

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Helena Cristina Teixeira da Silva

Propostas de reabilitação energética para o
caso de estudo Edifício Engenheiro Mota Pinto
(Gaia)

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

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Manuela Oliveira Guedes
Almeida
Professora Sandra Maria Gomes Monteiro Silva

Agradecimentos

A preciosa contribuição de certas pessoas não pode passar sem a expressão dos meus sinceros agradecimentos.

Às professoras Manuela Almeida e Sandra Silva pelos conhecimentos partilhados.

À Engenheira Ana Rodrigues por todo o tempo despendido e pelas incontáveis trocas de impressões sobre o trabalho e sobre a área.

À Ana Mestre e Muriel Iten, investigadoras do LFTC a trabalhar no projeto MORE-CONNECT na Universidade do Minho.

Guardo um especial agradecimento para a minha família e amigos pelo apoio que me deram durante todo este percurso.

Resumo

Com o acelerado crescimento populacional do passado século, a indústria da construção teve necessidade de se reajustar para acompanhar este crescimento. Consequentemente, isto trouxe um acréscimo do consumo de recursos naturais e que levou à deterioração dos ecossistemas. Este aumento de consumo também levou à produção excessiva de resíduos e naturalmente a uma alteração das condições do planeta. A crescente utilização de combustíveis fósseis também conduziu a uma dependência externa de energia por parte de muitos países da União Europeia.

A indústria da construção precisa de uma mudança profunda, pois é necessário reduzir o consumo de recursos naturais e também a dependência energética. Esta transformação surge aquando do conceito de renovação energética, onde é possível utilizar o edificado existente, tornando-o menos dependente de combustíveis fósseis. Esta solução não só produz menos resíduos, mas também tenta explorar a redução dos gases de efeito de estufa na atmosfera.

A par da reabilitação energética é preciso pensar na rentabilidade económica de cada uma das soluções aplicadas, para que cada medida possa dar um sentido de alcance a conceitos como nZEB (nearly Zero Energy Building – Edifício com necessidades quase nulas de energia) e ZEB (Zero Energy Building – Edifício com necessidades nulas de energia).

Na presente dissertação são estudadas medidas comuns de reabilitação energética do edificado português, e também a comparação destas com as medidas propostas pelo projeto MORE-CONNECT para um edifício piloto em Portugal. O projeto prevê a aplicação de painéis pré-fabricados para a renovação da envolvente do edifício. Estes elementos não só vão permitir melhorar o desempenho térmico do edifício, como lhe estão associados custos reduzidos e um tempo de aplicação curto.

A meta a atingir com esta dissertação é não só avaliar o impacto, em termos térmicos e económicos, da aplicação dos painéis desenvolvidos no âmbito do projeto MORE-CONNECT, mas também avaliar se a sua aplicação conduz a um edificado mais perto das metas da União Europeia para 2020.

Palavras – chave: Reabilitação, Custo ótimo, Eficiência energética, Energia renovável

Abstract

With the population growth observed on the last century, the construction industry needed major changes to keep up with this growth. This, consequently, brought an increase in the consumption of natural resources which led to a deterioration of the ecosystems. This increased consumption also led to excessive production of waste, and thus, to changes in the planet. The increasing use of fossil fuels also led to a dependence on external energy by many countries of the European Union.

The construction industry needed a deep change, as it is necessary to reduce the consumption of natural resources and energy dependence. Energy rehabilitation is the promising concept that brings a new look into reducing energy consumption of existing buildings. With this concept, it is possible to make improvements on existing buildings, thus making them less dependent on fossil fuels. This solution not only produces less waste, but also tries to explore the reduction of greenhouse gases in the atmosphere.

Along with energy rehabilitation, it is essential to consider the economic viability that such rehabilitation solutions can bring, so that these solutions can reach nZEB (nearly Zero Energy Building) and ZEB (Zero Energy Building) levels.

In this thesis, typical Portuguese energy rehabilitation solutions are studied, as well as their comparison with the measures proposed by the MORE-CONNECT project for a pilot building in Portugal. This project consists on the development of prefabricated panels for the renovation of the building's facade. These elements not only help to improve the thermal performance of the building, but also have reduced costs and have a short application time.

The main goal of this dissertation is to evaluate the viability of the measures proposed by the MORE-CONNECT project and understand if they promote the 2020 goals of the European Union.

Keywords: Renovation, Cost optimal, Energy efficiency, Renewable energy

Índice

Índice de figuras	XIII
Índice de tabelas	XV
Lista de abreviaturas	XVII
Capítulo 1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Enquadramento	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Organização da dissertação.....	3
Capítulo 2. ESTADO DE ARTE.....	5
2.1. Introdução	5
2.2. A utilização de energias renováveis.....	5
2.3. Reabilitação energética	9
2.3.1. Desempenho energético dos edifícios	10
2.3.2. Edifícios nZEB	11
2.4. Níveis ótimos de rentabilidade	12
2.5. Conclusão.....	15
Capítulo 3. METODOLOGIA.....	17
3.1. Introdução	17
3.2. Descrição dos métodos a utilizar	17
3.2.1. Obtenção das necessidades energéticas	17
3.2.1.1. Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento	21
3.2.1.2. Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento	22
3.2.1.3. Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária	22
3.2.1.4. Determinação da Classe Energética.....	24
3.2.2. Metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade....	24
3.2.3. Cálculo do custo global	26
3.2.4. Determinação do nível ótimo de rentabilidade.....	29
Capítulo 4. CASO DE ESTUDO (EDIFÍCIO ENGENHEIRO MOTA PINTO)	31
4.1. Introdução	31
4.2. MORE-CONNECT em Portugal	31

4.3.	Caso de estudo	32
4.3.1.	Descrição do edifício	32
4.3.2.	Caracterização térmica (REH).....	35
4.3.2.1	Condições climáticas	35
4.3.2.2	Quantificação da inércia térmica	35
4.3.2.3	Coefficiente de transmissão térmica (U).....	35
4.3.2.4	Fator solar de vãos envidraçados	37
4.3.2.5	Coefficiente de transmissão térmica linear (Ψ).....	37
4.3.2.6	Coefficiente de Redução de Perdas (btr).....	38
4.3.2.7	Vão envidraçado interior	39
4.3.2.8	Ventilação	40
4.3.2.9	Sistemas do edifício	40
4.3.3.	Caracterização energética (REH)	40
4.4.	Conclusão.....	43
Capítulo 5.	PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	45
5.1.	Introdução	45
5.2.	Seleção das medidas de melhoria para a eficiência energética.....	45
5.2.1.	Identificação das medidas de melhoria da envolvente opaca e envidraçada.....	45
5.2.2.	Sistemas técnicos.....	50
5.2.3.	Energias renováveis	53
5.3.	Análise da rentabilidade económica das medidas de melhoria.....	57
5.3.1.	Estudo da influência de medidas ligadas à envolvente opaca e envidraçada	58
5.3.2.	Análise das medidas com alteração dos sistemas técnicos.....	65
5.3.3.	A viabilidade para ZEB	70
5.4.	Análise de sensibilidade.....	73
5.5.	Conclusões	77
Capítulo 6.	CONCLUSÕES	79
6.1.	Conclusões	79
6.2.	Trabalhos futuros	81
Referências bibliográficas	.....	83
Anexos.....	.....	87
Anexo I - Soluções construtivas .....	.....	88
Anexo II - Definição da envolvente.....	.....	90
Anexo III - Definição das pontes térmicas planas .....	.....	93

Anexo IV - Avaliação energética do edifício	96
Anexo V – Variáveis analisadas como medidas de reabilitação energética	97
Anexo VI – Variáveis para o estudo da curva de custo ótimo.....	101
Anexo VII – Investimento inicial de cada medida de reabilitação	104
Anexo VIII - Cálculo para obtenção da curva de custo ótimo (Custos)	109
Anexo IX - Cálculo para obtenção da curva de custo ótimo (Necessidades)	121

Índice de figuras

Figura 1 - Produção de energia elétrica em Portugal a partir de fontes renováveis (%) (Fonte: PORDATA, 2016).....	6
Figura 2 - Produção de energias renováveis por fonte renovável (Fonte: DGEG,2016)	7
Figura 3 - Utilização de energia renováveis em 2015 (Fonte: DGEG,2016)	8
Figura 4 - Consumo de energia total por uso para 2014 (%) (Fonte: PORDATA,2016).....	8
Figura 5 – Evolução do custo ótimo com os cenários de reabilitação (Ferreira e Almeida, 2015).....	13
Figura 6 -Relação nZEB e custo ótimo (Congedo et al., 2015).....	14
Figura 7 – Quadro metodológico de otimização de rentabilidade.....	25
Figura 8 – Interação das diferentes medidas de melhoria	26
Figura 9 – Categorização dos custos de acordo com o quadro metodológico.....	27
Figura 10 - Intervalo ótimo de rentabilidade (Jornal Oficial da União Europeia , 2012)	30
Figura 11 – Corte do módulo ilustrativo	32
Figura 12 - Fachada principal do Edifício Engenheiro Mota Pinto.....	32
Figura 13 - Planta do rés-do-chão do caso de estudo (Azul – Bloco A; Vermelho – Bloco B; Verde – Bloco C).....	33
Figura 14 - Planta do piso 1 e 2 do caso de estudo (Azul – Bloco A; Vermelho – Bloco B; Verde – Bloco C).....	33
Figura 15 – Simplificação da necessidades energéticas	41
Figura 16- Necessidades de aquecimento por fração - Nic (kWh/m ² .ano)	41
Figura 17 – Necessidades de arrefecimento por fração - Nvc (kWh/m ² .ano).....	42
Figura 18 - Necessidades de energia primária por fração - Ntc (kWh/m ² .ano).....	43
Figura 19 - Opções para a disposição dos coletores solares (1 – 54 painéis; 2 – 45 painéis; 3 – 27 painéis)	53
Figura 20 - Esquema para os painéis fotovoltaicos na cobertura (a - 30 painéis e b - 18 painéis)	56
Figura 21 - Esquema para os painéis fotovoltaicos na fachada (a - 30 painéis; b - 24 painéis; c - 18 painéis e d - 12 painéis).....	56
Figura 22 - PVC VS Alumínio nos envidraçados (Esquerda - componente privada; Direita – componente social).....	59

Figura 23 - EPS, XPS ou LM nas paredes exteriores (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)	60
Figura 24 - XPS VS LM na cobertura (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)	60
Figura 25 - LM ou ICB no pavimento sobre a cave (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)	61
Figura 26 - Variáveis estudadas com a combinação de sistemas 1 (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)	62
Figura 27 - Evolução das variáveis da Tabela 42 com a combinação de sistemas 1 (componente privada)	64
Figura 28 - Evolução das variáveis da Tabela 42 com a combinação de sistemas 1 (componente social).....	64
Figura 29 – Avaliação da solução de custo ótimo (componente privada).....	66
Figura 30 – Avaliação da solução de custo ótimo (componente social)	66
Figura 31 - Percentagem de redução da energia primária das medidas em relação ao edifício de referência	69
Figura 32 – Percentagem de energia renovável utilizada nas diferentes variáveis	70
Figura 33 – Comparação de algumas medidas com e sem fotovoltaico (componente privada)	71
Figura 34 - Comparação de algumas medidas com e sem fotovoltaico (componente social)..	72
Figura 35 – Curva de custo ótimo (componente privada)	74
Figura 36 – Curva de custo ótimo (componente social).....	75

Índice de tabelas

Tabela 1 - Definição da envolvente através do btr (Despacho (extrato) nº15793-E/2013).....	18
Tabela 2 - Valores limites das massas pelo tipo de elemento construtivo (Despacho (extrato) nº15793-K/2013)	19
Tabela 3 - Classes de inércia térmica (Despacho (extrato) nº15793-K/2013).....	20
Tabela 4 - Classe energética associada a um edifício (Despacho (extrato) nº 15793-J/2013) .	24
Tabela 5 - Tempo de vida útil dos sistemas utilizados	28
Tabela 6 - Geometria do edifício	34
Tabela 7 – Zoneamento climático	35
Tabela 8 - Quantificação da inércia térmica	35
Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica	36
Tabela 10 - Fator solar de vãos envidraçados.....	37
Tabela 11 -Pontes térmicas lineares contabilizadas	38
Tabela 12 - Definição da envolvente interior	39
Tabela 13 - Ângulos das obstruções do vão envidraçado interior (°).....	39
Tabela 14 - Fator solar de vão envidraçados interiores	40
Tabela 15 – Sistema utilizado no edifício de referência.....	40
Tabela 16 - Balanço energético do edifício	43
Tabela 17 - Medidas de reabilitação energética	46
Tabela 18 - Medidas de reabilitação para as paredes	47
Tabela 19 - Painéis do MORE-CONNECT.....	48
Tabela 20 – Preços para os painéis do MORE-CONNECT	48
Tabela 21 - Medidas de reabilitação para a cobertura	48
Tabela 22 - Medidas de reabilitação para o pavimento sob a cave	49
Tabela 23 - Medidas para os envidraçados.....	50
Tabela 24 - Medidas de reabilitação para os envidraçados	50
Tabela 25 – Combinações de sistemas	51
Tabela 26 - Estudo das orientações dos coletores solar.....	54
Tabela 27 - Componentes do Kit1500W para Autoconsumo (UPAC) da FFSolar.....	55
Tabela 28 - Características do painel fotovoltaico	55
Tabela 29 - Opções para o fotovoltaico.....	57
Tabela 30 - Desempenho térmico da base (edifício de referência)	58

Tabela 31 – Medidas de reabilitação energética.....	62
Tabela 32 - Medidas de reabilitação energética (continuação)	63
Tabela 33 – Combinações de sistemas	65
Tabela 34 – Comparação da utilização de energias renováveis (variável com Ntc mais baixa)	73
Tabela 35 – Comparação das medidas de custo ótimo obtidas	77

Lista de abreviaturas

- A_i – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil
- AQS – Água Quente Sanitária
- A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior
- btr - Coeficiente de redução de perdas
- CO₂ – Dióxido de carbono
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia
- EPBD – *Energy Performance of Building Directive*
- EPS – Poliestireno expandido
- E_{ren} – Energia produzida a partir de fontes renováveis
- $E_{ren,ext}$ – Energia exportada a partir de fontes renováveis
- ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems
- Fg – Fração envidraçado de um envidraçado
- $g_{\perp vi}$ – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão
- GD – Graus Dia
- g_T – Fator solar global de um vão envidraçado
- $g_{Tm\acute{a}x}$ - Fator solar máximo admissível nos vãos envidraçados
- $g_{tvc, prot ext}$ – Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar exterior
- $g_{tvc, prot int}$ – Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar interior
- ICB - Aglomerado de cortiça expandida
- INE – Instituto Nacional de Estatística
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- Msi – Massa de cada elemento construtivo
- Nic - Necessidades nominais anuais globais de energia para aquecimento
- Ntc – Necessidades nominais anuais globais de energia primária
- NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
- Nvc – Necessidades nominais anuais globais de energia para arrefecimento
- nZEB – *nearly Zero Energy Building* (Edifício de necessidades quase nulas)
- PV – Painel fotovoltaico
- Qa - Energia útil para preparação da água quente sanitária

REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifício de Habitação

ST – Solar térmico

U - Coeficiente de transmissão térmica

Venu – Volume do espaço não útil

Wvm – Energia elétrica necessária ao funcionamento de ventiladores

XPS – Poliestireno extrudido

ZEB – *Zero Energy Building* (Edifício de necessidades nulas)

$\Theta_{\text{ext, v}}$ – Temperatura exterior média

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

O presente capítulo enquadra o tema da dissertação, contextualizando-a num cenário global da construção. São apresentados os objetivos da dissertação e a organização da mesma.

1.2. Enquadramento

O estudo do desempenho energético dos edifícios é essencial para a redução dos consumos de energia, que estão associados a emissões de gases de efeito de estufa, como o CO₂ (dióxido de carbono) (DGEG, 2013). As políticas ambientais começam a surgir no sentido de consciencializar a sociedade na redução da produção e consumo de energia, baixando consequentemente os níveis de CO₂.

A construção de edifícios novos é importante, no entanto reabilitar os existentes de forma a melhorar a sua eficiência promove a redução dos consumos energéticos. O parque habitacional existente tem potencial para travar o aumento do consumo de energia e de ajudar a poupar energia (Cóias e Fernandes, 2008).

Em 2002 foi publicada a Diretiva EPBD (*Energy Performance of Building Directive*), com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, contando com exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade económica. Nesta são estabelecidos requisitos para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação, certificação energética dos edifícios e inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos (Directiva 2002/91/CE, 2002). Esta publicação foi revista em 2010 e publicada como Diretiva 2010/31/UE (EPBD recast) com o objetivo de auxiliar a União Europeia no estabelecimento de requisitos mínimos no desempenho

energético de edifícios novos, existentes e frações autónomas novas e existentes (Directiva 2010/91/CE, 2010).

Neste âmbito, esta dissertação estuda cenários de reabilitação energética que tornem possível alcançar as metas da União Europeia, para um edifício existente, o caso de estudo integrado no projeto MORE-CONNECT. Este projeto ambiciona melhorar os custos associados a uma renovação no sentido de edifícios nZEB, mas também ajudar na comodidade dos ocupantes de um mesmo edifício aquando de uma grande renovação. O principal objetivo deste projeto é a produção em massa de elementos pré-fabricados para a aplicação em fachadas e coberturas de edifícios residenciais («MORE-CONNECT», 2016). Este conceito apresenta metas quantitativas seguindo a Diretiva 2010/31/UE (EPBD recast), apresentadas em seguida («MORE-CONNECT», 2016):

- Redução da energia primária em 80%, comparando com o consumo inicial;
- Utilização de linhas totalmente automatizadas para uma melhoria de 35% da relação custo de produção com o resultado final;
- Diminuição do esforço de trabalho no local para 10%;
- Tempo de instalação num máximo de 5 dias;
- Retorno do investimento da renovação em 8 anos;
- Custos de falhas na construção reduzidos para 5% em vez dos tradicionais 15 a 20%.

Este projeto integra projetos piloto (i.e., edifícios caso de estudo) em diferentes países. A seleção destes países teve como base a localização e as condições climáticas que apresentam ao longo do ano. Os locais piloto incluem o norte, centro e sul da Europa, como a Dinamarca passando pela Estónia, a República Checa, a Holanda e Portugal sendo este o objeto de estudo desta dissertação («MORE CONNECT», 2016).

1.3. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo a definição e estudo de diferentes cenários de reabilitação energética em alinhamento com a diretiva da Comissão Europeia a respeito do Desempenho Energético dos Edifícios (Diretiva 2010/31/EU - EPBD recast). Com este estudo pretende-se chegar a soluções de custo otimizado numa perspetiva de análise do ciclo de vida do edifício, definido na mesma diretiva, para um edifício residencial multifamiliar para que

posteriormente possam constituir soluções a replicar em outros edifícios existentes do parque habitacional português com características semelhantes. Os cenários propostos vão ao encontro das metas “20-20-20”, apresentando uma contribuição das energias renováveis de 20% e a uma redução de energia em 80%, tendo como base um edifício de referência, que deve ser representativo de parte do edificado existente.

1.4. Organização da dissertação

A dissertação está dividida em 6 capítulos, começando por uma introdução, seguida pelo estado de arte, metodologia, definição do caso de estudo, propostas de reabilitação energética e, finalmente as conclusões.

O primeiro capítulo vai integrar o tema específico da dissertação num termo mais geral. Neste capítulo também se definem os objetivos da dissertação e a forma como está organizada.

O segundo capítulo é referente à literatura existente sobre o tema, desde definições bases de energia e emissões de CO₂, passando pela reabilitação do parque existente, reabilitação energética como instrumento de redução dos consumos energéticos e, por final a otimização de custo em relação ao benefício aquando do uso de energias renováveis e outras soluções de reabilitação.

No terceiro capítulo é descrita toda a metodologia utilizada, tanto nos cálculos para a caracterização do edifício como para o estudo da rentabilidade económica das medidas de reabilitação.

Seguidamente, no quarto capítulo é apresentada a definição do caso de estudo, iniciando pela integração do caso de estudo no projeto MORE-CONNECT e a caracterização térmica e energética do mesmo.

O fundamental nesta dissertação é apresentado no capítulo cinco, sendo apresentados os cenários de reabilitação energética do caso de estudo. O estudo destes recai na redução de energia primária, na utilização de energias renováveis, numa análise económica e na exequibilidade para se atingir o nível ZEB.

Finalmente, o capítulo seis apresenta as conclusões gerais da presente dissertação e a sugestão para trabalhos futuros.

Capítulo 2. ESTADO DE ARTE

2.1. Introdução

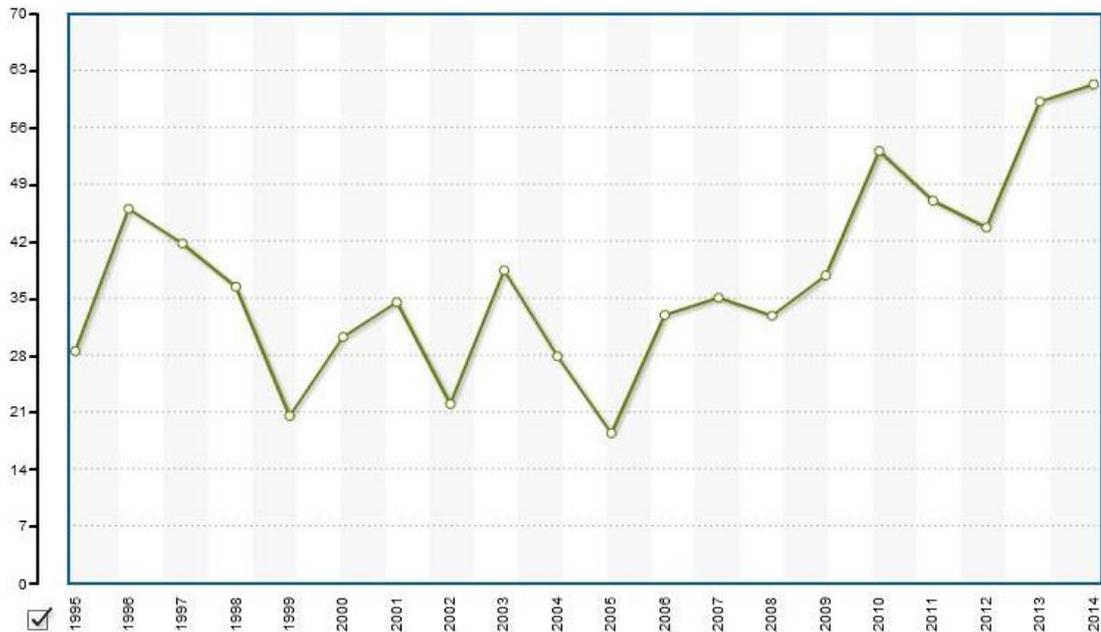
O presente capítulo apresenta os temas de utilização de energia e de reabilitação energética nos edifícios. Ao longo do mesmo vai ser desenvolvido o conceito de consumo energia até se perceber a necessidade de reabilitação energética, passando brevemente pela caracterização térmica dos edifícios. É também apresentado o conceito de níveis ótimos de rentabilidade para o desempenho energético de um edifício.

2.2. A utilização de energias renováveis

A energia é algo essencial na sociedade atual. O bem-estar e saúde da população bem como a prosperidade da economia dependem de uma energia segura, sustentável e a preço acessível. A UE (União Europeia) tem de enfrentar o desafio de orientar os seus sistemas energéticos numa via mais sustentável (Comissão Europeia, 2010).

Com questões sobre a energia, nomeadamente ligadas à escassez de petróleo e às alterações climáticas, surgem estudos técnicos, económicos e ambientais de empreendimentos de energia renovável. As fontes de energia renováveis são definidas como inesgotáveis e não alteram o balanço energético do planeta. As energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentada para que se obtenha o mínimo impacte para o meio ambiente. As energias renováveis são praticamente inesgotáveis, sendo assim, inclui-se nesta categoria a energia eólica, a biomassa, a energia solar e a energia hídrica (Pacheco, 2006).

Segundo dados do PORDATA, como se pode observar na Figura 1, Portugal utiliza a produção de energia renovável há um tempo considerável. Através do gráfico da Figura 1 é possível concluir que, em 2014, 60% da energia produzida em Portugal foi a partir de fontes renováveis. Apesar da tendência crescente registada desde 2008, entre 2010 e 2012 a produção decresceu devido a eventos climáticos que resultaram em seca extrema (DGEG, 2016).



*Figura 1 - Produção de energia elétrica em Portugal a partir de fontes renováveis (%)
(Fonte: PORDATA, 2016)*

A energia solar, ou seja, a energia proveniente do sol, pode ser utilizada em sistemas ativos para o aquecimento/arrefecimento do ambiente ou para a produção de eletricidade. Também pode ser utilizada em sistemas passivos como o aproveitamento da iluminação natural e a radiação para o aquecimento de ambientes interiores. Este tipo de energia depende não só dos avanços tecnológicos na matéria, mas também de técnicas de construção e arquitetura (Pacheco, 2006).

