1 - var 48	var 48 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	52,62	0,9	1,23	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	103,08	0,00	0,00	0,00	83%
PAC 1 + S2 - var 49	var 49 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	52,62	3,3	1,23	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	69,11	0,00	0,00	0,00	89%
PAC 1 + S3 - var 50	var 50 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	52,62	4,4	1,23	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	69,74	0,00	0,00	0,00	89%
PAC 1 + S4 - var 51	var 51 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	52,62	0,9	1,23	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	103,34	0,00	0,00	0,00	83%
PAC 1 + S5 - var 52	var 52 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	52,62	0,9	1,23	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	78,29	20,83	0,00	0,00	87%
PAC 1 + S6 - var 53	var 53 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	52,62	3,3	1,23	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	0,14	0,00	27,59	0,00	100%
PAC 1 + S7 - var 54	var 54 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	52,62	4,4	1,23	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	39,40	0,00	12,14	0,00	94%
PAC 1 + S8 - var 55	var 55 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	52,62	0,9	1,23	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	78,55	20,83	0,00	0,00	87%
PAC 2 + S1 - var 56	var 56 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	59,70	0,9	1,19	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	110,75	0,00	0,00	0,00	82%
PAC 2 + S2 - var 57	var 57 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	59,70	3,3	1,19	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	74,38	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 2 + S3 - var 58	var 58 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	59,70	4,4	1,19	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	73,74	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 2 + S4 - var 59	var 59 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	59,70	0,9	1,19	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	111,00	0,00	0,00	0,00	82%
PAC 2 + S5 - var 60	var 60 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	59,70	0,9	1,19	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	85,96	20,83	0,00	0,00	86%
PAC 2 + S6 - var 61	var 61 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	59,70	3,3	1,19	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	2,62	0,00	28,70	0,00	100%
PAC 2 + S7 - var 62	var 62 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	59,70	4,4	1,19	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	40,65	0,00	13,24	0,00	93%
PAC 2 + S8 - var 63	var 63 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	59,70	0,9	1,19	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	86,21	20,83	0,00	0,00	86%
PAC 3 + S1 - var 64	var 64 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	56,63	0,9	1,21	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	107,43	0,00	0,00	0,00	83%
PAC 3 + S2 - var 65	var 65 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	56,63	3,3	1,21	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	72,10	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 3 + S3 - var 66	var 66 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	56,63	4,4	1,21	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	72,00	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 3 + S4 - var 67	var 67 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	56,63	0,9	1,21	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	107,68	0,00	0,00	0,00	83%

Necessidades energéticas das medidas de melhoria e dos pacotes de reabilitação (conclusão)

Variável	Constituição da solução construtiva (medida de melhoria/Pacotes)	N _{ic} (kWh/m ² .ano)		N _{vc} (kWh/m ² .ano)		N _{ac} (kWh/m ² .ano)		Fatores de conversão			N _{ec} (kWh/m ² .ano)	Renováveis			Redução face à base
		Total	η	Total	η	Total	η	N _{ic}	N _{vc}	N _{ac}	Total	TS	FV	BM	Total
PAC 3 + S5 - var 68	var 68 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	56,63	0,9	1,21	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	82,64	20,83	0,00	0,00	87%
PAC 3 + S6 - var 69	var 69 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	56,63	3,3	1,21	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	0,34	0,00	28,70	0,00	100%
PAC 3 + S7 - var 70	var 70 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	56,63	4,4	1,21	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	39,47	0,00	13,01	0,00	94%
PAC 3 + S8 - var 71	var 71 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 140mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	56,63	0,9	1,21	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	82,89	20,83	0,00	0,00	87%
PAC 4 + S1 - var 72	var 72 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	54,01	0,9	1,33	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	104,66	0,00	0,00	0,00	83%
PAC 4 + S2 - var 73	var 73 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	54,01	3,3	1,33	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	70,24	0,00	0,00	0,00	89%
PAC 4 + S3 - var 74	var 74 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	54,01	4,4	1,33	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	70,59	0,00	0,00	0,00	89%
PAC 4 + S4 - var 75	var 75 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	54,01	0,9	1,33	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	104,93	0,00	0,00	0,00	83%
PAC 4 + S5 - var 76	var 76 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	54,01	0,9	1,33	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	79,86	20,83	0,00	0,00	87%
PAC 4 + S6 - var 77	var 77 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	54,01	3,3	1,33	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	1,27	0,00	27,59	0,00	100%
PAC 4 + S7 - var 78	var 78 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	54,01	4,4	1,33	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	39,18	0,00	12,57	0,00	94%
PAC 4 + S8 - var 79	var 79 - [PE_MORE-CONNECT 220mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	54,01	0,9	1,33	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	80,14	20,83	0,00	0,00	87%
PAC 5 + S1 - var 80	var 80 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	61,09	0,9	1,29	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	112,33	0,00	0,00	0,00	82%
PAC 5 + S2 - var 81	var 81 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	61,09	3,3	1,29	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	75,52	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 5 + S3 - var 82	var 82 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	61,09	4,4	1,29	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	74,59	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 5 + S4 - var 83	var 83 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	61,09	0,9	1,29	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	112,60	0,00	0,00	0,00	82%
PAC 5 + S5 - var 84	var 84 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	61,09	0,9	1,29	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	87,53	20,83	0,00	0,00	86%
PAC 5 + S6 - var 85	var 85 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	61,09	3,3	1,29	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	0,97	0,00	29,82	0,00	100%
PAC 5 + S7 - var 86	var 86 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	61,09	4,4	1,29	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	39,31	0,00	14,11	0,00	94%
PAC 5 + S8 - var 87	var 87 - [PE_ETICS EPS 80mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	61,09	0,9	1,29	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	87,80	20,83	0,00	0,00	86%
PAC 6 + S1 - var 88	var 88 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC]	58,03	0,9	1,31	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	109,01	0,00	0,00	0,00	82%
PAC 6 + S2 - var 89	var 89 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Bomba de calor]	58,03	3,3	1,31	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	73,24	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 6 + S3 - var 90	var 90 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC]	58,03	4,4	1,31	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	72,86	0,00	0,00	0,00	88%
PAC 6 + S4 - var 91	var 91 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistema Caldeira]	58,03	0,9	1,31	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	109,29	0,00	0,00	0,00	82%
PAC 6 + S5 - var 92	var 92 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + AVAC + ST (AQS)]	58,03	0,9	1,31	4,0	37,90	0,84	1	2,5	1	84,22	20,83	0,00	0,00	86%
PAC 6 + S6 - var 93	var 93 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Bomba de calor + PV]	58,03	3,3	1,31	2,7	37,90	3,33	2,5	2,5	2,5	1,48	0,00	28,70	0,00	100%
PAC 6 + S7 - var 94	var 94 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Esquentador + AVAC + PV]	58,03	4,4	1,31	4,0	37,90	0,97	2,5	2,5	1	39,77	0,00	13,24	0,00	94%
PAC 6 + S8 - var 95	var 95 - [PE_ETICS EPS 120mm] + [Cob_Esteira PLMN 120mm] + [Env. PVC. Vidro 2x térmico] + [Sistemas Caldeira + ST]	58,03	0,9	1,31	3,0	37,90	0,84	1	2,5	1	84,49	20,83	0,00	0,00	86%