A energia hídrica é proveniente da energia cinética da massa das águas dos rios. É aproveitada através da instalação de centrais hidroelétricas ou mini-hídricas cujo impacto ambiental é menor (Pacheco, 2006).

A energia eólica é proveniente da energia cinética das massas de ar, devido ao aquecimento desigual da superfície da terra. Os sistemas de produção de energia eólica têm sofrido variadas atualizações e são já potências de produção de energia valorizadas em grande parte do planeta e também a nível nacional (Pacheco, 2006).

A biomassa é a energia química produzida pelas plantas através da fotossíntese e armazenada sob a forma de hidratos de carbono. O tipo de combustível utilizado pode ser sob a sua forma bruta ou de derivados como são exemplos a madeira, produtos agrícolas, resíduos florestais, excrementos de animais, carvão vegetal, óleos animais ou vegetais ou biogás (Pacheco, 2006).

A Figura 2 apresenta a produção de energias renováveis por fonte em Portugal, onde é indicada a contribuição total de cada fonte renovável para a produção de energia renovável no país. As fontes que mais contribuem para a produção de energia renovável são a eólica e a hídrica. A energia eólica teve em 2014 uma contribuição de 24% no total de 63% de energia renovável, onde a hídrica representou 32% (e2p, 2014). Estes números colocam Portugal como o terceiro país da Europa com maior incorporação de energias renováveis na produção de energia elétrica (DGEG, 2016).

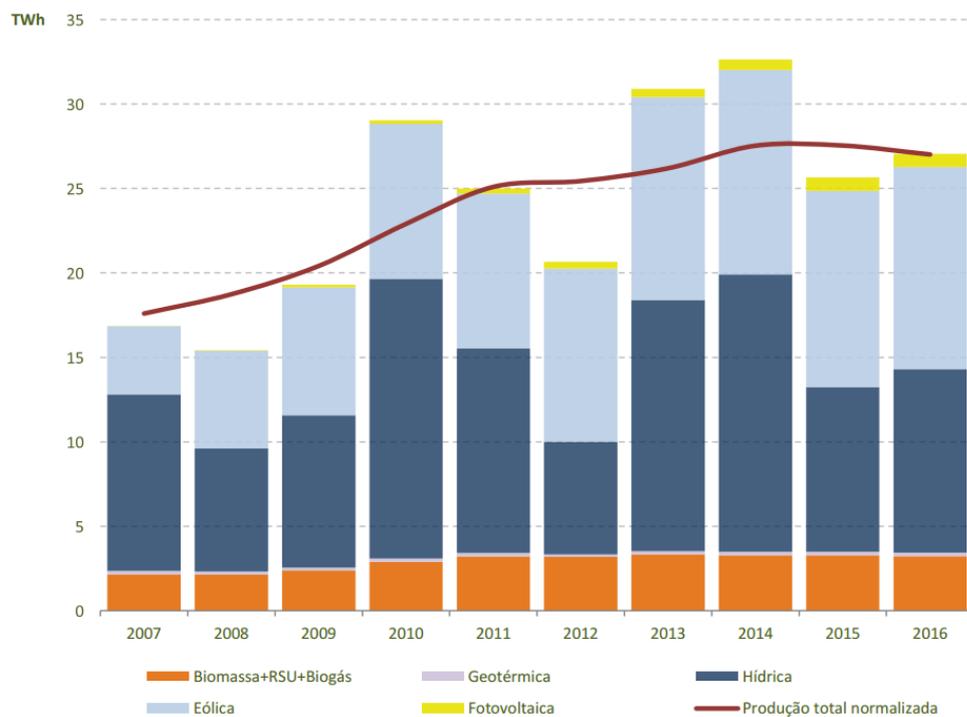


Figura 2 - Produção de energias renováveis por fonte renovável (Fonte: DGEG, 2016)

A tecnologia com maior crescimento nos últimos anos, em potência instalada foi a eólica, e o sistema de produção que apresentou maiores avanços tecnológicos foi a energia solar fotovoltaica (DGEG, 2016).

É possível ver distintamente na Figura 3, que caracteriza a utilização de energias renováveis por mês no ano de 2015 e no primeiro mês de 2016, que a energia hídrica sofreu um considerável aumento em 2016, provavelmente devido ao aumento da construção de pequenas centrais hídricas (DGEG, 2016).

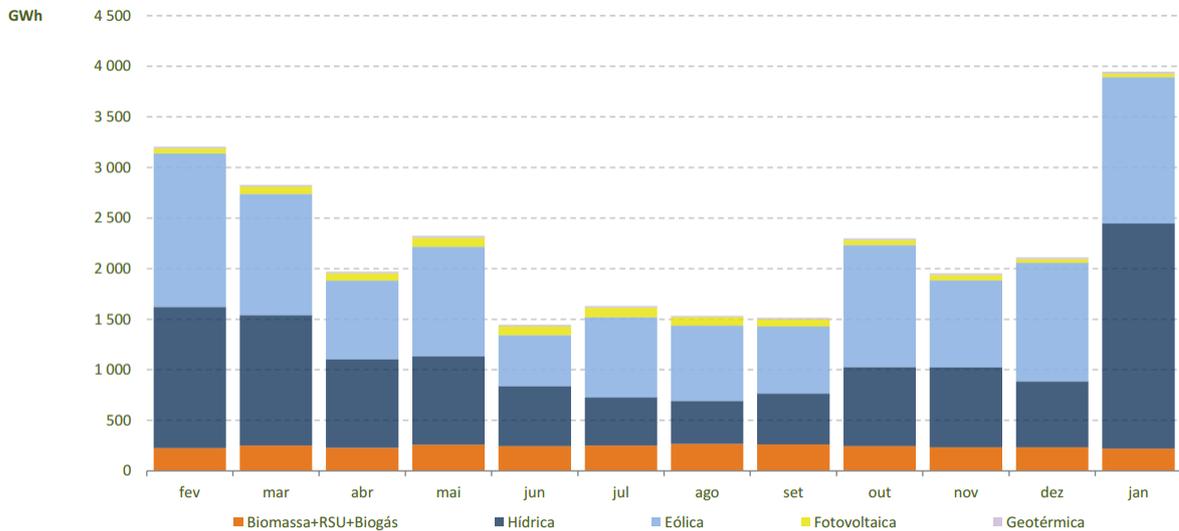


Figura 3 - Utilização de energia renováveis em 2015 (Fonte: DGEG,2016)

Relativamente ao consumo de energia em Portugal, a Figura 4 mostra a utilização de energia por sector, em 2014. Pode concluir-se que a grande percentagem de utilização de energia se distribui pelo consumo doméstico («PORDATA», 2014).

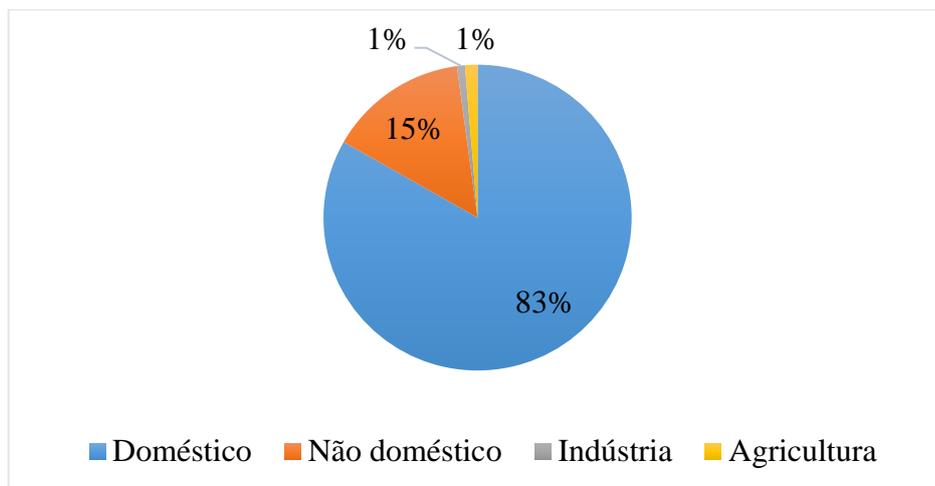


Figura 4 - Consumo de energia total por uso para 2014 (%) (Fonte: PORDATA,2016)

O consumo doméstico de energia está intimamente ligado à construção, devido ao facto de parte da energia utilizada pelos ocupantes das habitações ser para o controlo de temperatura ambiente (aquecimento:9% e arrefecimento: 2%), da temperatura das águas quentes sanitárias (2%), uso de equipamentos de entretenimento e informática (33%), iluminação (14%) e equipamentos de cozinha (41%) (INE, 2010).

O sector dos edifícios consome grande parte da energia global e consequentemente contribui para as elevadas emissões de gases de efeito de estufa. A mitigação deste efeito, que é um grande contributo para as alterações climáticas, pode incluir a reabilitação de edifícios existentes, uma vez que a atuação apenas em edificadros novos levaria demasiado tempo até se obterem impactos relevantes (Almeida, Ferreira, and Rodrigues, 2011).

2.3. Reabilitação energética

A reabilitação energética tem o objetivo de reduzir o consumo de energia dos edifícios e reduzir as emissões de dióxido de carbono associadas à sua operação ao longo do seu ciclo de vida. Estes resultados são atingidos quando se reduzem as necessidades energéticas do edifício através da melhoria térmica da envolvente, do aumento da eficiência dos sistemas de produção ou distribuição de energia e da substituição parcial ou total das fontes energéticas (Mestre, Iten e Almeida. 2016).

Quando se fala de reabilitação energética é impossível não incluir a reabilitação da envolvente dado que uma parte considerável das perdas se dá pela envolvente do edifício. Uma intervenção na envolvente do edifício tem o objetivo de minorar as trocas de energia entre o interior e o exterior, com especial atenção às pontes térmicas e às infiltrações de ar (Ionescu et al., 2015).

Associado à qualidade da envolvente dos edifícios existe ainda o restante consumo energético de uma habitação, ligado a equipamentos e sistemas de climatização e aquecimento de águas quentes sanitárias. No sentido de diminuir estes consumos é então necessário proceder a uma reabilitação energética, uma vez que esta permite intervenções no sentido de três melhorias: redução do consumo energético, maior eficiência e produção de energia renovável no local. A construção pode ser feita a partir do existente, se houver ousadia no futuro (Comissão

Europeia, 2010), a reabilitação energética vai ter ação a três níveis, diminuir os consumos de energia, intervindo no parque habitacional já existente, diminuir as emissões dos gases de efeito de estufa e diminuir a dependência energética de alguns países Europeus (Guimarães, 2015).

2.3.1. Desempenho energético dos edifícios

A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, introduziu requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios existentes e a construir, no sentido de garantir um melhor aproveitamento dos recursos energéticos. Estes requisitos não são iguais para todos os edifícios, mas são especificados para diferentes localizações, tipo do edifício, condições climáticas e locais, e também a qualidade do ambiente interior e a rentabilidade económica.

Em 2010 esta Diretiva foi revista e atualizada no sentido de simplificar, clarificar e reforçar determinadas disposições, tendo sido publicada a Diretiva 2010/31/UE (EPBD recast). A Diretiva reconhece que os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia e que é necessário aplicar medidas para que o custo operacional associado a este consumo seja reduzido, garantindo que o conforto dos utilizadores não seja afetado e a eficiência energética aumente (Nogueira, 2014).

A Diretiva tem também o objetivo de contribuir para a redução das emissões dos gases de efeito de estufa e para atingir as metas “20-20-20” para 2020 da União Europeia definidas em 2007 (Comissão Europeia, 2010). Um dos objetivos desta estratégia é a redução das emissões dos gases de efeito de estufa em 20% em comparação com 1990. A utilização de energias renováveis deve aumentar em 20% e é esperada uma melhoria na eficiência energética de 20%.

O Conselho Europeu também assumiu outro compromisso com um prazo mais longo, onde pretende diminuir as emissões de dióxido de carbono em 80% a 95% até 2050 (Comissão Europeia, 2010).

Apesar de todas estas metas serem realistas, são necessários, a curto prazo, instrumentos a nível legal e de legislação para que os objetivos propostos possam ser atingidos. É necessário

um regulamento claro de requisitos mínimos e máximos para que se possam efetuar estudos rápidos e eficientes para não causar transtorno aos utilizadores dos edifícios em causa. Esta legislação deve também ser a mais generalizada possível (Almeida, 2012). Na atualização da Diretiva 2002/91/CE é introduzido o conceito de nZEB (nearly Zero Energy Building – Edifício com necessidades quase nulas de energia) para edifícios que usam uma grande quantidade de energia produzida a partir de fontes renováveis e apresentam um balanço quase zero no consumo de energia (Ionescu et al., 2015).

2.3.2. Edifícios nZEB

O conceito de edifício nZEB surge com a atualização da Diretiva 2002/91/CE e prevê que até 2020, para todos os edifícios novos, e até 2018, para todos os edifícios públicos, sejam nZEB (Barthelmes et al., 2015). Um edifício nZEB é um edifício que apresenta baixas necessidades energéticas, que devem ser asseguradas, sempre que possível, através de energias renováveis produzidas no local ou nas proximidades.

As reduzidas necessidades energéticas podem ser conseguidas através da melhoria da envolvente ou da utilização de equipamentos eficientes. De notar que este conceito precisa de um grande investimento para equipamentos de elevada eficiência e para a produção e utilização das energias renováveis. O design para nZEB ainda não é favorável em termos de custos, mas é sabido que melhorar o desempenho energético de um edifício vai trazer vantagens no combate às alterações climáticas e aos objetivos europeus para a poupança de energia (Ferrara et al., 2014).

É complicado aplicar esta noção ao parque edificado existente, pois é preciso que a relação custo/benefício seja atrativa o suficiente para que os utilizadores de uma habitação estejam dispostos a investir na reabilitação energética do mesmo (Barthelmes et al., 2015). Este conceito ainda não tem metas específicas, mas cada Estado-Membro tem de desenvolver estratégias e tentar identificar as metas para aumentar número de nZEBs resultantes de reabilitações a edifícios existentes (Mestre, Iten e Almeida. 2016), um exemplo disso é Portugal que ainda não definiu limites quantitativos para nZEB.

A Comissão Europeia estabeleceu uma metodologia para a determinação de níveis de rentabilidade económica, onde relaciona a energia consumida por um edifício com uma

determinada solução de reabilitação, bem como o seu respetivo custo ao longo do seu ciclo de vida.

2.4. Níveis ótimos de rentabilidade

Para se chegar a uma conclusão sobre o custo ótimo é necessário perceber a correlação entre custo e benefício, onde são considerados benefícios a nível ambiental e também de conforto do utilizador sem que o consumidor final tenha gastos muitos elevados. Esta relação está intimamente ligada a níveis ótimos de rentabilidade (Almeida, Ferreira e Rodrigues 2011). A metodologia de custo ótimo permite identificar a energia primária que leva a um custo mais baixo no ciclo de vida do edifício. Esta metodologia representa o primeiro passo para a obtenção de nZEB no edificado (Barthelmes et al., 2015).

Esta análise pode ser feita através de duas perspetivas, por um lado a perspetiva social ou macroeconómica, e por outro a privada ou microeconómica. A social tem preocupações ao nível do efeito do consumo das energias fósseis e ao seu ataque ao ambiente e à saúde e quanto à eliminação dos recursos não renováveis. Quanto à perspetiva privada, esta está relacionada com os aspetos financeiros da análise na perspetiva dos investidores e/ou donos dos edifícios (Ferreira e Almeida, 2015).

Existe uma metodologia simplificada que permite determinar as soluções de custo ótimo de um determinado edifício. Inicialmente é necessário definir um edifício de referência. De seguida é feita uma seleção das medidas de reabilitação em que se consideram as mais apropriadas ao estado do edifício e aos objetivos finais que se desejam atingir. Para cada grupo de medidas de reabilitação são calculados os consumos de energia primária não renovável e os custos globais associados. Com base nesses resultados, é possível fazer uma análise de sensibilidade no sentido de se determinar a solução ótima. Para a determinação do nível ótimo de rentabilidade, depois de definida cada solução de reabilitação, é definido para cada um o custo de investimento, a utilização da energia primária e o custo de exploração a 30 anos.

Com toda a informação reunida é construído um gráfico, como o da Figura 5, que relaciona os custos relacionados com a operação do edifício e as necessidades de energia primária para

cada solução. Na Figura 5 é possível observar com clareza quais as soluções mais vantajosas em termos de custos e de desempenho energético (Ferreira e Almeida, 2015).

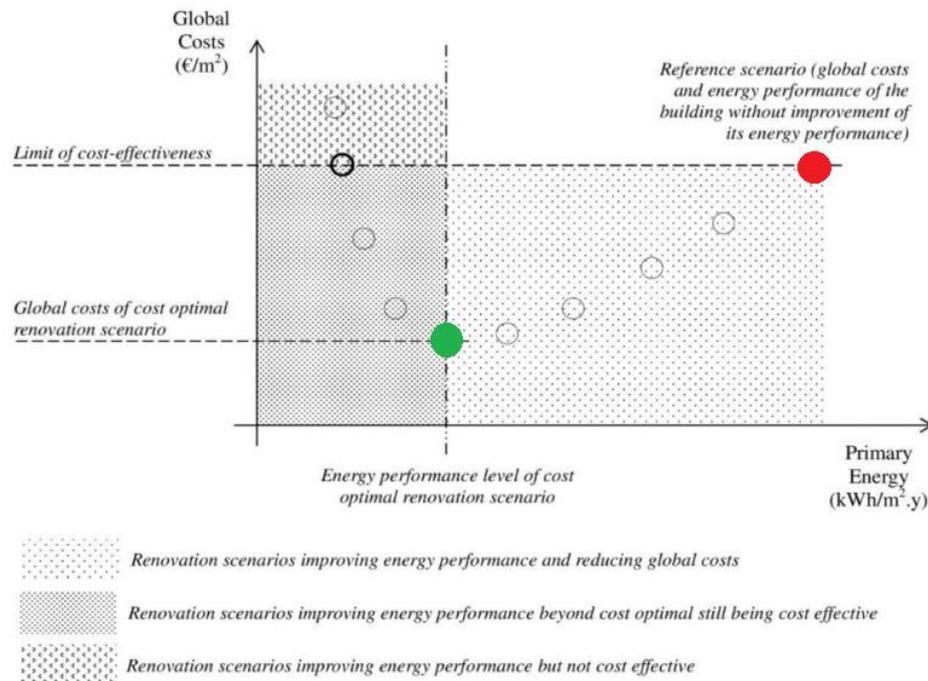


Figura 5 – Evolução do custo ótimo com os cenários de reabilitação (Ferreira e Almeida, 2015)

A divisão de três zonas na Figura 5 é perceptível e é possível colocar os cenários de reabilitação em três níveis distintos:

- Melhoria no desempenho energético e redução dos custos globais (zona abaixo do custo do cenário de referência, mas com um consumo de energia primária pior que a da variável do custo ótimo);
- Melhoria no desempenho energético além do custo ótimo, continuando como uma opção viável quanto à análise do custo (zona abaixo do limite de rentabilidade económica, mas que apresenta uma melhoria no consumo de energia primária para além da solução de custo ótimo);
- Melhoria no desempenho energético, mas que não traz qualquer vantagem quanto ao custo (zona acima do limite de rentabilidade económica).

Para a divisão destas zonas é tido em conta os valores do edifício de referência e os valores estudados para cada solução de reabilitação, que vão dar origem a um conjunto de pontos. O cenário de referência (ponto vermelho) é o limite para o qual o custo se torna viável, porque acima deste os cenários podem ser considerados inaceitáveis pois trazem vantagens apenas no desempenho energético, que provavelmente podem ser conseguidas com outras soluções de reabilitação com custos mais baixos (Ferreira e Almeida, 2015). O ponto verde é representativo do cenário ótimo de reabilitação, pois é o cenário que conduz aos menores custos, numa perspetiva de ciclo de vida, e o que está associado a um nível de energia primária reduzido quando comparado com o do edifício de referência (Ferreira e Almeida, 2015).

Esta curva pode ser alterada por diferentes parâmetros, tanto pela arquitetura e geometria do edifício, os sistemas técnicos, o preço da energia, a taxa aplicada ao investimento e os custos de investimento (Congedo et al., 2015). Congedo (2015) apresenta a Figura 6 no sentido de relacionar nZEB e custo ótimo. O objetivo é chegar a um ponto dentro da zona nZEB e se possível abaixo do limite do ponto A (solução de custo ótimo), sendo assim possível atingir as metas definidas pela União Europeia.

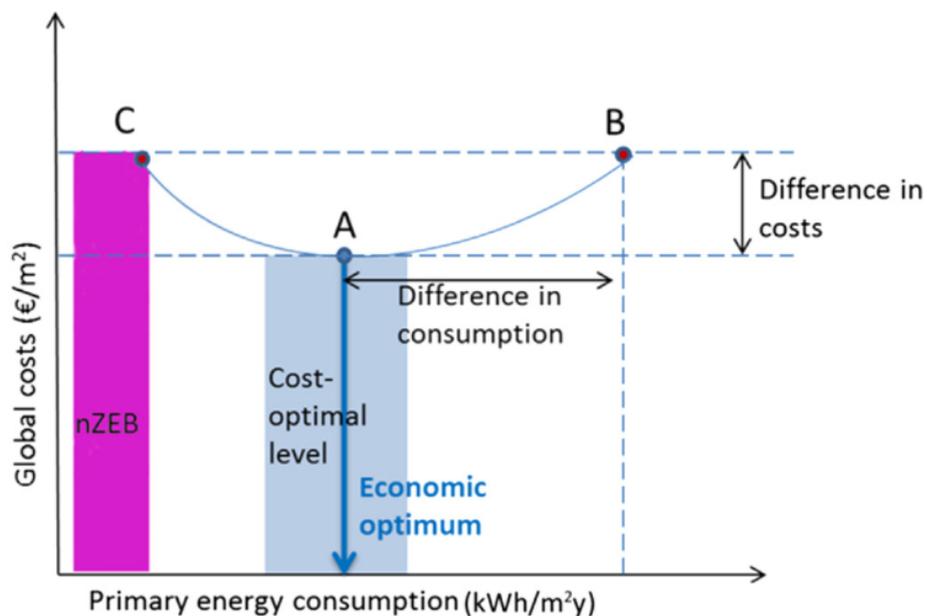


Figura 6 -Relação nZEB e custo ótimo (Congedo et al., 2015)

O principal desafio desta metodologia é garantir que as medidas com impacto na energia primária do edifício são consideradas, mas deixar que o cálculo seja flexível quando são aplicadas diferentes variáveis ao edifício de referência. A Comissão Europeia considera que o número de variantes num estudo destes, e aplicáveis a cada solução de reabilitação, não deve ser menor que 10.

2.5. Conclusão

Devido à maior consciencialização sobre as alterações climáticas, foram tomadas algumas medidas que visam reduzir os consumos de energia e em especial as emissões de carbono. Estas medidas têm levado a uma maior utilização de energias renováveis, não só para reduzir o consumo de energia de origem não renovável, mas também para tentar reduzir o seu impacto no meio ambiente. A reabilitação energética surge no sentido de diminuir os impactos no ambiente intervindo no edificado existente. O conceito de nZEB vai trazer vantagens não só na diminuição do consumo de energia, mas na aplicação de energias renováveis. Por fim, a análise de custos é um desafio, mas apresenta resultados satisfatórios nos estudos da redução da emissão dos gases de efeito de estufa e no seu impacto a nível ambiental, assim como em todos os custos associados a este impacto e ao investimento, manutenção e funcionamento de um edifício energeticamente sustentável.

Capítulo 3. METODOLOGIA

3.1. Introdução

O capítulo da metodologia diz respeito ao procedimento que é adotado para o desenrolar deste estudo nomeadamente nos cálculos desenvolvidos neste trabalho e para a obtenção dos resultados, e que são descritos nos capítulos seguintes. Inicialmente, é necessário conhecer a situação atual do edifício em estudo. Desta forma, o presente capítulo descreve a metodologia do REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) que é adotada para a avaliação das necessidades energéticas do edifício. Esta baseia-se no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e nos seus diferentes despachos. Em seguida são apresentados os procedimentos adotados para avaliação dos níveis ótimos de rentabilidade bem como para a obtenção das soluções de custo ótimo.

3.2. Descrição dos métodos a utilizar

3.2.1. Obtenção das necessidades energéticas

De forma a estabelecer o zoneamento climático associado ao edifício, começa-se por identificar os parâmetros climáticos através da consulta do Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Neste é observado o município onde se encontra o edifício. Para estas determinações é necessário o cálculo de alguns parâmetros climáticos, que pelo despacho acima mencionado são obtidos pela Equação (1) (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).

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

Onde:

X – Valores dos parâmetros climáticos associados a um determinado local

X_{REF} – Valores de referência para cada NUTS III (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III)

a – Declive

z – Altitude do local (m)

z_{REF} – Altitude de referência (m)

O Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 refere o cálculo de determinados parâmetros para a estação de arrefecimento e para a de aquecimento. Estes parâmetros são facilmente obtidos com ajuda dos valores de referência e ajustes em altitude para a estação de aquecimento e arrefecimento. Na definição das zonas climáticas foram consultadas as tabelas referentes à zona climática de inverno e à zona climática de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).

Segundo o Despacho (extrato) n.º15793-K/2013, as perdas de calor por transmissão entre espaços com temperatura ambiente diferente do ar exterior são afetadas pelo coeficiente de redução de perdas (b_{tr}). Na presente dissertação não foi possível determinar as temperaturas, dado o acesso reservado a alguns espaços não-úteis. Desta forma foi utilizado o Despacho (extrato) n.º15793-K/2013 para o cálculo (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013). É importante referir que para espaços fortemente ventilados este coeficiente equivale a 1 e quando se fala de um edifício adjacente este toma o valor de 0.6, segundo o Despacho (extrato) n.º15793-E/2013. Na Tabela 1 são apresentadas as condições para definir a envolvente pelo valor de b_{tr} (Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013).

Tabela 1 - Definição da envolvente através do b_{tr} (Despacho (extrato) n.º15793-E/2013)

$b_{tr}>0.7$	Envolvente interior com requisitos de exterior
$b_{tr}\leq 0.7$	Envolvente interior com requisitos de interior

O valor do coeficiente de transmissão térmica (U) caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes que este separa, apresentado no Despacho (extrato) n.º15793-K/2013. Na presente dissertação o U foi inicialmente calculado através da Equação (2) (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (2)$$

Onde:

R_j – Resistência térmica da camada j ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_{si} – Resistência térmica interior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_{se} – Resistência térmica exterior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

As resistências térmicas, interior e exterior, possuem valores tabelados no Despacho (extrato) nº15793-K/2013 (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013). Para se obter o valor das mesmas é necessário saber qual é o elemento construtivo para que seja possível perceber qual o sentido do fluxo de calor. Para o cálculo da resistência térmica de uma determinada camada é preciso saber a espessura da mesma e o coeficiente de condutibilidade térmica, e o valor é a razão entre os dois. Neste estudo foi utilizado o ITE50 (Santos e Matias, 2006) para a determinação dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente do edifício. Este documento apresenta, sob forma tabular, valores convencionais de condutibilidades térmicas de materiais, resistências térmicas superficiais e coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes da envolvente opaca e envidraçada dos edifícios (Santos e Matias, 2006).

Uma ponte térmica plana é uma heterogeneidade inserida numa zona corrente da envolvente exterior ou interior em contacto com espaços não úteis, por exemplo pilares, vigas e caixas de estore. O seu cálculo depende do coeficiente de transmissão térmica por unidade de área de superfície.

A inércia térmica contabiliza a massa de cada elemento construtivo (M_{si}), e esta depende da massa de cada camada desse elemento. A massa contabilizada tem, no entanto, limites impostos pelo Despacho (extrato) nº15793-K/2013 (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013). Os elementos construtivos são divididos em três tipos:

- EL1 – Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- EL2 – Elementos em contacto com o solo;
- EL3 – Elementos de compartimentação interior da fração autónoma.

Os valores das massas são limitados pelo tipo de elemento construtivos e são encontradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores limites das massas pelo tipo de elemento construtivo (Despacho (extrato) nº15793-K/2013)

	M_{si} (Kg/m²)
EL1	<150
EL2	<150
EL3	<300

Na quantificação de inércia térmica é necessária a utilização de um fator de redução da massa superficial (r), que depende da resistência térmica superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa-de-ar associada, este fator encontra-se tabelado no Despacho (extrato) nº15793-E/2013 (Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013). A inércia térmica é obtida através da Equação (3).

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} * r * S_i}{A_p} \quad (3)$$

Onde:

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i (Kg/m^2)

r – Fator de redução da massa superficial útil

S_i – Área da superfície interior do elemento i (m^2)

A_p – Área interior útil de pavimento (m^2)

A classe da inércia é obtida através da Tabela 3, transposta do Despacho (extrato) nº15793-K/2013 (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

Tabela 3 - Classes de inércia térmica (Despacho (extrato) nº15793-K/2013)

Classe da inércia térmica	I_t
Fraca	<150
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	>400

A determinação do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ) foi feita através dos valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares Ψ do Despacho (extrato) nº15793-K/2013. Visto que Despacho (extrato) nº15793-K/2013 não apresenta soluções sem isolamento no elemento construtivo, foram utilizados os valores mais desfavoráveis (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

Dada a impossibilidade de medir o fator solar do vidro aplicado a um vão envidraçado com uma incidência solar normal à superfície pelo fabricante, foram considerados os valores constantes no Despacho (extrato) nº15793-K/2013 ($g_{\perp, vi}$ – fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão) (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013). No Despacho

(extrato) nº15793-K/2013 é também possível obter os valores tabelados do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar permanente ou móvel totalmente ativado, para vidros duplos ou simples (g_{Tvc} – fator solar de vãos envidraçados) (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

É necessário conhecer também o fator solar global de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas (g_T). Para verificação regulamentar é necessário consultar a Portaria nº349B/2013 (Capítulo 2.3) (Diário da República N.º232), onde consta o limite do $g_{T, máx}$ segundo a classe de inércia do edifício e a zona climática de verão a ele associado.

Para ser possível o cálculo do fator solar para cada estação é necessário em primeiro lugar a definição do fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (F_w). No caso das necessidades nominais de aquecimento corresponde a 0.9, segundo o Despacho (extrato) nº15793-K-2013. Nas necessidades nominais de arrefecimento este fator é obtido conforme a orientação do envidraçado (Despacho (extrato) nº15793-K/2013). O fator solar da estação de aquecimento considera que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente abertos, isto acontece para maximizar o aproveitamento da radiação solar (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

3.2.1.1. Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício é obtido através da Equação (4), que também se encontra no Despacho (extrato) nº15793-I/2013 (Despacho (extrato) nº15793-I/2013).

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \quad (4)$$

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 dos 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).

3.2.1.2. Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de um edifício é obtido através da Equação (5) (Despacho (extrato) nº 15793-I/2013).

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) * Q_{g,v}}{A_p} \quad (5)$$

Onde:

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 (m²)

3.2.1.3. Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária

As necessidades nominais de energia primária de um edifício de habitação correspondem ao somatório das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os usos, o aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, ventilação mecânica e dedução da contribuição de energias renováveis e segue a Equação (6) (Despacho (extrato) nº 15793-I/2013).

$$\begin{aligned} N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} * N_{ic}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} * \delta * N_{vc}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} \\ & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} * \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} * F_{pu,j} \\ & - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} * F_{pu,p} \end{aligned} \quad (6)$$

Em que:

f_{ik} – Parcelas das necessidades de energia útil para aquecimento suprimidas pelo sistema k

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

η_k – Eficiência do sistema k

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária (kWh_{EP}/kWh)

f_{vk} – Parcelas das necessidades de energia útil para arrefecimento suprimidas pelo sistema k
 δ – Igual a 1, exceto quando o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo valor de referência que toma o valor de 0

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

$f_{a,k}$ – Parcelas das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k (kWh/ano)

A_p – Área interior útil do pavimento (m²)

W_{vm} – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de energia renovável p (kWh/ano)

j – Todas as Fontes de energia incluindo as renováveis

p – Fontes de energia renovável

Através da Equação (7) é possível calcular a energia útil de preparação de AQS (Despacho (extrato) nº 15793-I/2013).

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} * 4187 * \Delta T * n_d)}{3600000} \quad (7)$$

Sendo que:

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência (litros)

ΔT – Aumento de temperatura necessária para a preparação de AQS e que toma o valor de referência de 35°C (Despacho (extrato) nº15793-I/2013)

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS, que se considera 365 dias

A ventilação mecânica é representada pela sigla W_{vm} e caracteriza o consumo de energia elétrica de funcionamento de ventiladores com funcionamento contínuo e é obtida pela Equação (8) (Despacho (extrato) nº 15793-I/2013).

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} * \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} * \frac{H_f}{1000} \quad (8)$$

Onde:

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador (m³/h)

ΔP – Diferença de pressão total (Pa)

η_{tot} – Rendimento total de funcionamento do ventilador

H_f – Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano (h). Por defeito é considerado o funcionamento dos ventiladores durante 24 horas/dia.

3.2.1.4. Determinação da Classe Energética

Para a definição da classe energética é necessário determinar o rácio da classe energética (R_{Nt}) descrito na Equação (9) (Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013) (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (9)$$

Onde:

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh/m².ano]

N_t – Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária [kWh/m².ano].

As classes energéticas estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Classe energética associada a um edifício (Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013)

Classe Energética	R_{Nt}
A+	$\leq 0,25$
A	$0,26 \leq R \leq 0,5$
B	$0,51 \leq R \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R \leq 1$
C	$1,01 \leq R \leq 1,5$
D	$1,51 \leq R \leq 2$
E	$2,01 \leq R \leq 2,5$
F	$\geq 2,51$

3.2.2. Metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade

A metodologia de otimização de rentabilidade segue os passos que se encontram explicitados na Figura 7 (*Jornal Oficial da União Europeia*, 2012).

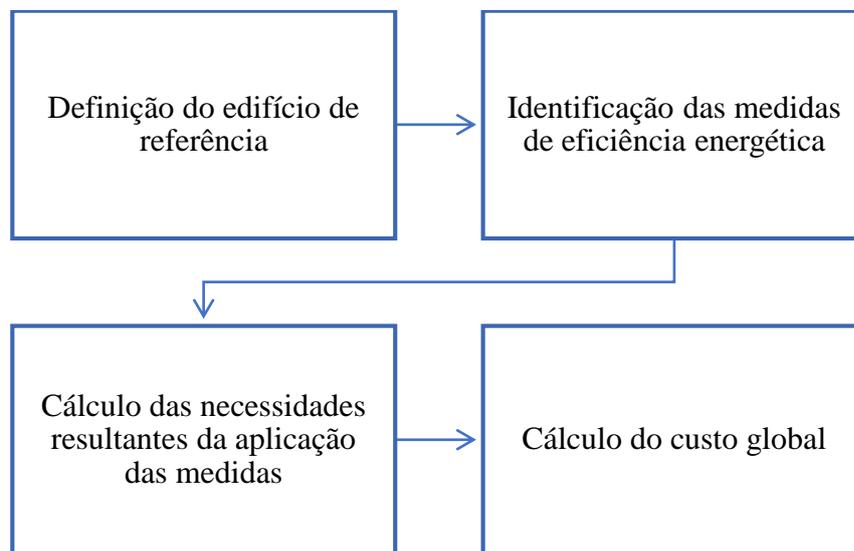


Figura 7 – Quadro metodológico de otimização de rentabilidade

De acordo com a legislação Europeia, é exigido aos Estados-Membros que definam edifícios de referência, de modo a representar o parque edificado típico do mesmo. Os edifícios de referência estabelecidos devem representar com a maior precisão possível o parque imobiliário para que os resultados da aplicação da metodologia sejam representativos.

Como observado na Figura 7, depois de definido o edifício de referência (secção 3.2.1) é necessário estabelecer as medidas de melhoria de eficiência energética. As medidas de eficiência energética são definidas em relação a todos os parâmetros que têm impacte direto ou indireto no desempenho energético do edifício. Os diferentes pacotes de medidas de melhoria têm uma interação que pode ser resumida e observada na Figura 8. Iniciando pela intervenção da envolvente opaca e envidraçada, onde é necessária uma análise de medidas isoladas e outras conjuntas. A estas medidas vão ser acrescentados diferentes sistemas técnicos, a sua dimensão e eficiência podem ser afetadas pelas medidas da envolvente. Finalmente, são adicionadas as energias renováveis, com base nas medidas anteriores e nos objetivos de redução de consumos de energia do edifício.

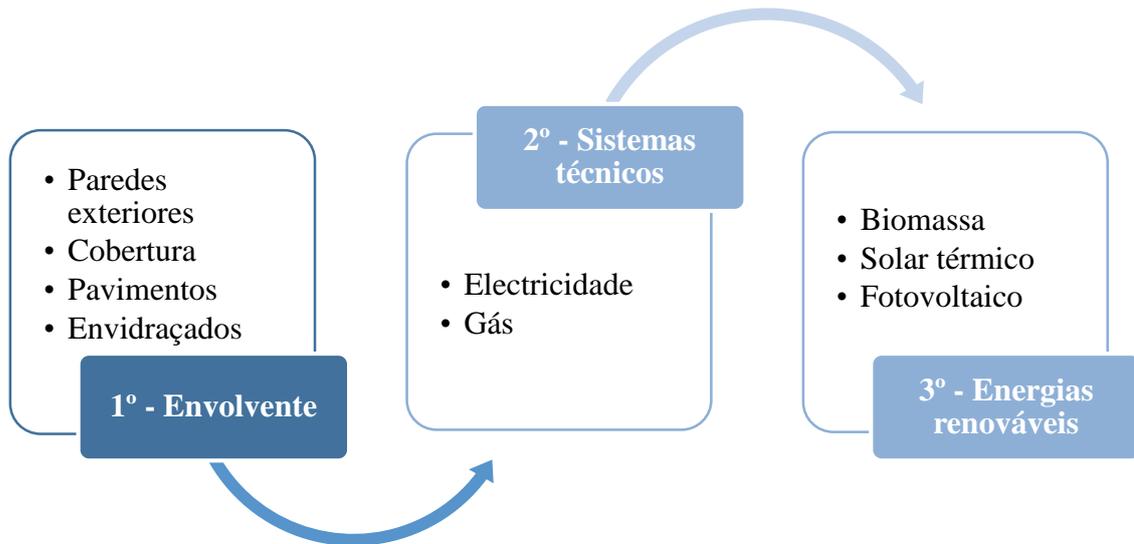


Figura 8 – Interação das diferentes medidas de melhoria

As necessidades de energia primária são obtidas segundo a metodologia do REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação). Em primeiro lugar calculam-se as necessidades de aquecimento, arrefecimento e para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) quando é alterada a envolvente do edifício. Em seguida são obtidas estas necessidades para os usos domésticos e subtraídas as energias renováveis. As necessidades de energia primária são calculadas com recurso a fatores de conversão de energia primária. O Despacho (extrato) 15793-D/2013 indica que para eletricidade, independente da origem, o fator de conversão corresponde a 2.5 kWh_{EP}/kWh e para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis corresponde a 1 kWh_{EP}/kWh (Despacho (extrato) nº 15793-D/2013).

3.2.3. Cálculo do custo global

A Figura 9 apresenta a categorização dos custos, segundo o Regulamento Delegado (EU) Nº244/2012 da Comissão de 16 de janeiro de 2012 (Jornal Oficial da União Europeia, 2012). Os diferentes custos associados ao custo total diferem de várias formas. Os custos de investimento inicial, como o nome indica são os custos associados ao valor monetário despendido inicialmente. O custo anual inclui custos relacionados com a utilização do edifício em termos energéticos resultantes da aplicação das medidas de reabilitação selecionadas e a substituição periódica das mesmas, quando for o caso. E numa perspetiva macroeconómica, surgem os custos associados às emissões dos gases com efeito de estufa. Estes custos refletem

os custos de exploração quantificados, deduzidos do CO₂ decorrente das emissões de gases com efeito de estufa ao longo do período de cálculo.

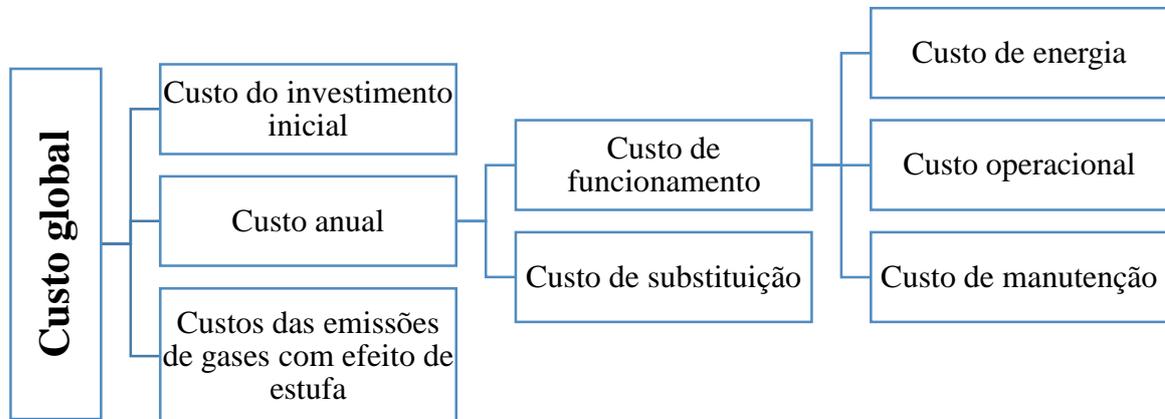


Figura 9 – Categorização dos custos de acordo com o quadro metodológico

As previsões da evolução do preço da energia foram valores previstos nos cenários Roadmap 2050 (The European Climate Foundation, 2010) para os custos de eletricidade e os custos de gás foram propostos pela IEA Energy Outlook (IEA, 2011). Para a biomassa é calculada uma evolução de um aumento de 3% ao ano, esta percentagem foi obtida com base em pesquisas de mercado.

Os custos relativos a cada medida de melhoria foram obtidos através do software Gerador de Preços Cype®, onde estão incluídos custos de investimento, mão-de-obra e de manutenção («Gerador de preços.Portugal», 2016). Para os sistemas é necessário recorrer à Norma EN 15459: 2006 (E) de forma a identificar os tempos de vida útil de cada sistema e que se encontram listados na Tabela 5 (Technical Committee CEN/TC 228 «Heating Systems for Buildings», 2006).

Tabela 5 - Tempo de vida útil dos sistemas utilizados

Sistema	Tempo de vida útil
Esquentador	
Radiador	
AC	
Bomba de calor	
Termoacumulador	20 anos
Caldeira a gás	
Caldeira a biomassa	
Solar térmico	
Painel fotovoltaico	
Fan coil	15 anos

Os custos globais respeitantes aos edifícios e aos seus componentes são calculados pela soma dos vários custos, aos quais se aplica uma taxa de desconto através de um fator de desconto. Estes custos podem ser obtidos através da Equação 10, para a perspetiva privada («Regulamento Delegado (UE) n° 244/2012 da Comissão de 16 de janeiro de 2012», 2012).

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^r (C_{a,i}(j) * R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (10)$$

Em que:

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

τ – Período de cálculo

C_I – Custo de investimento inicial para a medida j

$C_{a,i}(j)$ – Custo anual no ano i para a medida j

$R_{(d)}(i)$ – Fator de desconto para o ano i, com base na taxa de desconto r e p número de anos $[(1/(1+r/100))^p]$

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

Para a perspetiva macroeconómica (social) é utilizada a Equação 11 («Regulamento Delegado (UE) n° 244/2012 da Comissão de 16 de janeiro de 2012», 2012).

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

Em que:

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

τ – Período de cálculo

C_I – Custo de investimento inicial para a medida j

$C_{a,i}(j)$ – Custo anual no ano i para a medida j

$R_{(d)}(i)$ – Fator de desconto para o ano i, com base na taxa de desconto r e p número de anos $[(1/(1+r/100))^p]$

$C_{c,i}(j)$ – Custo do carbono para a medida j durante o ano i

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

O Regulamento Delegado n° 244/2012 afirma que na perspetiva social se deve utilizar uma taxa de desconto entre 2% e 4%, sendo que no presente estudo foi utilizada uma taxa de desconto de 3% (*Jornal Oficial da União Europeia*, 2012). No entanto, numa perspetiva privada deve assumir-se uma taxa superior a 4% para refletir uma abordagem comercial (*Jornal Oficial da União Europeia*, 2012). Desta forma, no estudo para o custo ótimo considerou-se uma taxa de desconto de 6% para a perspetiva privada (*Jornal Oficial da União Europeia*, 2012).

3.2.4. Determinação do nível ótimo de rentabilidade

Através das ferramentas listadas acima é possível a elaboração de gráficos que relacionam a utilização da energia primária (eixo X) com os custos globais (eixo Y) das diferentes variáveis em estudo. O conjunto de medidas selecionado define uma curva de custos específica sendo assim possível determinar o intervalo de rentabilidade ótima. Do exemplo apresentado na

Figura 8, é possível identificar o intervalo ótimo de rentabilidade e que se encontra entre a “medida” 2 e a “medida” 4. O custo mais baixo corresponde à “medida” 3, contudo o nível ótimo de rentabilidade corresponde a pacotes que utilizem menos energia primária por um custo mais baixo.

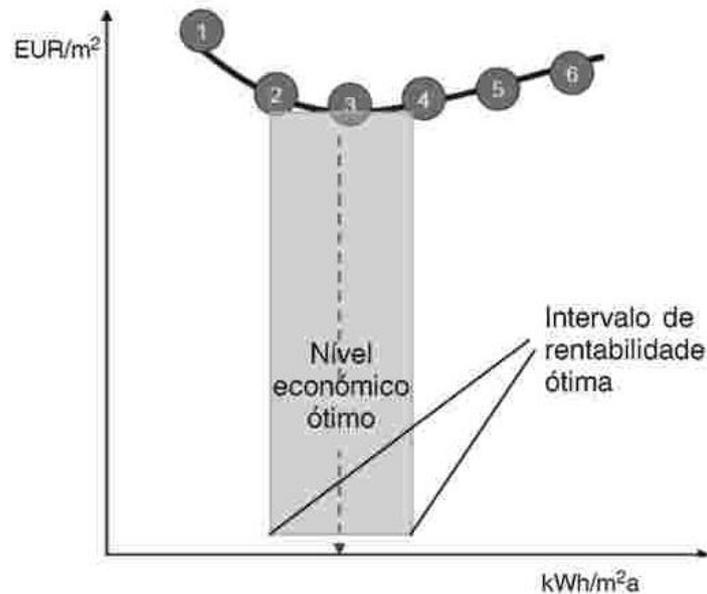


Figura 10 - Intervalo ótimo de rentabilidade (Jornal Oficial da União Europeia , 2012)

A obtenção de um custo ótimo tem em linha de conta as soluções existentes estudadas e também os painéis pré-fabricados do projeto MORE-CONNECT. No sentido de comparar todas as soluções, é necessário a comparação da cada medida de melhoria com a solução base. Esta diferença é obtida através Equação 10.

$$Diferença (\%) = 100\% - \frac{Energia\ Primária\ associada\ à\ melhoria}{Energia\ Primária\ da\ solução\ base} \quad (12)$$

No sentido deste projeto também é necessário saber a percentagem de energia produzida através da renováveis e é utilizada a Equação 11.

$$\begin{aligned} \% \text{ de Energia Renovável} \\ = \frac{Energia\ primária}{Energia\ produzida\ a\ partir\ de\ fontes\ renováveis} \end{aligned} \quad (13)$$

Capítulo 4. CASO DE ESTUDO (EDIFÍCIO ENGENHEIRO MOTA PINTO)

4.1. Introdução

O presente capítulo descreve e caracteriza o edifício alvo de estudo. Inicia pela caracterização da sua construção e a sua ligação ao projeto MORE-CONNECT. Em seguida é apresentada a caracterização térmica do edifício com a utilização da metodologia do REH. No final deste capítulo é obtida a caracterização energética do edifício. Todo este processo é essencial para o estudo das medidas de reabilitação energética.

4.2. MORE-CONNECT em Portugal

Com um clima mediterrâneo, Portugal permite o estudo dos módulos num clima temperado. A atenção vai ser focada no conforto interior sem necessidade de equipamentos de arrefecimento, o conceito promete envolver a integração de energias renováveis.

O MORE-CONNECT prevê a produção em massa de módulos pré-fabricados para o revestimento exterior de fachadas. A composição do módulo é apresentada na Figura 11, com $21,2 \text{ kg/m}^3$ e 12 cm de espessura, é a seguinte:

- Painel coretech (8 mm);
- Perfil de madeira de pinho (104 mm);
- Espuma de poliuretano (104 mm);
- Painel coretech (8 mm).

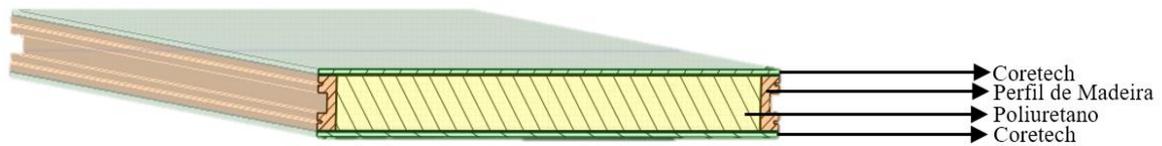


Figura 11 – Corte do módulo ilustrativo

É uma solução constituída por uma estrutura de suporte (perfil de madeira), por isolamento (espuma de poliuretano) e por uma camada de acabamento em ambas as faces (painel de coretech). A ligação entre os módulos é feita através de tiras de borracha natural e um barrote de madeira, que são colocados nas ranhuras do perfil de madeira, que está previamente configurado para receber estes elementos. Nesta dissertação também foi tido em conta o estudo das investigadoras de um apinel de 9 cm.

4.3. Caso de estudo

4.3.1. Descrição do edifício

O empreendimento Professor Carlos Alberto Mota Pinto é localizado na Rua do Bom Samaritano, na freguesia de Pedroso em Vila Nova de Gaia. Situado na periferia de uma zona urbana. A Figura 12 apresenta a fachada principal do edifício.



Figura 12 - Fachada principal do Edifício Engenheiro Mota Pinto

O edifício é multifamiliar, composto por três blocos, com 6 apartamentos cada perfazendo um total de 18 habitações. Existem duas tipologias de habitações: T2 e T3. Em cada bloco e andar existem duas habitações, um T2 e um T3. A área construída é de 600 m². A fachada principal é orientada a Oeste. E as Figuras 13 e 14 mostram as plantas do rés-do-chão e do primeiro/segundo andar, respetivamente.

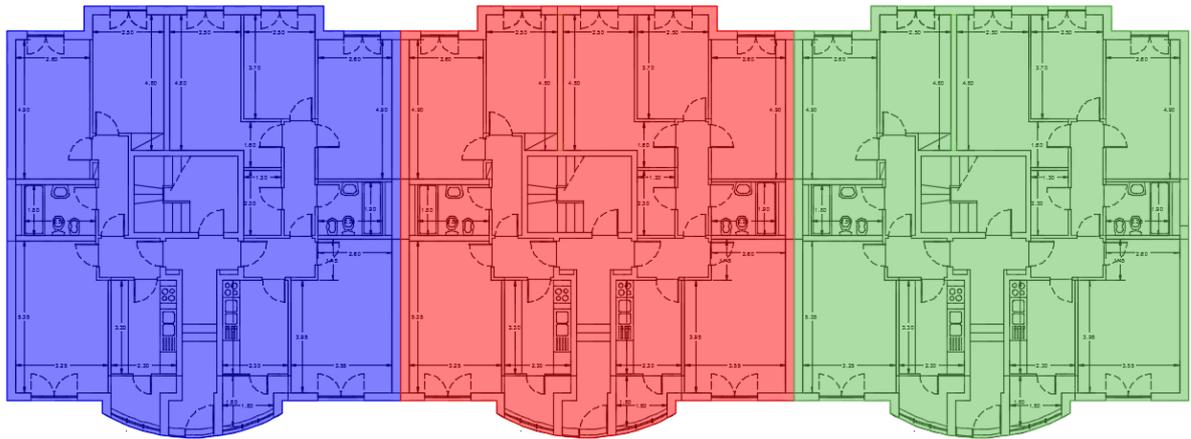


Figura 13 - Planta do rés-do-chão do caso de estudo (Azul – Bloco A; Vermelho – Bloco B; Verde – Bloco C)

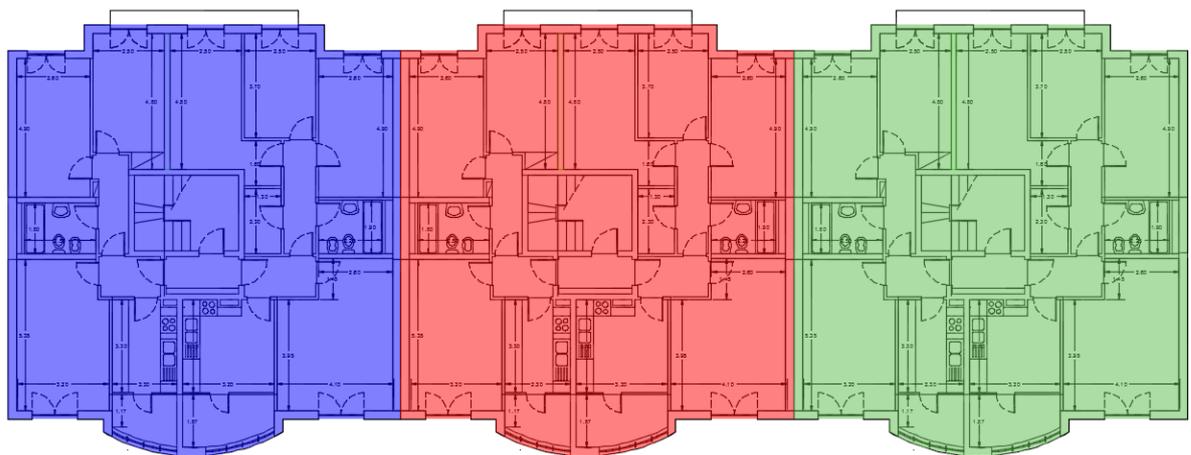


Figura 14 - Planta do piso 1 e 2 do caso de estudo (Azul – Bloco A; Vermelho – Bloco B; Verde – Bloco C)

A distribuição por habitação é semelhante, composta por lavandaria, cozinha, vestíbulo, sala e casa de banho. A diferença é que o T2 tem apenas dois quartos e o T3 tem três quarto e uma pequena despensa. A Tabela 6 apresenta a geometria do edifício por piso, por bloco e o total do edifício.

Tabela 6 - Geometria do edifício

	Bloco C	Bloco B	Bloco A	Total
Área total	421,5025	421,5025	421,5025	1264,51
Altura da fachada	11,3	11,3	11,3	11,3
Áreas das paredes exteriores	953,22	805,76	953,22	2848,82
Alçado principal	14,1	14,1	14,1	477,99
Alçado posterior	61,24	61,24	61,24	2075,9
Alçado lateral	13,05	0	13,05	294,93
Área das janelas	32,01	32,01	32,01	96,03
Alçado principal	3,52	3,52	3,52	31,68
Alçado posterior	7,15	7,15	7,15	64,35
Alçado lateral	0	0	0	0
Janelas da Marquise	13,53	13,53	13,53	40,59
Área da cobertura	180,45	180,45	180,45	541,35
Área do pavimento	182,3	182,3	182,3	546,9

O edifício foi construído em 1997, e à semelhança de outros edifícios construídos na mesma época não contém isolamento térmico nas paredes exteriores. As paredes exteriores são duplas compostas por tijolo cerâmico furado de 15 cm e 11 cm e as paredes divisórias interiores são simples, de tijolo cerâmico furado de 11 cm com revestimentos em material cerâmico nas casas de banho e cozinha e estuque no resto das divisões. A cobertura é composta por telha lusa, uma laje aligeirada de 25 cm e 2 cm isolamento térmico sobre a esteira da laje. Nas caixas de escadas existem claraboias de vidro simples e perfis de ferro. As janelas são de vidro duplo, com caixilharia em alumínio sem corte térmico. Os pavimentos não têm qualquer tipo de isolamento, apenas variando os seus acabamentos, sendo a entrada de cada fração em marmorite, o das cozinhas, casas de banho e lavandaria compostos por material cerâmico e os restantes em parquet de eucalipto. O pé direito do edifício é de 2,5 m. As soluções

construtivas foram esquematizadas e podem ser consultadas no *Anexo I – Soluções construtivas*.

4.3.2. Caracterização térmica (REH)

4.3.2.1 Condições climáticas

O edifício em estudo está localizado no município de Vila Nova de Gaia o que equivale a uma NUTS III (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) do Grande Porto. A Tabela 7 apresenta os parâmetros climáticos obtidos e a definição das respetivas zonas climáticas (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).

Tabela 7 – Zoneamento climático

Zona Climática de Inverno	Zona Climática de Verão
1283,6	20,9
$GD \leq 1300$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{\text{ext, v}} \leq 22^{\circ}\text{C}$
I1	V2

4.3.2.2 Quantificação da inércia térmica

A inércia térmica foi calculada segundo a metodologia do REH descrita no Capítulo 3. Como é possível observar na Tabela 8, a inércia é acima dos 400 Kg/m², sendo, portanto, caracterizada como uma inércia térmica forte.

Tabela 8 - Quantificação da inércia térmica

Inércia (Kg/m²)	Classe de inércia
983	Forte

4.3.2.3 Coeficiente de transmissão térmica (U)

Apesar de o U poder ser calculado, é essencial a sua comparação com os valores do ITE50 (Santos e Matias, 2006), pois este apresenta valores tabelados de soluções construtivas correntes, isso é demonstrado na Tabela 9. Na última coluna são apresentados valores de

referência para edifícios residenciais segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) para edifícios multifamiliares construídos na mesma época de construção. A comparação dos valores de diferentes fontes permite perceber se os valores calculados estão numa ordem de grandeza semelhante aos tabelados.

Os valores utilizados para a obtenção das necessidades podem ser encontrados na Tabela 9 a sombreado. Da análise comparativa dos valores, concluiu-se que, apenas o valor do coeficiente de transmissão térmica dos pavimentos devia ser utilizado o obtido pela DGEG, uma vez que os valores do ITE50 e o valor calculado não são regulamentares para um edifício da época. A diferença do valor da DGEG para os valores do ITE50 e calculado é explicada pelo facto do U da DGEG contemplar a utilização de isolamento nos pavimentos. De salientar que os valores referentes, principalmente à envolvente exterior não são muito favoráveis pois não existe qualquer tipo de isolamento térmico à exceção da cobertura. Relativamente às pontes térmicas planas (pilares e vigas), dado que não existia qualquer informação, foi assumido um esquema com base na geometria existente do edifício, que se apresenta no *Anexo III – Definição das pontes térmicas planas*.

Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica

	Solução construtiva	U_{calculado}	U (ITE50)	DGEG
Envolvente exterior	Paredes Exteriores	0,81	0,96	0,92
	Pilares	3,03	-	-
	Vigas	3,03	-	-
	Caixa de estores	1,59	-	-
	Envidraçado exterior	-	3,60	3,10
Envolvente interior	Parede de separação Zona Útil-Zona Comum (escadas, entrada)	1,50	1,16	1,20
	Pilares	2,70	-	-
	Vigas	2,70	-	-
	Parede de separação Zona não útil-Cozinha/Sala	1,80	1,16	1,20
	Parede divisória de blocos	1,50	-	1,20
	Pavimentos	1,45	1,43	0,78
	Envidraçado interior	-	6,20	3,10
	Cobertura	0,75	0,91	0,94

4.3.2.4 Fator solar de vãos envidraçados

De acordo com a memória descritiva do edifício, os envidraçados são duplos, constituídos por uma caixilharia de alumínio, sem corte térmico. No entanto não eram dadas as espessuras dos vidros e foi assumido que o vidro era duplo de 4mm+4mm, para se considerar o pior cenário em termos de envidraçados. Na definição do $g_{\perp,vi}$ (fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão) foi considerado que o vidro é composto por um vidro duplo incolor de 4mm a 8mm + 4mm. A proteção exterior é composta por uma persiana de réguas metálicas e em todas as frações autónomas a proteção interior colocada foi uma cortina ligeiramente transparente. Estes valores são apresentados na Tabela 10 nas siglas $g_{Tvc, ProtExt}$ e $g_{Tvc, ProtInt}$, respetivamente. Sendo que a inércia térmica do edifício é forte e este se encontra na zona climática de verão V2, o $g_{Tmáx}$ é o também apresentado na Tabela 10. Como as janelas são de alumínio sem quadrícula, a fração envidraçada é a atribuída no REH de 0,7 (Decreto Lei N°118/2013).

Tabela 10 - Fator solar de vãos envidraçados

$g_{\perp,vi}$	$g_{Tvc, ProtExt}$	$g_{Tvc, ProtInt}$	g_T	$g_{Tmáx}$	F_g
0,78	0,04	0,38	0,04	0,56	0,7

4.3.2.5 Coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ)

Na presente dissertação os coeficientes de transmissão térmica linear utilizados foram os valores tabelados do REH. Na Tabela 11 são apresentados os diferentes tipos de pontes térmicas utilizadas, divididas por piso.

Tabela 11 -Pontes térmicas lineares contabilizadas

Tipo de ligação	R/C	Piso 1	Piso 2	Ψ
Fachada com pavimento sobre local não aquecido	X			0,5
Fachada com pavimento de nível intermédio	X	X	X	0,6
Fachada com cobertura			X	1
Duas paredes verticais em ângulo saliente	X	X	X	0,1
Fachada com caixilharia	X	X	X	0,25
Zona da caixa de estores	X	X	X	0,3

Com os valores tabelados não é possível considerar que os elementos não possuem isolamento, por isso foram admitidas as condições mais desfavoráveis para os Ψ .

4.3.2.6 Coeficiente de Redução de Perdas (btr)

Na definição da envolvente é necessária a caracterização dos espaços não úteis. Para tal, foi necessário calcular o coeficiente de redução de perdas (btr) de cada espaço não-útil. Como se pode ver na Tabela 12 os espaços não úteis com btr superior a 0,7 são as garagens e o sótão, que confinam com a área dos três blocos. No *Anexo II – Definição da envolvente* é possível identificar claramente os limites das envolventes.

Tabela 12 - Definição da envolvente interior

Espaço Não Útil	Ai/Au	Venu	F ou f	btr	Caracterização
Marquise	0,65	7,32	f	0,7	Envolvente interior com requisitos de interior
Zona comum (Escadas)	5,21	29,58	F	0,5	Envolvente interior com requisitos de interior
Zona comum (Entrada)	2,84	25,5	F	0,7	Envolvente interior com requisitos de interior
Garagens	49,72	540,27	F	0,8	Envolvente interior com requisitos de exterior
Sótão	0,81	102,2	F	1	Envolvente interior com requisitos de exterior

4.3.2.7 Vão envidraçado interior

O vão envidraçado interior é composto por uma caixilharia de alumínio com vidro simples sem corte térmico. Para caracterizar o envidraçado interior foi necessário conhecer em primeiro lugar o ângulo das obstruções permanentes do mesmo. Neste caso foram considerados os ângulos máximos apresentados no Despacho (extrato) nº15793-K/2013 (Decreto Lei Nº118/2013). Os valores definidos estão apresentados na Tabela 13. O ângulo de horizonte foi considerado por defeito, o valor de ambiente urbano.

Tabela 13 - Ângulos das obstruções do vão envidraçado interior (°)

Obstrução do Horizonte	Aquecimento			Arrefecimento		
	Pala horizontal	Pala vertical à esquerda	Pala vertical à direita	Pala horizontal	Pala vertical à esquerda	Pala vertical à direita
45	60	60	60	60	60	60

As informações da Tabela 14 foram obtidas de forma semelhante à dos envidraçados exteriores, mas neste caso o vidro é simples.

Tabela 14 - Fator solar de vão envidraçados interiores

Vão interior em contacto com ENU					Vão exterior do ENU		
$g^{\perp vi, int}$	$g^{\perp T, int}$	$g_{Tp, int}$	F_g, int, int	U_{wdn}	$g^{\perp vi, ENU}$	$g_{Tp, ENU}$	F_g, ENU
0,85	0,70	0,70	0,70	6,20	0,85	0,70	0,70

4.3.2.8 Ventilação

Para os valores da ventilação de cada fração, nomeadamente $R_{ph, Estimada}$, $R_{ph, mínimo}$ e $R_{ph, i}$ foi utilizada a ferramenta de cálculo desenvolvida pelo LNEC designada “APLICAÇÃO LNEC – VENTILAÇÃO REH E RECS”.

4.3.2.9 Sistemas do edifício

Numa visita ao imóvel foi possível verificar que o sistema para produção das águas quentes sanitárias é um esquentador a gás, com uma potência de 19,2 kW. A sua eficiência foi definida com base em catálogos do fabricante. Os dados utilizados no REH encontram-se na Tabela 15. Não existiam sistemas para aquecimento ou arrefecimento do espaço.

Tabela 15 – Sistema utilizado no edifício de referência

Equipamento	Fonte de energia	Função	Potência (kW)	Eficiência do Equipamento
Esquentador	Gás propano	AQS	19,2	0,75

4.3.3. Caracterização energética (REH)

Os resultados apresentados em seguida foram extraídos da folha de cálculo de avaliação do desempenho energético de edifícios, de acordo com o REH, de 3 de fevereiro de 2016. Para efeitos de simplificação de cálculo foi assumido que os apartamentos interiores têm as mesmas necessidades. Ou seja, foram calculadas as necessidades do bloco B e aplicadas aos

apartamentos dos blocos C e A, à direita e esquerda, respetivamente, como se pode observar na Figura 15.

Bloco A		Bloco B		Bloco C	
3E	3D	3E	3D	3E	3D
2E	2D	2E	2D	2E	2D
1E	1D	1E	1D	1E	1D

Figura 15 – Simplificação das necessidades energéticas

Esta simplificação foi tida em conta visto que os apartamentos possuem características térmicas semelhantes e apresentam a mesma área útil. A Figura 16 apresenta as necessidades de aquecimento por fração. Pode observar-se que os apartamentos com mais necessidades de aquecimento são os do bloco C, do lado esquerdo e do bloco A, do lado direito. Estes são os apartamentos com maior envolvente exterior, que se situam em lados opostos do edifício. São observados valores mais elevados na cobertura e no rés-do-chão, pelo que se deve dar especial atenção às suas perdas de energia e à redução destas.

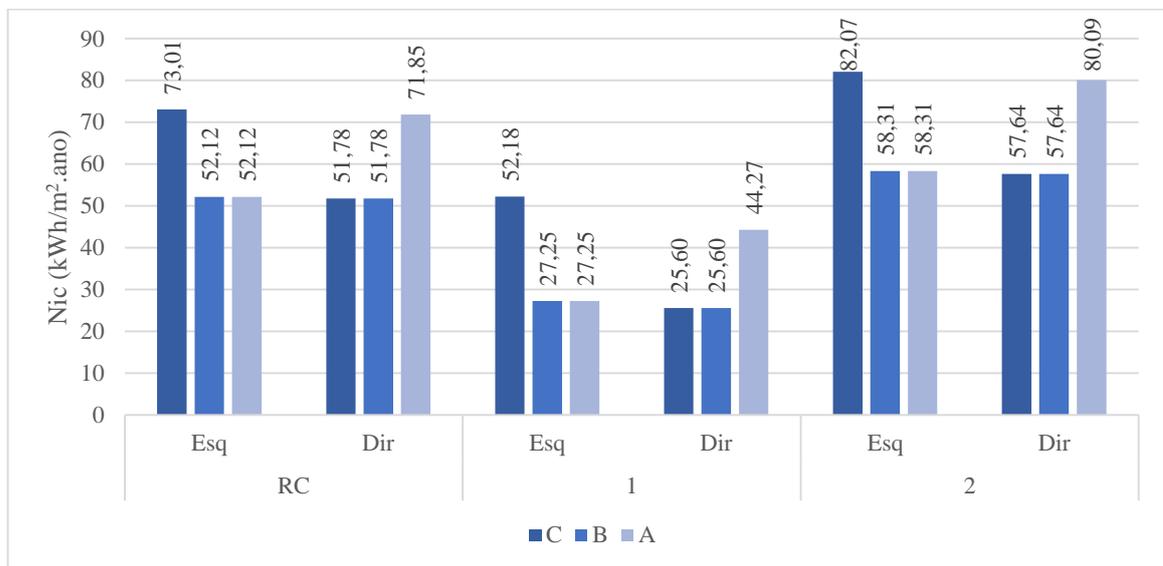


Figura 16- Necessidades de aquecimento por fração - Nic (kWh/m².ano)

Quanto às necessidades de arrefecimento apresentam valores mais baixos que as de aquecimento, como se vê na Figura 12. As necessidades apresentadas na Figura 12 são as

contabilizadas nas necessidades de energia primária, em alguns casos as N_{vc} são nulas. Isto acontece porque o coeficiente δ é igual a 0, pois o fator de utilização dos ganhos térmicos da fração é superior ao fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

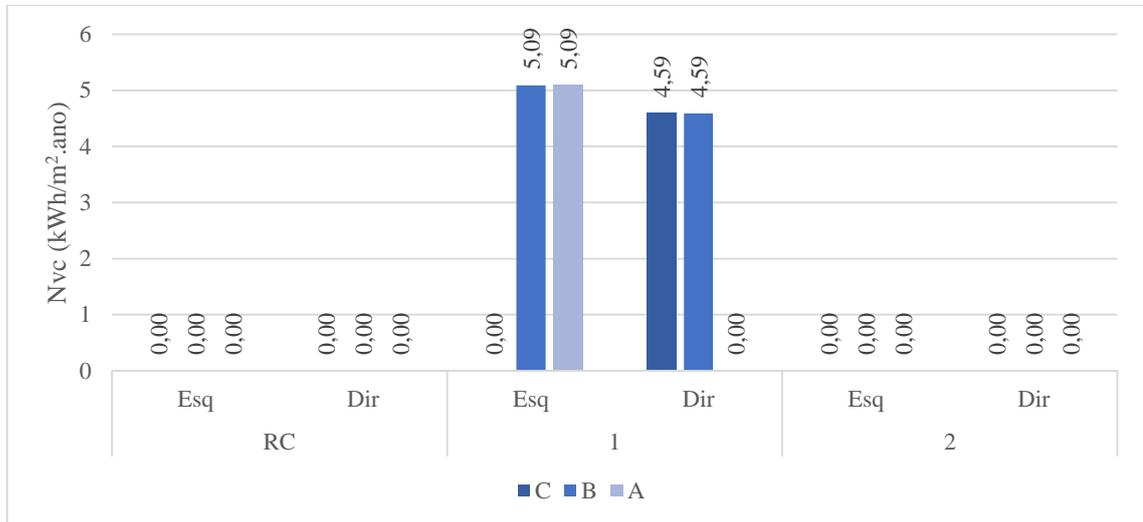


Figura 17 – Necessidades de arrefecimento por fração - N_{vc} (kWh/m².ano)

As necessidades de energia primária são obtidas conforme explanado no Capítulo 3 - metodologia. Estas necessidades envolvem as necessidades de aquecimento, arrefecimento e as necessidades de preparação de AQS. Como seria de esperar, e observando a Figura 13, os apartamentos com maiores necessidades de energia primária estão localizados no 2º andar e são do bloco C e A, esquerda e direita respetivamente. Com menores necessidades são as frações do 1º andar, porque têm uma envolvente exterior menor.

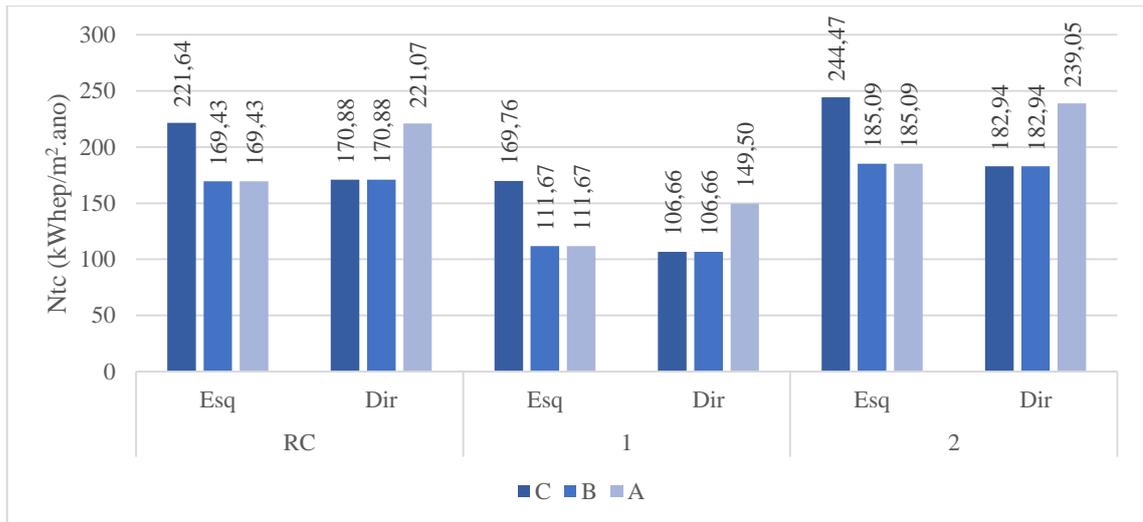


Figura 18 - Necessidades de energia primária por fração - Ntc (kWh/m².ano)

Depois do cálculo por fração é essencial saber as necessidades globais associadas ao edifício. Os valores da Tabela 16 foram obtidos através da média ponderada por área de cada apartamento.

Tabela 16 - Balanço energético do edifício

N_{ic} (kWh/m².ano)	52,51
N_{vc} (kWh/m².ano)	1,08
Q_a (kWh/ano)	2120,24
W_{vm} (kWh/ano)	0
E_{ren} (kWh/ano)	0
E_{ren,ext} (kWh/ano)	0
N_{tc}/N_t	1,82
Emissões de CO₂ (t/ano)	1,84
N_{tc} (kWh/m².ano)	171,66

4.4. Conclusão

O cálculo das necessidades do edifício base é essencial para o Capítulo 5 no sentido de estudar quais os elementos da envolvente que deverão ser corrigidos, como é o exemplo das frações da cobertura e do rés-do-chão que apresentam os valores mais elevados de energia

primária. É possível observar também que a contribuição de uma reabilitação nas paredes exteriores pode contribuir para uma redução bastante significativa da energia primária, pois os apartamentos com uma maior área de parede exterior são os que apresentam maiores necessidades de energia primária. No Capítulo 5 é demonstrado o estudo de várias medidas de reabilitação.

Capítulo 5. PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

5.1. Introdução

Este capítulo descreve e demonstra os cenários de reabilitação energética para o edifício caso de estudo. Em primeiro lugar são descritas as soluções estudadas e as variantes aplicadas à análise do custo ótimo e seguidamente a análise de rentabilidade económica dessas mesmas medidas de melhoria. Por último é preciso verificar quais os cenários de melhoria que dão resposta aos objetivos do projeto MORE-CONNECT:

- Redução da energia primária em 80%;
- Utilização de 20% de energia renovável;
- Viabilidade para nZEB;
- Custo ótimo.

Inicialmente foram estudadas medidas de reabilitação energética referentes à envolvente, foi reunido um vasto conjunto de medidas para paredes exteriores, cobertura, pavimentos interiores e envidraçados. De modo a reduzir o número de medidas a estudar no cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade, as mesmas foram submetidas a um processo de eliminação explicado em seguida. Aliadas a estas medidas surgem posteriormente as variantes para os sistemas técnicos e para a utilização de energia renovável. Em seguida, foi possível fazer uma comparação com os custos envolvidos e de novo foram eliminadas algumas medidas, no sentido de simplificar o estudo. Finalmente é apresentada uma análise de sensibilidade com todas as medidas estudadas.

5.2. Seleção das medidas de melhoria para a eficiência energética

5.2.1. Identificação das medidas de melhoria da envolvente opaca e envidraçada

Numa primeira abordagem foram reunidas várias medidas a ser aplicadas aos diferentes elementos do edifício com recurso ao software Gerador de Preços Cype ® («Gerador de preços.Portugal», 2016), que apresenta diferentes soluções de construção.

Os sistemas ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) escolhidos foram de tipos de isolamento diferentes como o EPS (poliestireno expandido), lã de rocha e o XPS (poliestireno extrudido). Foram calculados os valores do U para soluções com isolamento pelo interior, no entanto não serão considerados nos cálculos do custo ótimo dado um dos objetivos do projeto ser o de reduzir o incómodo aos moradores aquando da realização das obras de reabilitação. Isto além de requererem necessidade de substituir todos os rodapés e a aplicação de uma camada de tinta na placa de gesso cartonado que cobre o isolamento.

Para a cobertura foram selecionadas medidas de reabilitação correspondente à colocação de mantas ou placas de isolamento térmico sobre o espaço não habitável. Esta medida além de ser de fácil aplicação, é possível no caso de estudo. Foram estudadas as camadas de isolamentos de lã mineral, XPS e poliuretano projetado.

O pavimento dos apartamentos do rés-do-chão também é alvo de reabilitação, pois encontra-se em contacto com uma zona não útil (garagem) e tem uma área significativa. Para o pavimento a opção estudada foi isolamento sob a laje de modo a não incomodar os moradores e também de facilitar a mão-de-obra para aplicação do mesmo. Foram estudadas a incorporação de camadas de isolamento em lã mineral e aglomerado de cortiça expandida (ICB).

De forma a simplificar o presente estudo, as variáveis consideradas correspondem a medidas de renovação mais usuais em Portugal. Toda a informação reunida consta no *Anexo V - Variáveis analisadas como medidas de reabilitação energética*. Na Tabela 17 são apresentadas as medidas que cumprem os requisitos regulamentares.

Tabela 17 - Medidas de reabilitação energética

Elemento da envolvente	Medida	Material	Espessuras (mm)
Paredes	ETICS	EPS	40-200
		Lã de rocha (LM)	40-200
		XPS	40-50
Cobertura	Manta sobre o espaço não habitável	LM	50-200
		XPS	70-80
Pavimento	Isolamento sob a laje	LM	50-100
		ICB	50-80

Em seguida, são analisadas as medidas ao nível da envolvente e o seu desempenho térmico. Inicialmente são analisadas as melhorias apresentadas anteriormente (para paredes, cobertura e pavimento). De seguida, apresentam-se as medidas de melhoria para os envidraçados.

Existem medidas relativas a espessuras não correntes no mercado, pelo que se limitou as espessuras a utilizar na parede até 120mm. O conjunto de medidas a estudar para as paredes encontram-se na Tabela 18. Para o EPS e a lã de rocha (LM) não foram escolhidas espessuras de 10 em 10 mm para reduzir o número de medidas. No caso do XPS foram apenas utilizadas duas espessuras para perceber a distinção de preços de cada um.

Tabela 18 - Medidas de reabilitação para as paredes

Medida	U
EPS_40	0,47
EPS_60	0,37
EPS_80	0,31
EPS_100	0,27
EPS_120	0,20
LM_40	0,45
LM_60	0,36
LM_80	0,30
LM_100	0,26
LM_120	0,23
XPS_40	0,46
XPS_50	0,41

Sendo que o caso de estudo está incluído no projeto MORE-CONNECT foram igualmente considerados os painéis pré-fabricados estudados para aplicação nas paredes exteriores. Neste estudo consideraram-se três opções:

- manta de lã de rocha de 100mm coberto com o painel com espessura de 90mm;
- painel com espessura de 120mm;
- manta de lã de rocha de 80mm revestida com o painel com espessura de 120 mm.

Os coeficientes de transmissão térmica dos painéis pré-fabricados estão listados na Tabela 19.

Tabela 19 - Painéis do MORE-CONNECT

Painel	U
Painel_90+LR_100	0,17
Painel_120	0,24
Painel_120+LR_80	0,17

Os painéis desenvolvidos são protótipos e desta forma foi necessário contactar os fabricantes de forma a obter os custos dos mesmos (Tabela 20). Estes preços são uma aproximação do preço real e para a manutenção considerou-se 1,5% do preço total da solução. Esta percentagem foi obtida com base em preços de manutenção de outros produtos semelhantes e a sua relação com o custo total do produto.

Tabela 20 – Preços para os painéis do MORE-CONNECT

Descrição	Painel_90+LR100	Painel_120	Painel_120+LR80
Painel	25,50 €	34,00 €	34,00 €
LR100	7,63 €	-	-
LR80	-	-	6,75 €
Total	33,13 €	34,00 €	40,75 €
Manutenção	0,50 €	0,51 €	0,61 €

Foi tomado o mesmo sentido das paredes exteriores para a cobertura, onde se limitou o isolamento a 120mm por serem valores mais comerciais e levou ao conjunto de medidas descritas na Tabela 21.

Tabela 21 - Medidas de reabilitação para a cobertura

Medida	U
LM_50	0,37
LM_60	0,36
LM_80	0,30
LM_100	0,33
LM_120	0,28
XPS_70	0,40
XPS_80	0,36

No pavimento sob a garagem a única restrição aplicada para reduzir o número de medidas estudadas foi utilizar espessuras correntes em Portugal, e as medidas escolhidas foram as apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Medidas de reabilitação para o pavimento sob a cave

Medida	U
LM_50	0,36
LM_60	0,33
LM_80	0,28
LM_90	0,26
LM_100	0,24
ICB_50	0,37
ICB_60	0,34
ICB_70	0,31
ICB_80	0,29

No Cype é apenas possível obter os preços para os caixilhos e o vidro, em separado («Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A.», 2016). O método adotado foi escolher o tipo de envidraçado do ITE 50 e depois recorrer à base de dados do software Gerador de Preços Cype ® para consultar os preços das soluções. No ITE 50 foram obtidos os dados listados na Tabela 23, as soluções apresentadas correspondem a vidro duplo (Santos e Matias, 2006).

Tabela 23 - Medidas para os envidraçados

Tipo de caixilharia	Espessura da lâmina de ar	Dispositivos de oclusão noturna	U_{wdn}
Plástico (PVC)	6	Cortina interior opaca	2,9
	16	Cortina interior opaca	2,5
	16 low ϵ	Cortina interior opaca	2,3
	6	Dispositivos com permeabilidade ao ar baixa	2,4
	16	Dispositivos com permeabilidade ao ar baixa	2,1
	16 low ϵ	Dispositivos com permeabilidade ao ar baixa	2
Metálica com corte térmico (Alumínio)	6	Cortina interior opaca	3,7
	16	Cortina interior opaca	3,3
	16 low ϵ	Cortina interior opaca	2,7
	6	Dispositivos com permeabilidade ao ar baixa	2,7
	16	Dispositivos com permeabilidade ao ar baixa	2,5
	16 low ϵ	Dispositivos com permeabilidade ao ar baixa	2,3

No estudo realizado não foram considerados os vidros de baixa emissividade (low ϵ) dado o elevado custo de investimento inicial. Em seguida foram escolhidos os que apresentam vantagens térmicas ao edifício e são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Medidas de reabilitação para os envidraçados

Medida	U	Composição do vidro
PVC	2,1	5+16+5
Alumínio	2,5	

Estas medidas vão ser submetidas a um processo de eliminação posterior relacionado com os custos que lhes estão associados. Depois da seleção de medidas de melhoria para a envolvente segue-se o a seleção dos sistemas técnicos de modo a alcançar o custo ótimo e igualmente reduzir as necessidades energéticas do edifício.

5.2.2. Sistemas técnicos

Para os sistemas técnicos foram estudadas várias combinações para os diferentes usos. As combinações de sistemas encontram-se listados na Tabela 25 e os referentes sistemas técnicos são descritos em seguida.

Tabela 25 – Combinações de sistemas

C	Aquecimento		Arrefecimento		AQS	
	Equipamento	COP/ η	Equipamento	EER	Equipamento	COP/ η
1	Resistência	1	AC	3,29	Esquentador	0,74
2	Bomba de calor	4,43	Bomba de calor	3,88	Caldeira (gás)	0,937
3	Bomba de calor	4,3	Bomba de calor	3,4	Bomba de calor	4,3
4	AC	3,74	AC	3,29	Caldeira (gás)	0,937
5	AC	3,74	AC	3,29	Termoacumulador	0,39
6	Caldeira (gás)	0,937	AC	3,29	Caldeira (gás)	0,937
7	Caldeira (pellets)	0,93	AC	3,29	Caldeira (pellets)	0,93
8	AC	3,75	AC	3,29	Esquentador	0,74

Nota: COP - Coefficient Of Performance (Coeficiente de Desempenho); η – Eficiência do equipamento; EER - Energy Efficiency Ratio (Índice de Eficiência de Energia); AC – Ar Condicionado

A primeira combinação incluiu um emissor térmico a óleo (resistência) com uma potência de 500W, da marca Junkers, modelo Elaflu ERRO 0500. Estes sistemas são vulgarmente designados por aquecedores e são muito utilizados quando o edifício não possui um sistema de aquecimento central. Apesar do edifício possuir necessidades de arrefecimento baixas não foi estudada nenhuma combinação sem sistema para tal. Então na primeira combinação optou-se por um ar condicionado. Neste sistema multi-split foi necessário contabilizar as unidades exteriores, interiores e as condutas do sistema. Para unidade exterior foi escolhido o modelo SCM71ZM "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", com uma potência frigorífica nominal de 7,1 kW e uma potência calorífica de 8,6 kW, de alimentação monofásica. A unidade interior é um modelo interior de parede, da mesma marca, e modelo SRK71ZM. Em termos de custos também foi preciso contabilizar nos custos as condutas utilizadas no sistema, para isso foi escolhida uma conduta circular de parede simples helicoidal de 10mm de diâmetro.

Para os sistemas de AQS é comum utilizar-se um sistema a gás. Um esquentador instantâneo a gás com 9,4 kW de potência da Junkers modelo W 135-2 KV1 E.

Numa segunda combinação de sistemas foi selecionada uma bomba de calor ar-ar para climatização. A bomba escolhida, da marca Daikin, modelo RXYSQ4P8, possui uma potência

frigorífica nominal de 11,2 kW, um consumo elétrico nominal em arrefecimento 2,8 kW, potência calorífica nominal 12,5 kW e consumo elétrico nominal em aquecimento 2,74 kW. Para a distribuição foi escolhida uma fan-coil de cassete da Hitecsa, modelo FKW 54, com uma potência frigorífica total nominal de 10,69 kW e uma potência calorífica nominal de 14,49 kW.

Com uma eficiência um pouco mais elevada que um esquentador, foi escolhida uma caldeira a gás para AQS numa combinação e para aquecimento numa outra. Esta é da marca Junkers, modelo CerastarComfort ZWN 25-8 MFA.

As bombas de calor ar-água também foram consideradas e foram as incluídas na combinação de sistemas 3. A bomba escolhida é da Saunier Duval, modelo Genia 11. Esta bomba possui uma potência calorífica nominal de 10,6 kW e uma potência frigorífica de 10,5 kW. Na colocação deste sistema é exigido a colocação de um depósito de água, a opção foi um acumulador de aço vitrificado de 950L. Este modelo da Airzone possui isolamento incorporado.

Nas combinações 4, 5 e 8 é utilizado o mesmo sistema multi-split considerado na combinação 1, no entanto nestas o sistema supre o aquecimento e arrefecimento.

Uma outra opção estudada para AQS foi um termoacumulador elétrico. Como o edifício possui apartamentos T2 e T3 foram selecionados termoacumuladores da marca Junkers de 150L e 200L para cada apartamento. As capacidades dos depósitos foram obtidas tendo em conta de cada utilizador de um apartamento gasta 40L de água. Então para um T2 é necessário um depósito com pelo menos 120L e para um T3 um depósito de pelo menos 160L.

Em Portugal, uma opção extremamente eficiente do ponto de vista de consumo de energia é a biomassa. Esta pode cobrir as necessidades de aquecimento e AQS. A caldeira a pellets escolhida foi da Ecoforest, modelo Vap 30. Tem uma potência térmica nominal de 30 kW e capacidade de 132 Kg.

5.2.3. Energias renováveis

A reabilitação energética passa também pela utilização de energia renovável. Já foi mencionada a biomassa, no presente estudo também foram considerados sistemas solares térmicos (ST) e painéis fotovoltaicos (PV). O Decreto-Lei n. °118/2013 indica que num edifício sujeito a grande intervenção é obrigatório, sempre que haja exposição solar adequada, a instalação de sistemas solares térmicos, sendo assim em todas as combinações de sistemas foi tida em conta a contribuição destes.

O software de cálculo utilizado para o cálculo do solar térmico foi o SCE.ER. Com este software foi possível o estudo da energia produzida pelos coletores solares térmicos. Os coletores escolhidos foram o modelo Top Excellence FKT-2 S da Junkers, compostos por três módulos e com uma área útil de 2,426 m². O software permitiu dimensionar a quantidade de coletores a utilizar. Foram estudadas três opções de distribuição para os coletores e que são apresentadas na Figura 19. Estas geometrias são apenas esquemáticas no sentido de perceber a distribuição dos painéis na cobertura. De relembrar que a cobertura é de duas águas, orientadas a este e oeste.

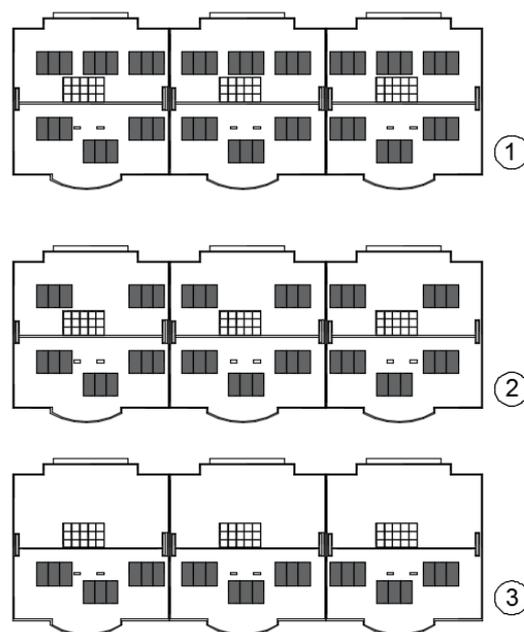


Figura 19 - Opções para a disposição dos coletores solares (1 – 54 painéis; 2 – 45 painéis; 3 – 27 painéis)

Para cada opção foram estudadas as várias orientações descritas na Tabela 26. Foram consideradas a orientação sul, este e oeste e a quantidade de painéis possíveis de incluir na cobertura assumindo-se que todos os painéis foram afixados com uma inclinação de 35°, com esta ideia foi considerada uma estrutura de suporte.

Tabela 26 - Estudo das orientações dos coletores solar

Opção de geometria	Orientação	Nº de painéis	Produção (kWh)
1	Este	27	49520
	Oeste	27	
2	Este	18	44391
	Oeste	27	
3	Oeste	27	25064
1	Sul	54	34638
2		45	34009
3		27	31140

O edifício requer 31145 kWh de produção de energia para suprimir as necessidades de AQS, então os valores acima deste foram eliminados, pois apresentavam um desperdício. Sobraram assim duas opções, a geometria 3 com os painéis orientados a oeste e a sul. A opção escolhida foi a geometria 3 com a orientação dos painéis a sul, que produz uma energia mais próxima da necessária o que pode tornar mais fácil o caminho para nZEB.

Na escolha desta geometria também foi tida em conta a possível utilização de painéis fotovoltaicos na restante área da cobertura. A solução selecionada apresenta um sistema centralizado para cada fração, então necessita de três depósitos para alimentar os três blocos com uma capacidade de 950L. Para este tipo de energia foram também estudadas várias opções as quais incluíam painéis fotovoltaicos na cobertura e na fachada. Para simplificação foi selecionado o Kit 1500W para Autoconsumo (UPAC) da FFSolar e os seus componentes encontram-se listados na Tabela 27.

Tabela 27 - Componentes do Kit1500W para Autoconsumo (UPAC) da FFSolar

Composição	Preço
6 painéis fotovoltaicos SOLARWORLD 250 poly	
1 inversor SMA SB 1,5	2274€
1 estrutura de suporte de alumínio	

O kit escolhido já tinha um painel selecionado e este possui as características indicadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Características do painel fotovoltaico

Potência	250W
Eficiência	14,91%
Comprimento	1675 mm
Largura	1001 mm

Com as dimensões de cada painel, foi estudada a sua distribuição pela cobertura e na fachada orientada a sul, Figura 18 e Figura 19, respetivamente. Na cobertura, o espaço admitido entre painéis foi do comprimento dos mesmos para evitar o sombreamento. Foi igualmente admitido uma inclinação de 35° para os painéis e com orientação a sul.



Figura 20 - Esquema para os painéis fotovoltaicos na cobertura (a - 30 painéis e b - 18 painéis)

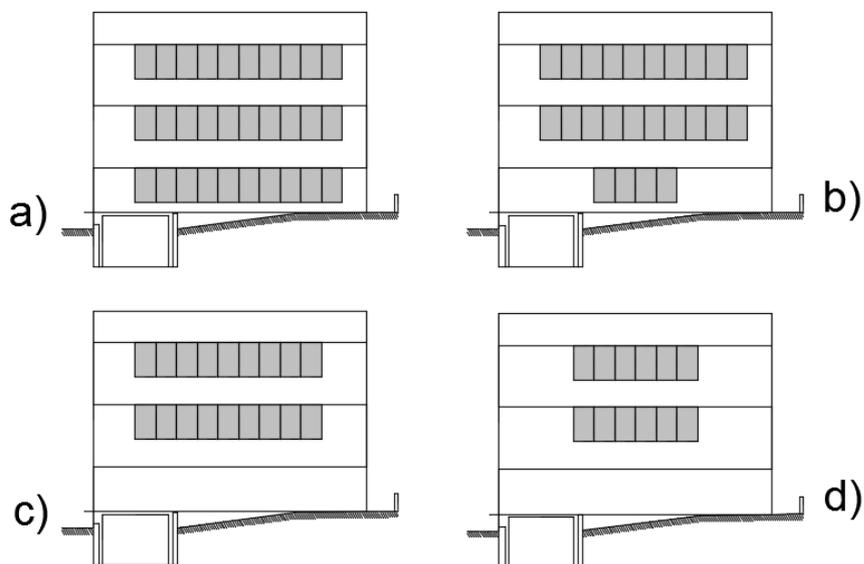


Figura 21 - Esquema para os painéis fotovoltaicos na fachada (a - 30 painéis; b - 24 painéis; c - 18 painéis e d - 12 painéis)

Para os diferentes esquemas de distribuição dos painéis fotovoltaicos foi calculada a correspondente potência nominal (PV peak) a utilizar no PVGIS (software utilizado para o cálculo da contribuição dos painéis) («PVGis», 2016). Na Tabela 29 estão apresentadas as opções de distribuição dos painéis com a respetiva contribuição obtida com o software («PVGis», 2016).

Tabela 29 - Opções para o fotovoltaico

Opções	PV peak (kW)	Quantidade de painéis	Área ocupada (m²)	Contribuição (kWh)
Cobertura	4,5	18	30,18	6530
	7,5	30	50,3	10900
Fachada	3	12	20,12	3500
	4,5	18	30,18	5240
	6	24	40,24	6990
	7,5	30	50,30	8740

Desta análise, foram selecionados 30 painéis na cobertura, para uma análise inicial e depois mais 30 painéis na fachada orientada a sul.

5.3. Análise da rentabilidade económica das medidas de melhoria

Todos os dados apresentados de seguida foram obtidos com base nos dados apresentados no *Anexo VIII – Cálculo para a obtenção da curva de custo ótimo* e *Anexo IX*. Estes anexos apresentam todos os dados relativos à obtenção de curva de custo ótimo. Para a construção deste foi utilizado o *Anexo VII – Preço de cada medida de reabilitação*.

Em primeiro lugar foram inseridos os dados da situação base, apresentados no Capítulo 4. Na Tabela 30 são apresentadas as necessidades com as eficiências de cada sistema que cobrem essas necessidades, os fatores de conversão e o valor de energia primária. As eficiências dos equipamentos para aquecimento e arrefecimento são as das soluções por defeito definidas no REH (Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro).

Tabela 30 - Desempenho térmico da base (edifício de referência)

N _{ic} (kWh/m ² .a)		N _{vc} (kWh/m ² .a)		N _{ac} (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			N _{tc} (kWh/m ² .a)
Total	η	Total	η	Total	η	N _{ic}	N _{vc}	N _{ac}	Total
52,51	1	1,08	3	29,61	0,75	2,5	2,5	1	171,66

Ao desempenho térmico da base também estão associados certos custos, principalmente de manutenção e substituição de alguns elementos. Neste estudo foi considerado que:

- As fendas e fissuras da fachada foram reparadas com gesso;
- Limpeza das fachadas, pelo exterior, com jato de água;
- A pintura interior foi substituída por uma tinta de silicone;
- Os parapeitos das janelas são substituídos caso estejam degradados;
- Na cobertura as telhas foram limpas e substituídas se danificadas;
- Os envidraçados são substituídos quando se encontrem danificados.

5.3.1. Estudo da influência de medidas ligadas à envolvente opaca e envidraçada

No seguimento da seleção das medidas definidas anteriormente foi necessário reduzir este número com base no custo ótimo, e, portanto, selecionar apenas algumas para o cálculo das combinações de sistemas. Neste capítulo não são descritas todas as variáveis analisadas, contudo podem ser consultadas no *Anexo VI – Variáveis para o estudo da curva de custo ótimo*.

A partir daqui, por uma questão de abreviação, os elementos da envolvente são descritos como:

- Paredes exteriores (envolvente) – “Env”;
- Cobertura – “Cob”;
- Pavimento – “Pav”.

Em primeiro lugar foram estudadas as medidas de reabilitação para as caixilharias dos envidraçados, o PVC e o alumínio com corte térmico. Nas primeiras medidas estudadas não foi considerado que intervinham por si só, pelo que os valores que se encontram na Figura 22 são de variáveis que englobam uma renovação total dos elementos. Nas mesmas é possível

concluir que o PVC é uma melhor solução para a caixilharia dos envidraçados pois além de ter um desempenho consideravelmente melhor também apresenta um custo ligeiramente mais baixo.

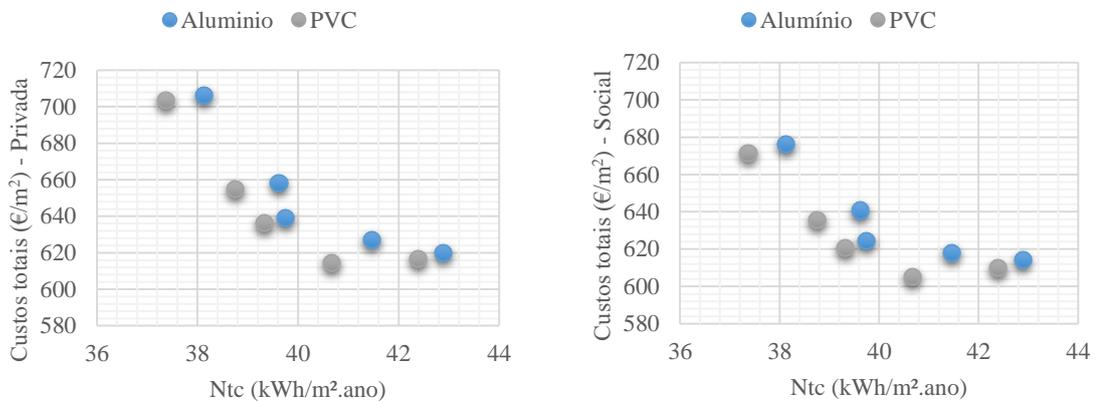


Figura 22 - PVC VS Alumínio nos envidraçados (Esquerda - componente privada; Direita – componente social)

A utilização de PVC nos envidraçados implica uma redução de energia primária de cerca de 2% comparativamente com a utilização de caixilharia em alumínio. Em relação aos custos globais decresce em 2€/m² na componente privada e cerca de 3€/m² para a componente social. Apesar de serem medidas com desempenho próximo, a utilização de PVC é mais vantajosa.

A análise passa depois para medidas isoladas a aplicar às paredes exteriores, onde previamente foi selecionado EPS, XPS e lã de rocha como materiais de isolamento. Na Figura 23 estão representados os comportamentos do edifício com a utilização destes materiais.

O que se pretende é um isolamento que efetivamente reduza a energia primária e a obtenção de um custo ótimo. Tendo isso em conta, o EPS apresenta estas características. Em termos de desempenho é semelhante à lã mineral, mas em termos de custos o EPS apresenta uma redução de preço. É importante lembrar que aqui se procedeu à comparação dos valores com outras medidas de reabilitação acopladas, por isso os valores se encontrarem elevados.

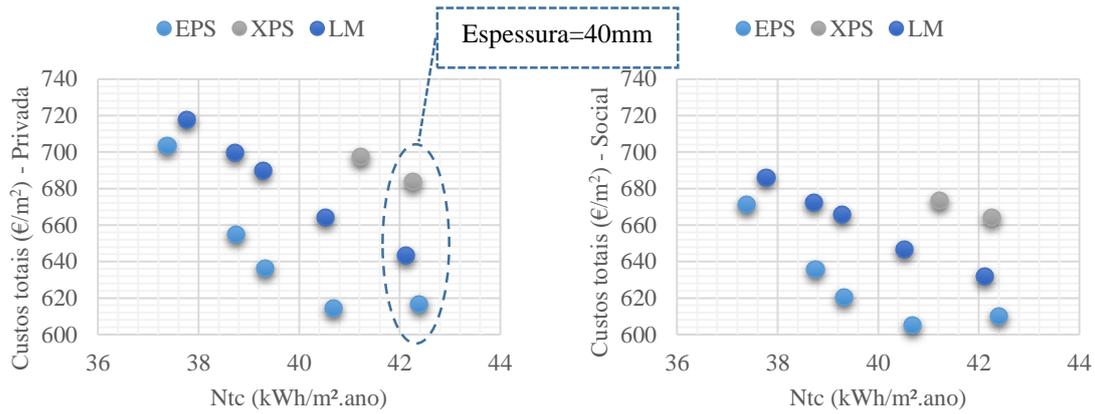


Figura 23 - EPS, XPS ou LM nas paredes exteriores (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)

Como definido é necessário fazer comparações de custo ótimo no XPS e na lã de rocha como isolamento para a cobertura. Pela Figura 24 selecionou-se a opção da lã de rocha pois no estudo são as mais vantajosas em termos de custos e valores de energia primária. Na componente social não se vê o mesmo desenvolvimento na lã de rocha pois o valor dos custos das emissões dos gases de efeito de estufa sofre um agravamento nas espessuras menores.

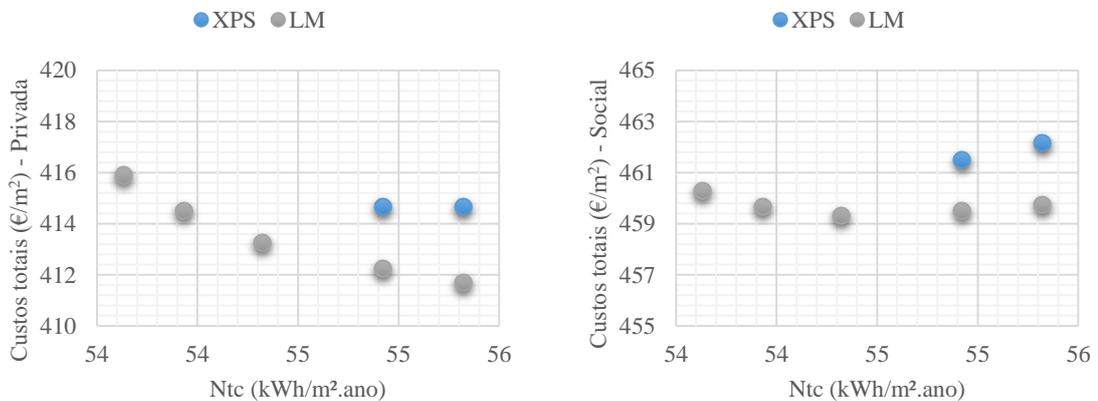


Figura 24 - XPS VS LM na cobertura (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)

O pavimento sobre a garagem também deve ser alvo de intervenção e para isso foram estudadas soluções de reabilitação com a aplicação de ICB e de lã de rocha, comparadas na Figura 25.

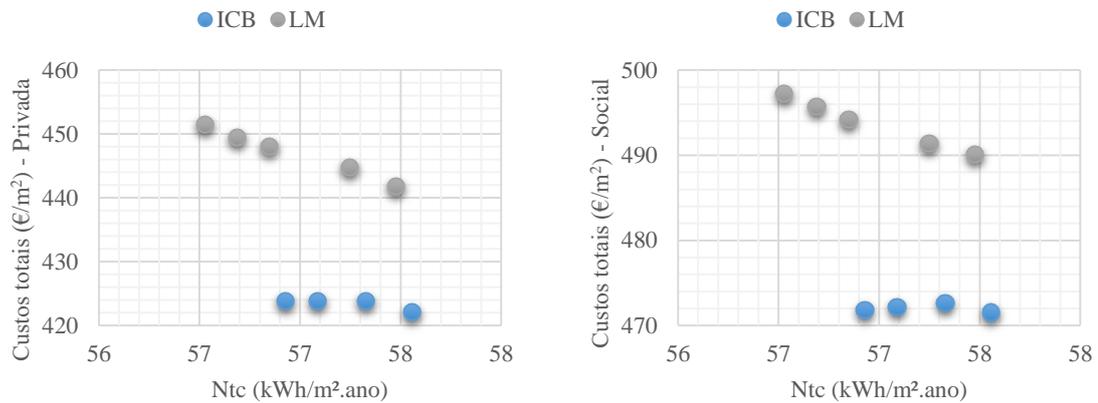


Figura 25 - LM ou ICB no pavimento sobre a cave (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)

É possível ver que os dois tipos de material de isolamento apresentam desempenhos semelhantes, no entanto o custo do ICB é mais favorável à obtenção do custo ótimo. Apresentam uma diferença 19 €/m², na componente privada.

O projeto MORE-CONNECT propõe a aplicação de painéis pré-fabricados para aplicação nas fachadas, no entanto para um bom desempenho do edifício será necessário contabilizar isolamento noutros elementos da envolvente. Desta forma para uma avaliação do desempenho do edifício com a aplicação dos painéis do MORE-CONNECT foram-lhes acopladas outras medidas. A escolha dessas medidas caiu na observação da Figura 26. A primeira opção foi a variável de custo ótimo (cinzento) e a segunda, a variável com menor necessidade de energia primária (cor-de-laranja).

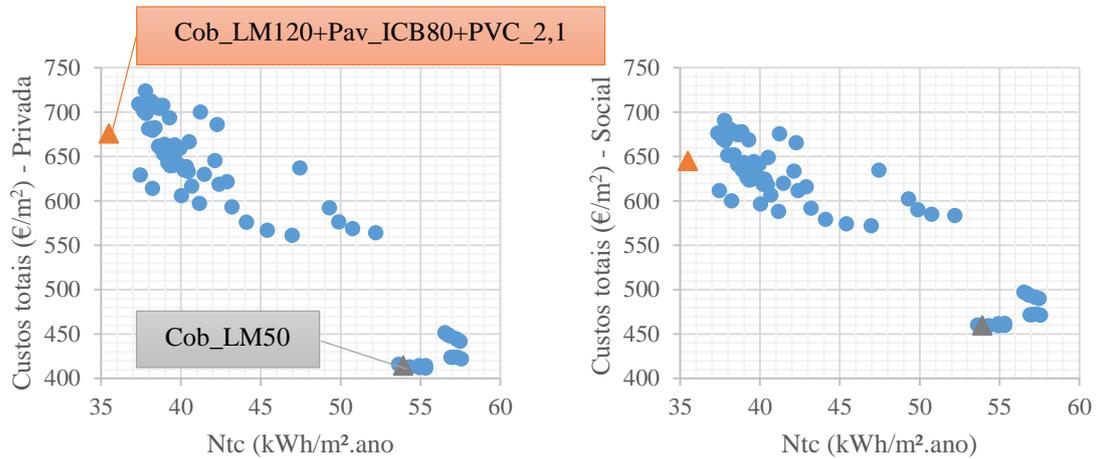


Figura 26 - Variáveis estudadas com a combinação de sistemas 1 (Direita - componente privada; Esquerda – componente social)

Com base no detalhado anteriormente foram desenvolvidas as Tabelas 31 e 32. As tabelas incluem 33 variáveis em que da 1 a 14 são apresentadas medidas isoladas, variáveis 15 a 19 acrescem de medidas de reabilitação da cobertura visto que é a medida isolada que apresenta um menor custo. Em seguida testaram-se as medidas em toda a envolvente que apesar de ajudarem em termos de redução de energia primária vão conduzir a um aumento substancial de custo. Por fim são testados os painéis do MORE-CONNECT.

Tabela 31 – Medidas de reabilitação energética

Variável	Env	U	Cob	U	Pav	U	Envidraçados
1	EPS40	0,47	-	-	-	-	-
2	EPS60	0,37	-	-	-	-	-
3	EPS80	0,31	-	-	-	-	-
4	EPS100	0,27	-	-	-	-	-
5	EPS120	0,20	-	-	-	-	-
6	-	-	LM50	0,37	-	-	-
7	-	-	LM60	0,36	-	-	-
8	-	-	LM80	0,30	-	-	-
9	-	-	LM100	0,33	-	-	-
10	-	-	LM120	0,28	-	-	-
11	-	-	-	-	ICB_50	0,37	-

Tabela 32 - Medidas de reabilitação energética (continuação)

Variável	Env	U	Cob	U	Pav	U	Envidraçados
12	-	-	-	-	ICB_60	0,34	-
13	-	-	-	-	ICB_70	0,31	-
14	-	-	-	-	ICB_80	0,29	-
15	EPS40	0,47	LM50	0,37	-	-	-
16	EPS60	0,37	LM60	0,36	-	-	-
17	EPS80	0,31	LM80	0,30	-	-	-
18	EPS100	0,27	LM100	0,33	-	-	-
19	EPS120	0,20	LM120	0,28	-	-	-
20	EPS40	0,47	LM50	0,37	ICB_50	0,37	PVC_2,1
21	EPS60	0,37	LM60	0,36	ICB_60	0,34	PVC_2,1
22	EPS80	0,31	LM80	0,30	ICB_70	0,31	PVC_2,1
23	EPS100	0,27	LM100	0,33	ICB_50	0,37	PVC_2,1
24	EPS120	0,20	LM120	0,28	ICB_50	0,37	PVC_2,1
25	Painel_90+LR_100	0,166	-	-	-	-	-
26	Painel_120	0,240	-	-	-	-	-
27	Painel_120+LR_80	0,172	-	-	-	-	-
28	Painel_90+LR_100	0,166	LM50	0,37	-	-	-
29	Painel_120	0,240	LM50	0,37	-	-	-
30	Painel_120+LR_80	0,172	LM50	0,37	-	-	-
31	Painel_90+LR_100	0,166	LM120	0,28	ICB80	0,29	PVC_2,1
32	Painel_120	0,240	LM120	0,28	ICB80	0,29	PVC_2,1
33	Painel_120+LR_80	0,172	LM120	0,28	ICB80	0,29	PVC_2,1

As Tabelas 31 e 32 representam as variáveis de estudo de custo ótimo, demonstram a variação dos U's para as medidas de reabilitação. Com os dados apresentados nas Tabelas 31 e 32 e os custos associados a cada solução foram desenvolvidas as Figura 27 e Figura 28.

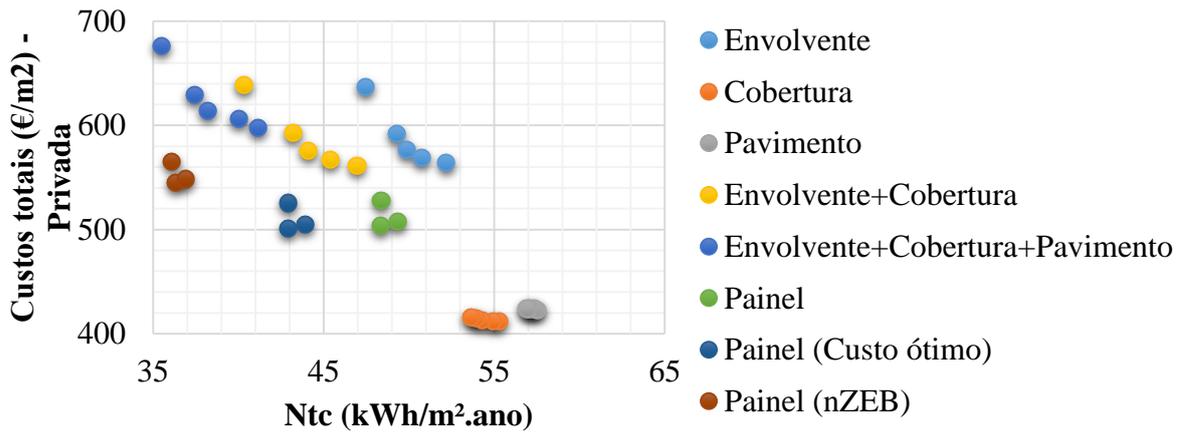


Figura 27 - Evolução das variáveis da Tabela 42 com a combinação de sistemas 1 (componente privada)

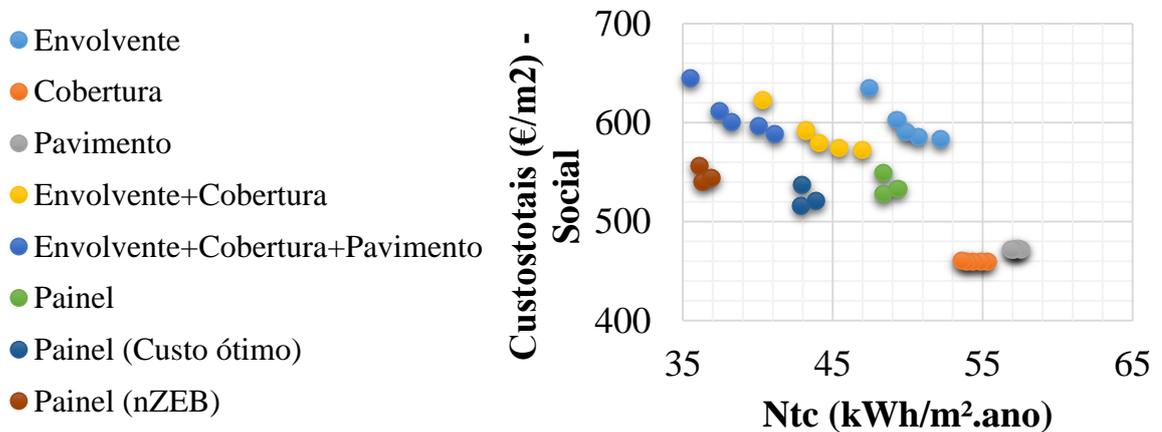


Figura 28 - Evolução das variáveis da Tabela 42 com a combinação de sistemas 1 (componente social)

Pela observação das Figuras 27 e 28 é possível ver que a solução mais eficaz em termos de redução de energia primária corresponde a uma renovação nas paredes exteriores, cobertura e pavimento sobre a cave, todavia esta solução torna-se mais cara comparativamente a outras. A solução de custo ótimo corresponde à aplicação da lã de rocha na cobertura com 5cm. Relativamente aos painéis desenvolvidos no âmbito do projeto MORE-CONNECT, estes apresentam características térmicas muito semelhantes ao ETICS escolhido para análise, contudo o preço atribuído faz com que se tornem uma medida atrativa em termos de custos totais comparativamente a soluções correntes como ETICS.

5.3.2. Análise das medidas com alteração dos sistemas técnicos

Depois de uma análise base com o equipamento da combinação de sistemas 1 é necessário estudar o comportamento do edifício quando lhe são alterados os sistemas, e isso é apresentado nas Figuras 29 e 30, onde são colocadas as combinações de sistemas definidos anteriormente e apresentados na Tabela 33. A solução de rentabilidade ótima da envolvente vai manter-se qualquer que seja a combinação de sistemas de climatização e AQS, com exceção dos sistemas que utilizem diferentes fontes de energia renovável (Ferreira et al., 2015).

Tabela 33 – Combinações de sistemas

Comb.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
1	Resistência	AC	Esquentador
2	Bomba de calor	Bomba de calor	Caldeira (gás)
3	Bomba de calor	Bomba de calor	Bomba de calor
4	AC	AC	Caldeira (gás)
5	AC	AC	Termoacumulador
6	Caldeira (gás)	AC	Caldeira (gás)
7	Caldeira (biomassa)	AC	Caldeira (biomassa)
8	AC	AC	Esquentador

Na Figura 27 e Figura 28 estão representadas três linhas a tracejado, a linha cor-de-laranja representa o nível de rentabilidade económica, definido pelo custo da referência. A linha a verde representa a redução de 80% de energia primária comparativamente à base. E a linha cinzenta é definida pela variável de custo ótimo.

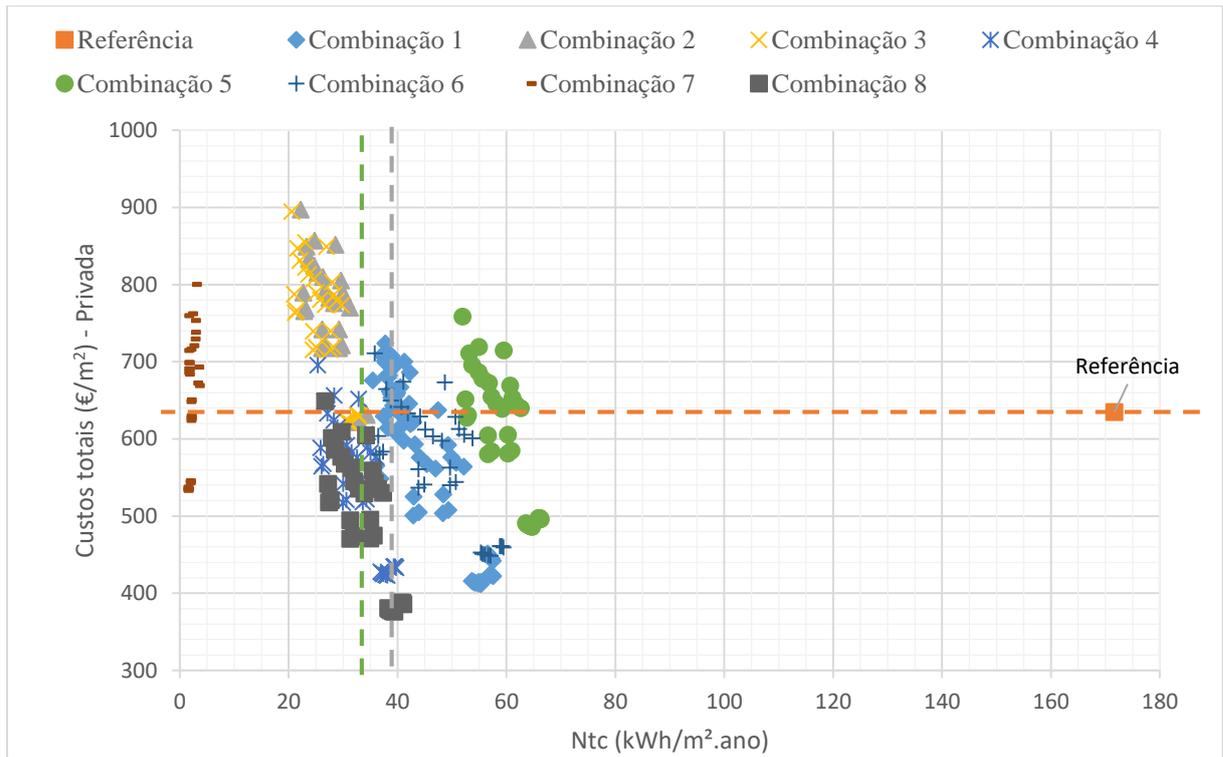


Figura 29 – Avaliação da solução de custo ótimo (componente privada)

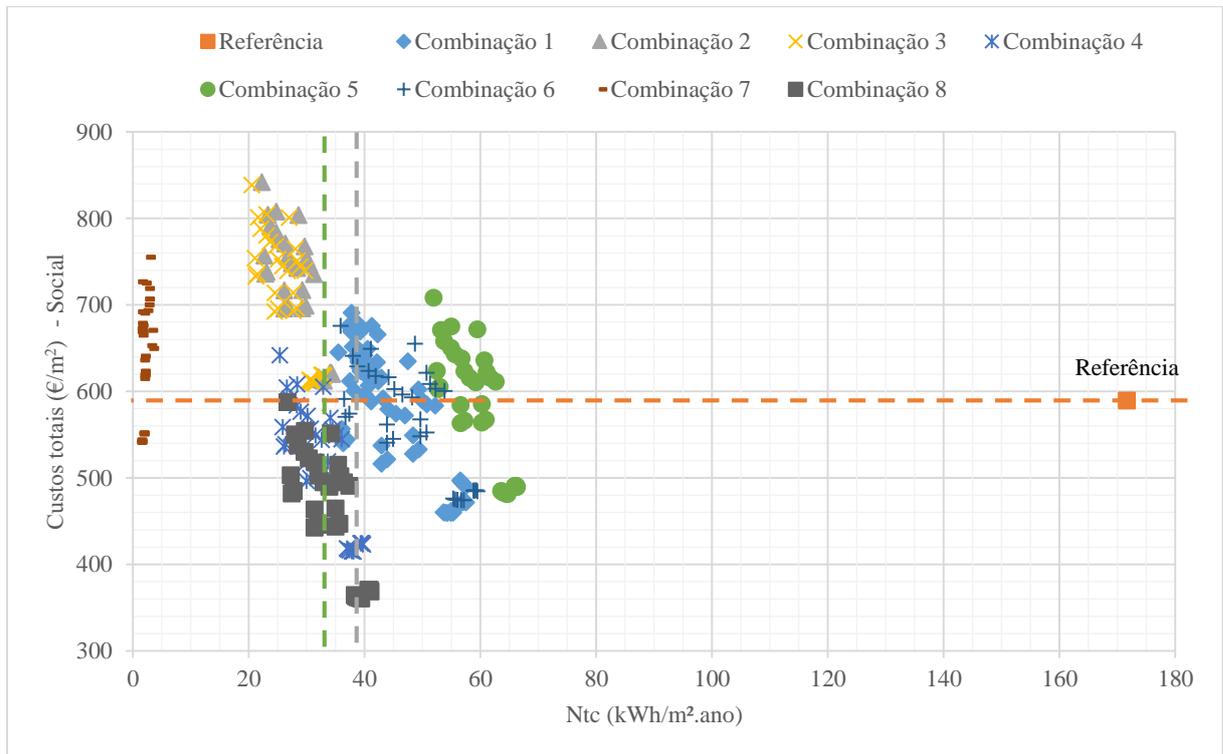


Figura 30 – Avaliação da solução de custo ótimo (componente social)

A utilização de uma caldeira a biomassa apresenta reduções de energia primária de aproximadamente 99% em relação à solução de referência que apresenta apenas um esquentador para AQS. Isto acontece porque foi admitido que a biomassa iria suprimir todas as necessidades de aquecimento e AQS, logo as necessidades de energia primária apenas vão contabilizar as necessidades de arrefecimento, e que são reduzidas. Esta solução coloca as necessidades do edifício muito perto de 0, o que é um ótimo passo para atingir edifícios ZEB.

A medida de custo ótimo não apresenta reduções de 80% de energia, mas apresenta uma redução de energia primária de 77%. A combinação de sistemas para esta medida é a instalação de um sistema de ar condicionado para aquecimento e arrefecimento e um esquentador elétrico para produção de AQS, e todas as medidas para esta combinação apresentam viabilidade económica quando comparadas com a situação base. Para a redução de energia primária pretendida é necessário acoplar a esta combinação de sistemas medidas que incluam uma renovação em todos os elementos da envolvente ou nas paredes exteriores e cobertura. O painel desenvolvido no âmbito do projeto MORE-CONNECT apresenta por si só reduções de 79%, o que quer dizer que quando acrescentamos uma medida aos painéis esta percentagem vai aumentar.

A combinação seguinte que permite reduzir a energia primária, trata-se da combinação 3 e utiliza bombas de calor para servir todas as necessidades energéticas. Esta apesar de trazer bons resultados em termos de redução de energia não apresenta um preço atrativo. Pode-se observar que a variável com o custo mais elevado desta combinação representa um agravamento de 30% ao custo da referência, enquanto que a variável de custo ótimo tem uma redução de 40% do custo total quando comparada com a solução base.

Uma combinação semelhante à anterior é a combinação 2, que contempla bomba de calor para aquecimento e arrefecimento e uma caldeira a gás para produção de AQS, esta apresenta valores de custo muito semelhantes à combinação 3, mas um comportamento térmico ligeiramente inferior. Aliás implica um aumento de energia primária na ordem dos 3 kWh/m².a.

A combinação 4 é semelhante à combinação 2, mas contempla um sistema de ar condicionado ao invés de uma bomba de calor. Esta combinação pode não apresentar reduções de 80% estão relativamente próximo, sendo que algumas até ultrapassam esta redução.

A combinação 1 foi escolhida pois encontra-se vulgarmente nas habitações em Portugal. Muitas das habitações já possuem um esquentador sendo que os ocupantes optam por substituir ou acrescentar equipamentos para aquecimento e arrefecimento. Nenhuma destas variáveis apresenta uma redução de 80% de energia primária, no entanto a maior parte apresenta um custo abaixo do nível de rentabilidade económica.

Em seguida é analisada a combinação 6, que pelas Figuras 27 e 28 se pode considerar pouco viável no sentido que apresenta valores de custo mais elevados que a combinação 1 e ainda apresenta valores de energia primária mais elevados. Esta combinação podia ser comparada à da caldeira a biomassa, mas a caldeira a gás pode ter uma eficiência maior, mas não foi produzida para suprimir as necessidades de aquecimento e AQS. Pode-se verificar que em termos de custos totais não são muito diferentes, no entanto este estudo admite um ciclo de vida de 30 e não considera apenas os custos de investimento.

A combinação 5 considera a colocação de um termoacumulador elétrico. Como se pode verificar na Figuras 29 e 30, em termos de redução de energia, é a medida que pior comportamento demonstra. E os custos que lhe estão associados encontram-se muito perto dos custos da combinação 1.

Foi necessária uma análise quantitativa em termos de redução de energia primária e utilização de energias renováveis, este estudo é apresentado em seguida. Para ser mais fácil a comparação da redução de energia primária entre as medidas foi desenvolvida a Figura 31, esta foi elaborada com os dados da curva de custo ótimo.

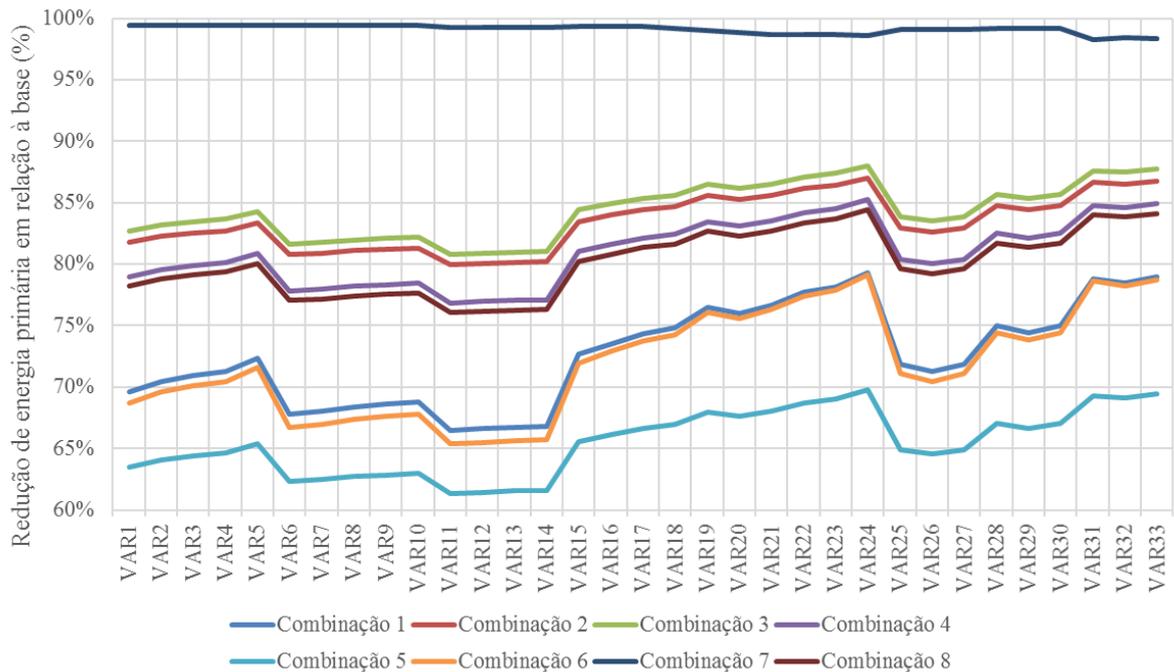


Figura 31 - Percentagem de redução da energia primária das medidas em relação ao edifício de referência

Como já observado na curva de custo ótimo a utilização da biomassa destaca-se das outras medidas com reduções de energia primária acima dos 95%. Em termos de redução de energia primária esta é uma solução ótima. Uma das metas para 2020 é a redução de energia em 80%, sendo que a combinação 2 e 3 se enquadram nesse objetivo. Demonstram reduções pouco acima de 80% e ainda além de 85%, podendo a evolução da tecnologia conduzir à redução do preço das bombas de calor, tornando-os mais interessantes em termos de custo.

Seguem-se as combinações 4 e 8, que era de esperar que se encontrassem tão próximas pois ambas utilizam um sistema de ar condicionado para aquecimento e arrefecimento e a caldeira a gás e esquentador para produção de AQS.

A combinação 6 e a combinação 1 também se encontram próximas. Poderia ser considerado, erradamente, que a combinação 6 iria apresentar reduções de energia mais elevadas que a combinação 1, no entanto isto não acontece pois não se reduzem apenas aos sistemas utilizados para produção de AQS, mas a todas as utilizações e a combinação 1 para aquecimento tem um equipamento com eficiência superior. Finalmente é observada a

combinação 5, que utiliza um termoacumulador para produção de AQS que apresenta uma eficiência bastante reduzida requerendo mais energia para o suportar.

A Figura 32 apresenta a utilização de energia renovável nas diversas variáveis. A escala utilizada começa logo em 20% porque é a meta que se pretende atingir.

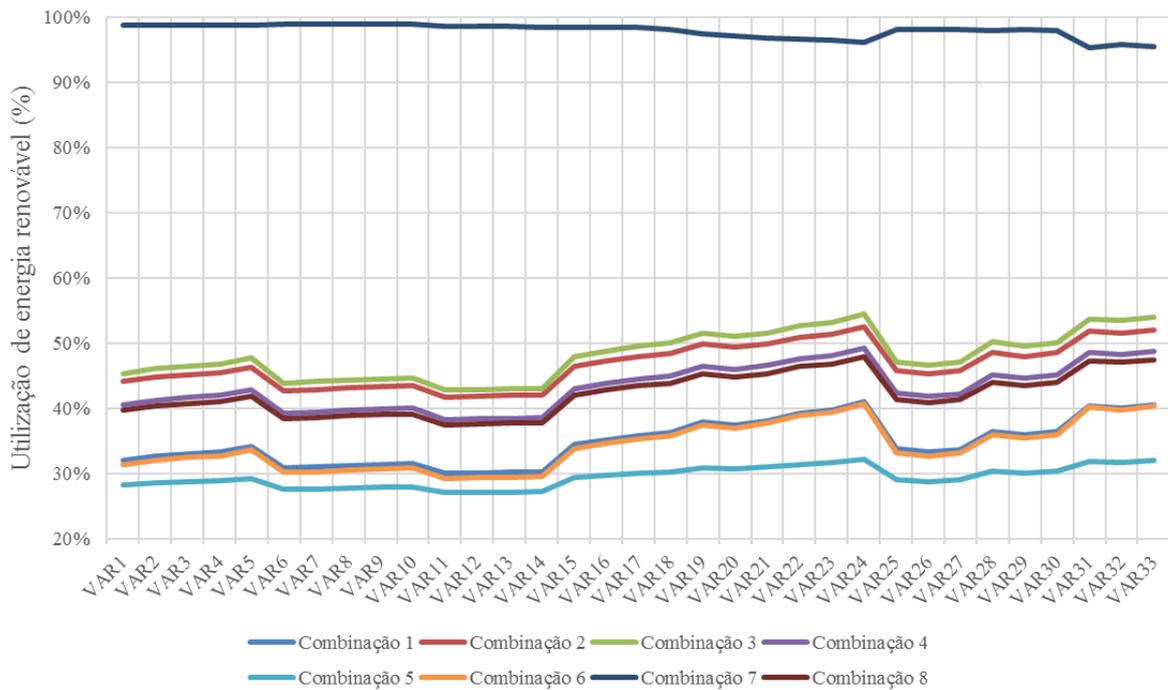


Figura 32 – Percentagem de energia renovável utilizada nas diferentes variáveis

Observando a Figura 31 e a Figura 32 pode-se concluir que a redução da energia primária está estreitamente ligada à utilização de energias renováveis. O estudo da integração de fontes de energia renovável revelou-se bastante positivo, pois em todas as medidas a sua utilização foi acima de 20%, que era o objetivo proposto. Para isto foi apenas necessário considerar coletores solares que quase anulassem as necessidades de produção de AQS.

5.3.3. A viabilidade para ZEB

Numa fase posterior ao estudo feito, já com resultados sólidos, foi acrescentado a algumas variáveis o sistema fotovoltaico. O método adotado para acrescentar painéis fotovoltaicos foi selecionar as variáveis que já se apresentam perto de nZEB, excluindo a biomassa. Isso levou

à redução das variáveis das combinações de sistemas 2, 3 e 8. Apesar de ser importante considerar os custos desta análise, nesta fase não vão ser comparados com a referência.

Na Figura 33 e na Figura 34 é possível observar a comparação das medidas com e sem a contribuição de energia fotovoltaica. Ainda não existe um nível para nZEB, no entanto foram acrescentadas três linhas ao gráfico, uma que demonstra uma redução de energia primária de 80% comparativamente com a situação base (linha cor-de-laranja) e outra onde se apresenta uma redução de 90% (linha amarela), a linha verde apresenta uma redução de 95% comparativamente com a referência.

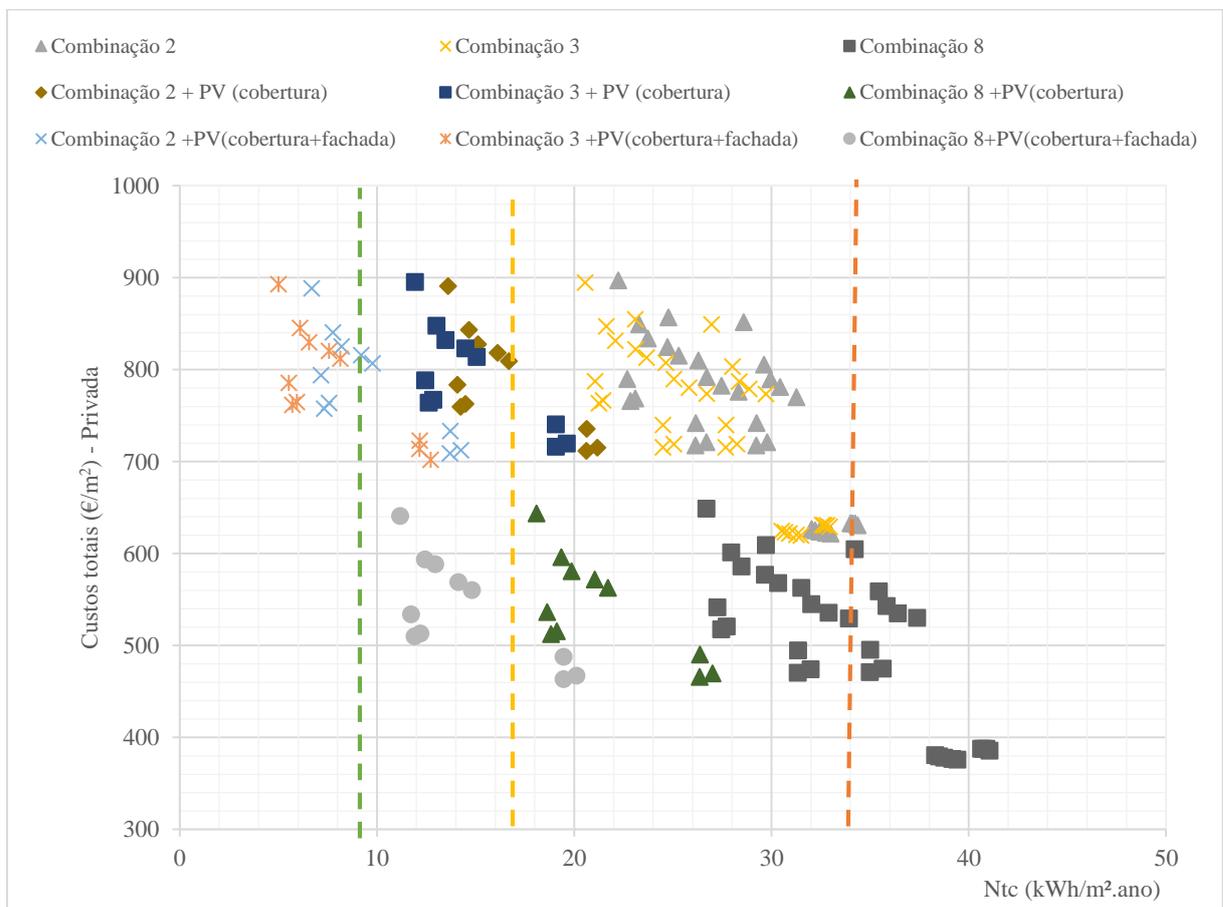


Figura 33 – Comparação de algumas medidas com e sem fotovoltaico (componente privada)

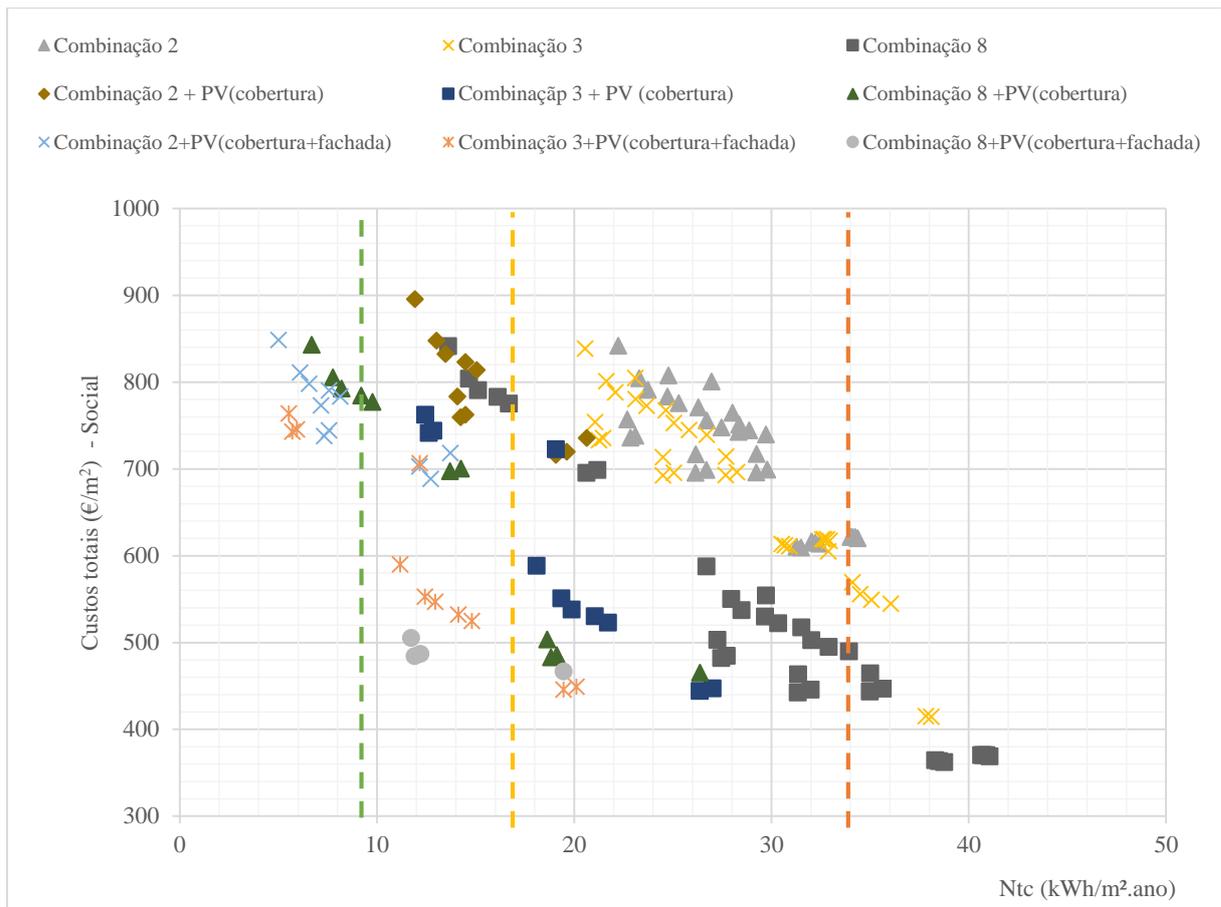


Figura 34 - Comparação de algumas medidas com e sem fotovoltaico (componente social)

Nas Figuras 33 e 34 é demonstrado que as medidas que incluem a instalação de painéis fotovoltaicos apenas na cobertura trazem benefícios em termos de redução de energia primária, no entanto os seus custos sobem ligeiramente em relação à medida sem fotovoltaico. O mesmo não se pode dizer quando são colocados painéis na cobertura e na fachada. É verdade que a energia primária é consideravelmente reduzida, mas o preço não aumenta muito em relação às variáveis sem fotovoltaico. Esta solução está bastante otimizada no sentido não só da redução das necessidades, mas também não aumenta o custo das medidas.

É possível reduzir significativamente as necessidades de energia primária quando são acrescentados painéis fotovoltaicos, essa diminuição é clara na Tabela 34. É possível observar que a instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura permite reduzir cerca de 8 kWh/m².ano e com aplicação na fachada acresce de uma diminuição de 7 kWh/m².ano.

Tabela 34 – Comparação da utilização de energias renováveis (variável com Ntc mais baixa)

Energia renovável	Ntc (kWh/m².ano)	Redução de Ntc em relação à base
Solar térmico	26,71	84,44%
PV (cobertura)	18,09	89,46%
PV (cobertura + fachada)	11,17	93,49%

Esta relação do custo sem e com painéis fotovoltaicos advém dos custos de energia associados às medidas, pois quando a energia é produzida através do sol os ocupantes não a têm de pagar, apenas têm de suportar os custos do investimento inicial e da manutenção dos sistemas ao longo dos anos.

Apesar de Portugal não apresentar limites quantitativos para nZEB, podemos observar nas Figuras 33 e 34 que algumas das medidas de reabilitação apresentam mais de 95% de redução de energia primária, o que conduz a resultados satisfatórios no sentido de tornar o edifício ZEB.

5.4. Análise de sensibilidade

As Figuras 35 e 36 representam as curvas de custo ótimo obtidas, estas apresentam todas as variáveis estudadas. Contêm três linhas que definem diferentes limites, a linha cor-de-laranja define o nível de rentabilidade económica, a linha verde marca o limite de reduções de 80% em relação à base e a linha cinzenta é obtida a partir da variável de custo ótimo.

Propostas de reabilitação energética para o caso de estudo Edifício Engenheiro Mota Pinto (Gaia)

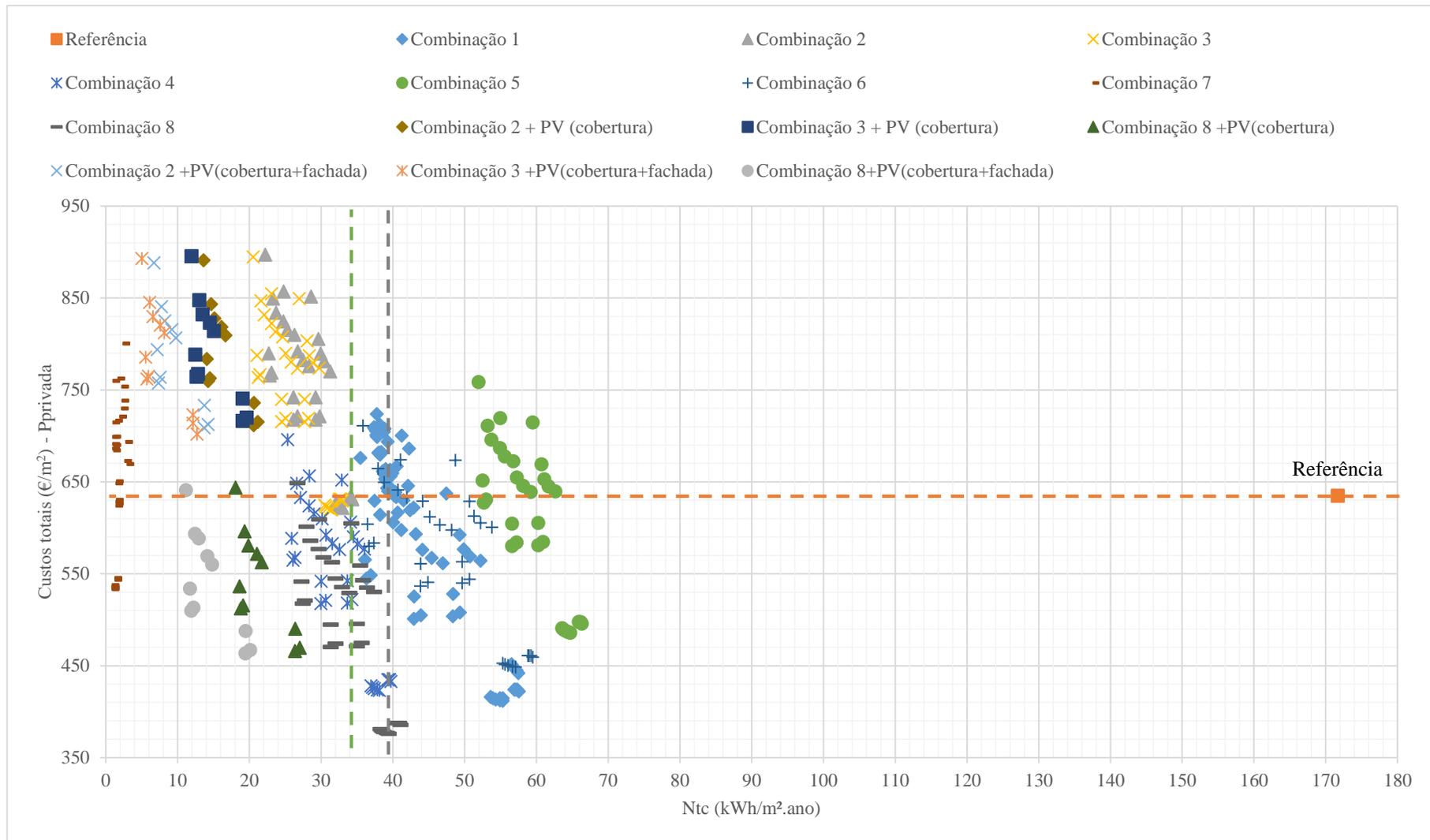


Figura 35 – Curva de custo ótimo (componente privada)

Propostas de reabilitação energética para o caso de estudo Edifício Engenheiro Mota Pinto (Gaia)

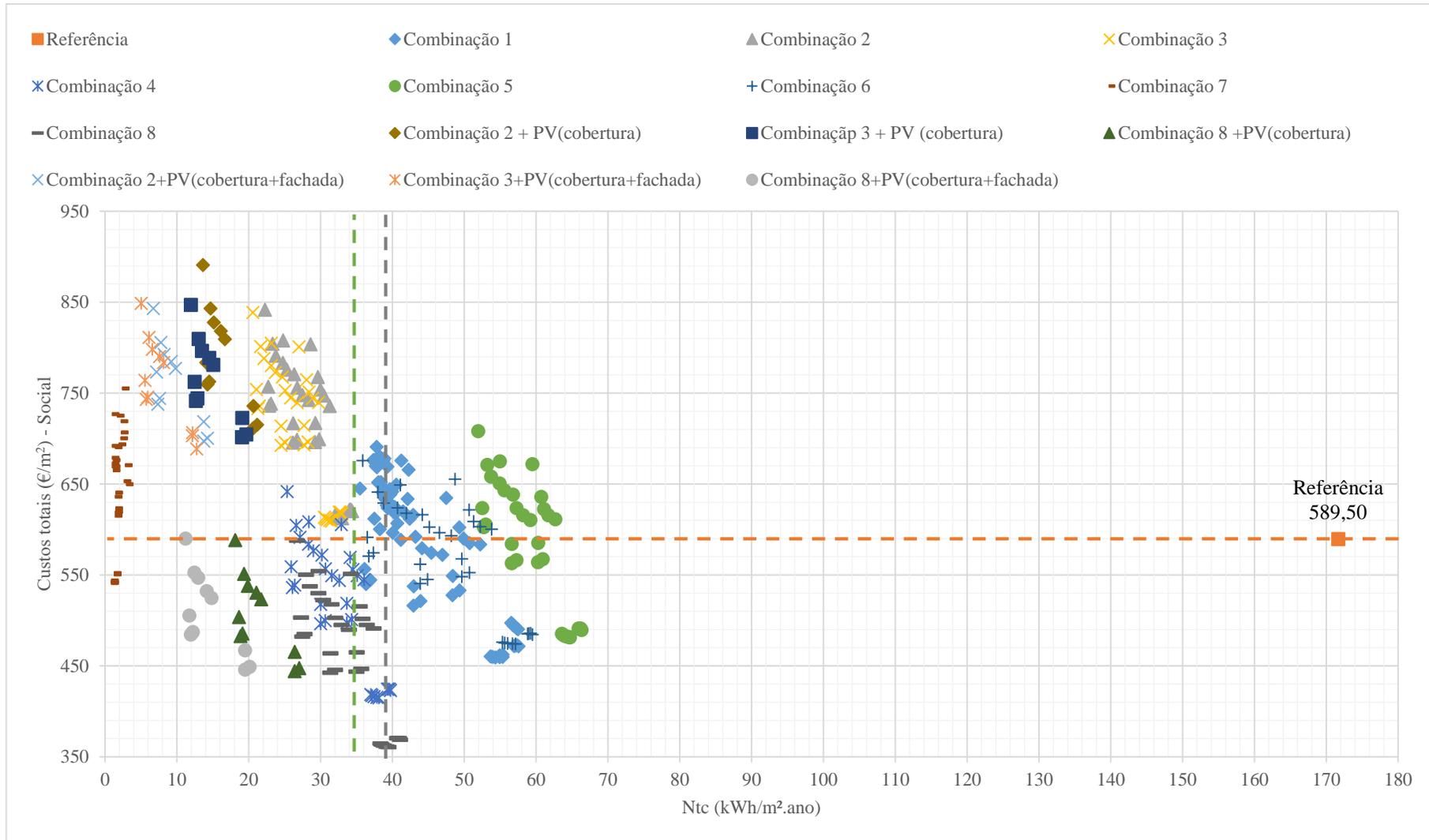


Figura 36 – Curva de custo ótimo (componente social)

Com o apoio das linhas é possível delimitar o gráfico das Figuras 48 e 49 em quatro zonas:

- Melhoria no desempenho energético e redução dos custos globais;
- Melhoria no desempenho energético além do custo ótimo, continuando como uma opção viável quanto à análise do custo;
- Melhoria no desempenho energético, no entanto não traz qualquer vantagem quanto ao custo;
- Redução das necessidades de energia em mais de 80% continuando como viabilidade para o custo ótimo, zona com os objetivos do projeto MORE-CONNECT.

Na realidade foram obtidas variáveis em todas as zonas, mas a zona mais importante para o projeto MORE-CONNECT é a que reduz as necessidades de energia primária em 80% e demonstram viabilidade económica. Uma das combinações que se apresenta nessa zona é a combinação 8, tanto apenas com a instalação de sistemas solares térmicos com também com sistemas fotovoltaicos integrado. A combinação 8, só com o a contribuição dos sistemas solares térmicos, consegue obter reduções de energia até 84%, o que já faz desta uma solução otimizada no sentido da redução de energia primária. No entanto, é possível observar que acrescentando sistemas fotovoltaicos o custo total das medidas não tem um grande aumento, sendo isso positivo. Para a variável de custo ótimo não foi feito esse estudo, mas era provável que esta poderia apresentar bons resultados em termos de custos e redução da energia primária.

Outra das combinações que se encontra na zona delimitada com o propósito do MORE-CONNECT é a combinação 4, que utiliza um sistema de ar condicionado para aquecimento e arrefecimento e uma caldeira a gás para produção de AQS. Nem todas as variáveis desta se encontram na zona desejada, no entanto integra os painéis do MORE-CONNECT e medidas associadas a elementos da envolvente e cobertura. Como já foi referido, as bombas de calor são opções a considerar para a redução de energia, no entanto, as medidas ficam todas acima do nível de rentabilidade económica.

A variável de custo ótimo corresponde à utilização de uma camada de isolamento térmico de 5cm na cobertura com esquentador para produção de AQS e um sistema de ar condicionado para aquecimento e arrefecimento, no entanto esta não se encontra na zona ótima para o definido no projeto MORE-CONNECT então a medida que apresenta as características pretendidas, mais próxima do custo ótimo, é a utilização do painel de 9cm com lã de rocha de

10cm, com os mesmos sistemas técnicos e com sistemas fotovoltaicos na cobertura. A Tabela 35 mostra a diferença de custos e energia primária associada a cada uma.

Tabela 35 – Comparação das medidas de custo ótimo obtidas

Medida	CT (Privada) €/m²	CT (Social) €/m²	Ntc (kWh/m².a)	Redução Ntc em relação à base
Cob_LM50 AC + Esquentador + ST Env_Painel_90(LR_100)	375,98	360,61	39,43	77,03%
AC+Esquentador+ST+PV(cobertura)	465,90	444,16	26,37	84,64%

Os painéis em termos de custos são uma opção bastante viável, apesar de trazerem reduções de energia não muito diferentes de um ETICS demonstram um preço mais reduzido o que os torna, mais desejados em termos de custo total.

5.5. Conclusões

O painel consegue ser viável não só em termos de custos, mas também consegue reduzir substancialmente as necessidades de energia. Por exemplo, a instalação de uma caldeira a biomassa que tanto com o painel de 9cm com lã de rocha e só com o painel de 12 cm conseguem reduções de energia na casa dos 99% continuando viáveis a nível económico. Mas é possível observar que não é só a caldeira a biomassa que traz grandes benefícios pois a colocação de painéis fotovoltaicos demonstra que o custo não aumenta significativamente num período de 30 anos e podiam ter sido estudadas outras geometrias para a colocação dos mesmo que suprimissem de todo as necessidades.

Grande parte das medidas estudadas apresentam uma redução de energia primária bastante satisfatória, tendo em conta que o limite para nZEB não está completamente definido. Em suma as medidas estudadas podem não ser todas satisfatórias em termos de viabilidade económica, no entanto com a evolução da tecnologia algumas destas medidas podem ver os seus preços reduzidos.

Capítulo 6. CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões gerais da presente dissertação, e no seguimento do conteúdo da mesma. Também são apresentadas propostas de trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

O principal objetivo desta dissertação foi estudar a reabilitação energética do edifício piloto do projeto MORE-CONNECT, aplicando a metodologia de cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade. Este estudo teve em linha de conta o edifício de referência que permitiu obter uma análise para um edifício multifamiliar da década de 1990.

A caracterização do edifício base foi crucial, pois permitiu conhecer as necessidades do mesmo baseado na metodologia do REH. Esta metodologia ajudou a conhecer a energia consumida por cada apartamento e assim auxiliar na escolha das medidas de renovação energética. Como muitos edifícios da época, segundo estudos já realizados, o edifício não possui isolamento nas paredes exteriores, sendo este um elemento responsável por grande parte das perdas de calor do edifício. Através da caracterização energética do edifício foi também possível observar que outra grande parte das perdas de energia ocorrem pela cobertura e pelo pavimento do rés-do-chão, que se encontra em contacto com um espaço não útil. De notar, contudo, que a cobertura era o único elemento da envolvente opaca com isolamento.

Os apartamentos interiores, fração B, apresentaram valores mais reduzidos de necessidades de energia primária, dado se encontrarem de alguma forma “protegidos” pelos blocos A e C. As frações da cobertura e do rés-do-chão são as que apresentam as maiores perdas de calor. Esta análise também mostrou que, como as necessidades de aquecimento são bastante superiores às de arrefecimento, suprimindo as necessidades de aquecimento e de produção de AQS seria possível chegar mais próximo de ZEB. Seguidamente à análise energética do edifício foram estudadas várias medidas de reabilitação energética, começou-se pela análise da envolvente opaca e depois pela substituição dos sistemas técnicos.

Foi encontrado um grande leque de medidas para a intervenção da envolvente opaca, no entanto algumas medidas não cumpriam os valores do regulamento ou não eram de utilização corrente em Portugal. É certo que algumas medidas iriam trazer benefícios para o edifício, mas com base em estudos anteriores não era adequado testar medidas que poderiam já não trazer qualquer acréscimo à curva de custo ótimo.

Os sistemas técnicos utilizados no estudo foram variados para permitir uma análise mais vasta sobre a utilização dos mesmos no edifício. A combinação de sistemas para climatização e produção de AQS abrangeu desde o comum esquentador ou termoacumulador elétrico até à utilização de bombas de calor. Quanto ao recurso a energia renovável foram utilizados coletores solares, caldeiras a biomassa (pellets) e painéis fotovoltaicos. Estes sistemas seguem uma ordem segundo determinados critérios, nomeadamente a sua eficiência, sendo que o que traz mais redução de consumo energético é a biomassa (99,47%) ao contrário da utilização do termoacumulador para produção de AQS (66,51%). Estas percentagens pertencem à variável que demonstra mais viabilidade para chegar a ZEB.

A análise de rentabilidade demonstrou algumas medidas abaixo do nível de rentabilidade, o que apresenta um resultado positivo para a redução de energia primária a um custo reduzido e desta forma rentável.

Outro objetivo desta dissertação era encontrar medidas de reabilitação energética que reduzissem 80% da energia primária, medidas em que fosse possível a utilização de 20% de energia renovável, a obtenção de medidas de custo ótimo e a utilização de energias renováveis para tornar atingível o nível de ZEB. Na realidade a medida escolhida que engloba todas as metas a atingir pela dissertação é o painel pré-fabricado desenvolvido no âmbito do projeto MORE-CONNECT de 9 cm com 10 cm de lã mineral. Esta medida não foi a de custo ótimo e apresenta uma diferença de cerca de 90 €/m² nos custos da componente privada em relação à variável de custo ótimo. No entanto apresenta uma redução de 84.64% em relação ao edifício de referência nas necessidades de energia primária.

A viabilidade dos painéis do MORE CONNECT dependeu essencialmente do preço que lhes foi atribuído visto o seu comportamento térmico ser muito próximo de um ETICS, sendo que o ETICS estudado (EPS de 12cm) ter ligeiras melhorias em relação à redução de energia

primária, na maior parte dos sistemas nem passa de 1% de diferença. No entanto é de salguardar que o painel de 12 cm utiliza uma manta de lã de rocha de 8 cm, então em teoria a comparação devia ser feita com ETICS de 20 cm, que é uma espessura que é pouco utilizada para Portugal por causa do seu clima temperado.

Esta dissertação apresenta um estudo detalhado de soluções para a reabilitação energética de um edifício específico, transmitindo que a intervenção a nível global é bastante positiva aquando duma análise económica. Contudo, a ligação da envolvente, dos sistemas e da produção de energias renováveis é igualmente importante e apenas através de uma análise das três vertentes é possível chegar a uma medida que atinja todas as metas definidas pelo projeto MORE-CONNECT e que ajudam a atingir aos objetivos de redução de energia para 2020.

6.2. Trabalhos futuros

A continuação e aprofundamento do trabalho apresentado é sempre possível com a evolução das tecnologias de reabilitação de fachadas, sistemas técnicos, utilização de energias renováveis e atualização das taxas de juro.

Finalizando a execução deste estudo é preciso admitir que a simulação de mais tipos de isolamento, mais combinações de sistemas, uma diferente evolução nas taxas de desconto iria contribuir para um acréscimo a este documento. Podem também ser estudadas outras variações como o tipo de edifício, a data de construção e as soluções construtivas que este apresenta.

Referências bibliográficas

Almeida, M., 2012 – *Reabilitação energética dos edifícios (Perspectiva da Engenharia Civil)*: apresentação das 12.as Jornada de Climatização, o AVAC na reabilitação nos sectores residencial, serviços e indústria. Lisboa.

Almeida, M., Ferreira, M., Rodrigues, A. – *Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo. Reabilitação energética do parque residencial*. Revista Materiais de construção. Nº 165 (2011).

Almeida, M., Ferreira, M., Rodrigues, A. - *Soluções otimizadas de reabilitação de edifícios residenciais para atingir os nZEB*. Seminário Paredes de Alvenaria. 2015.

Barthelmes, V. M., Becchio, C., Corgnati, S.P., Guala, C., Lequio, M. - *Replicability of nZEBs on real estate market in Mediterranean countries*. Energy Procedia. Nº82 (2015).

Cóias, V., Fernandes, S., 2008 – *Reabilitação energética dos edifícios existentes: apresentação do Seminário Eficiência energética em edifícios*. Beja.

Comissão Europeia – Energia 2020 (*Estratégia para uma energia competitiva, sustentável e segura*). 2010. Bruxelas. SEC 1346.

Comissão Europeia - *Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE(nº 244/2012 da Comissão, de 16 de janeiro de 2012, que complementa a Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e das componente de edifícios*. C115/1. 2012.

Congedo, P. M., Baglivo, C., D'Agostino, D., Zacà, I. - *Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates*. Energy Nº 91 (2015).

CYPE Ingenieros S.A. (n.d.) - *Gerador de preços para construção civil*. Portugal. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info> (Acedido 2016).

DGEG – *Relatório de Monitorização da segurança de abastecimento do Sistema eléctrico nacional 2013-2030*. 2013.

DGEG – *Renováveis*. Estatísticas rápidas Nº 35. 2016.

DIÁRIO DA REPUBLICA – 2ª série. Nº 234. 3 de Dezembro de 2013.

DIÁRIO DA REPUBLICA – *Decreto Lei Nº118/2013 de 20 de agosto*. 1ª série. Nº 159. 2013.

DIÁRIO DA REPUBLICA – *Portaria n.º 349-B/2013 de 5 de Junho*. 1ª série. Nº 232. 2013

ENEGI, APREN – *Parques eólicos em Portugal*. 2014.

European Climate Foundation - *Roadmap 2050*. 201. <http://doi.org/10.2833/10759>.

Fernandes, E. – *Energia em Portugal (ponto de situação): em conferência as energias do presente e do futuro*. FEUP. 2005.

Ferrara, M., Fabrizio, E., Virgone, J., Filippi, M. - *A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings*. Energy Build Nº84. 2014.

Ferreira, M., Almeida, M. - *Benefits from energy related building renovation beyond costs, energy and emissions*. Energy Procedia Nº78. 2015.

Guimarães, J. - *Otimização de custos, consumos energéticos e emissões de gases com efeito de estufa na reabilitação de edifícios residenciais de baixa densidade*. Universidade do Minho. 2015. Dissertação de Mestrado Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Civil.

IEA - *World Energy Outlook*. 2011.

INE - *Consumo de electricidade (kWh) nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual por Localização geográfica e Tipo de utilização (electricidade)*. Disponível em: <http://www.ine.pt> (acedido 2016).

Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G., Necula, H., Badea, A. - *The historical evolution of the energy efficient buildings*. Renewable and Sustainable Energy Reviews Nº 49.2015.

Mestre, A., Iten, M., Almeida, M. – *Soluções de reabilitação de fachadas como contributo para assegurar os nZEB: um caso de estudo em Portugal*: em Seminário Reabilitação de Fachadas. Universidade do Minho 2016.

MORE-CONNECT – Disponível em: <http://www.more-connect.eu/>. (acedido 2016).

Nogueira, J. - *Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional - ciclo de vida, independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono*. Universidade Fernando Pessoa. 2014. Dissertação de mestrado conducente ao grau de mestre em Engenharia Civil.

Parlamento Europeu e do Conselho - *DIRECTIVA 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios*. L1/65. 2003.

Parlamento Europeu e do Conselho - *DIRECTIVA 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. L153/13. 2010.

PORDATA - *Consumo Energia eléctrica Total e por Sector Actividade Económica*. Disponível em: <http://www.pordata.pt> (acedido 2016).

PVGis - Disponível em: <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php> (acedido 2016).

Santos, C., Matias, L. - *ITE 50 (Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios)*. Lisboa. 2006.

Silva, V. - *Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício*. Universidade do Minho. 2013. Dissertação de Mestrado em Construção Reabilitação Sustentáveis.

Technical Committee - *Energy Efficiency for Buildings - Standard economic evaluation procedure for energy systems in buildings*. CEN/TC 228 N565.2006.

Anexos

Anexo I - Soluções construtivas

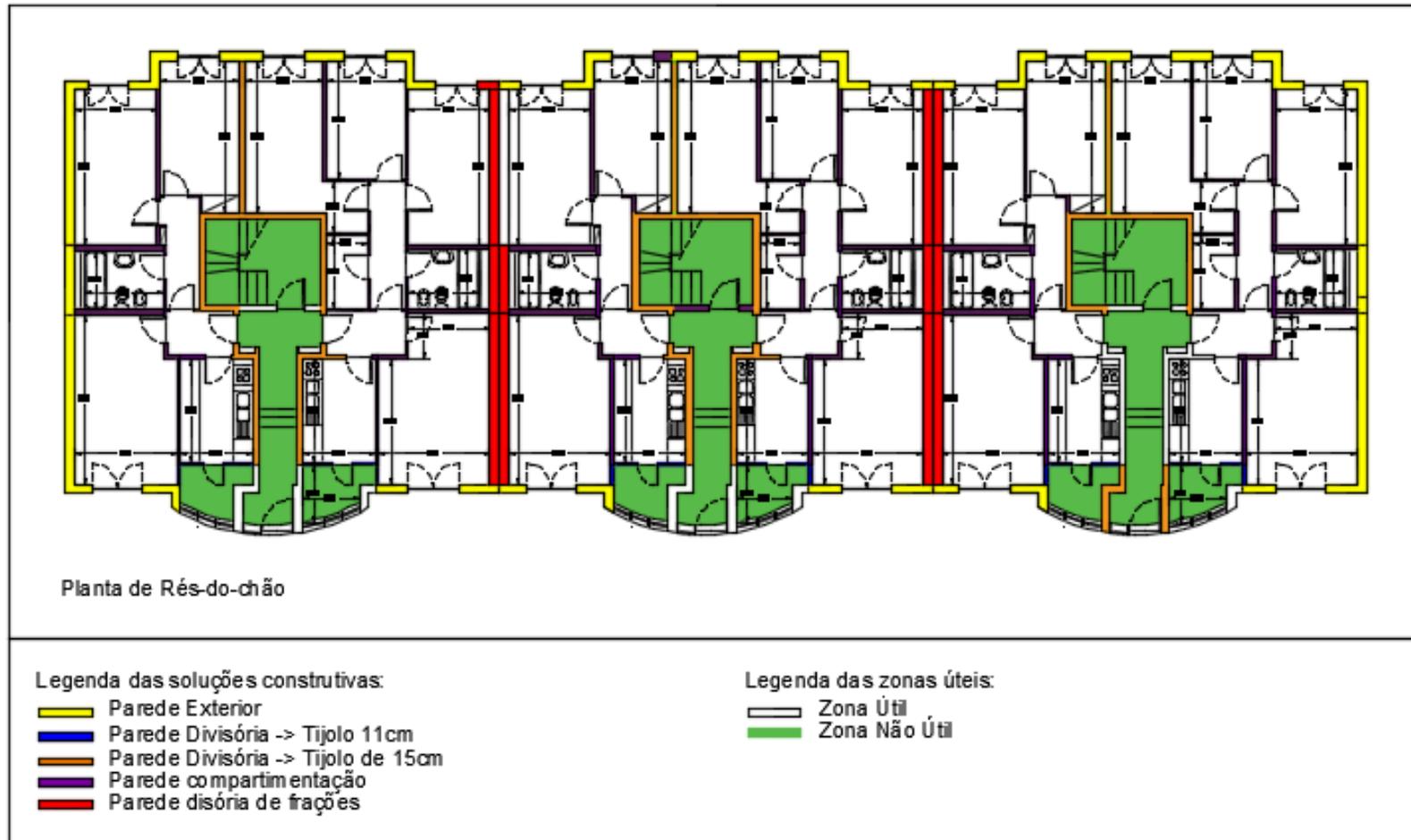


Figura I.1 - Soluções construtivas – Planta do Rés-do-chão

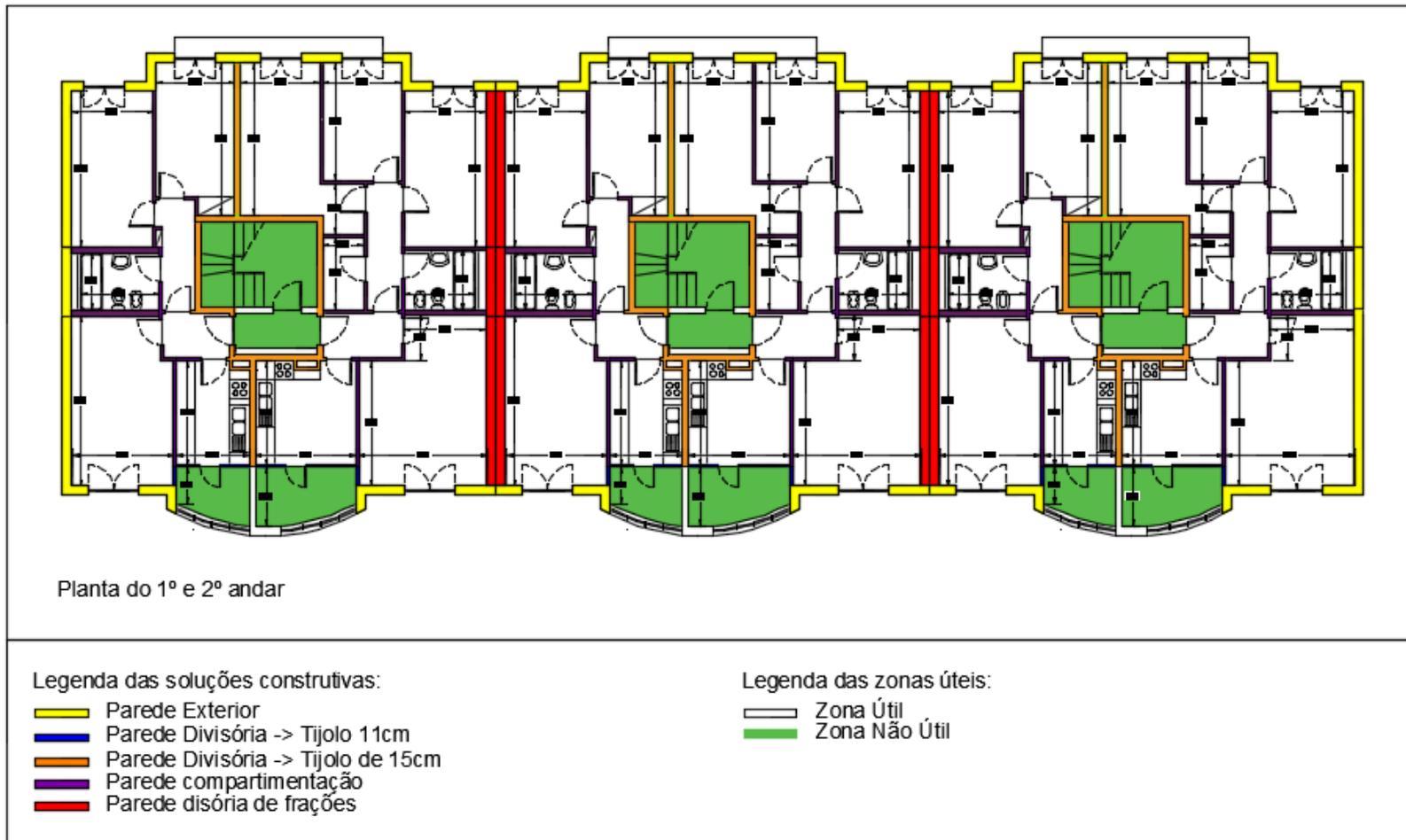


Figura I.2 - Soluções construtivas – Planta do 1º e 2º andar

Anexo II - Definição da envolvente

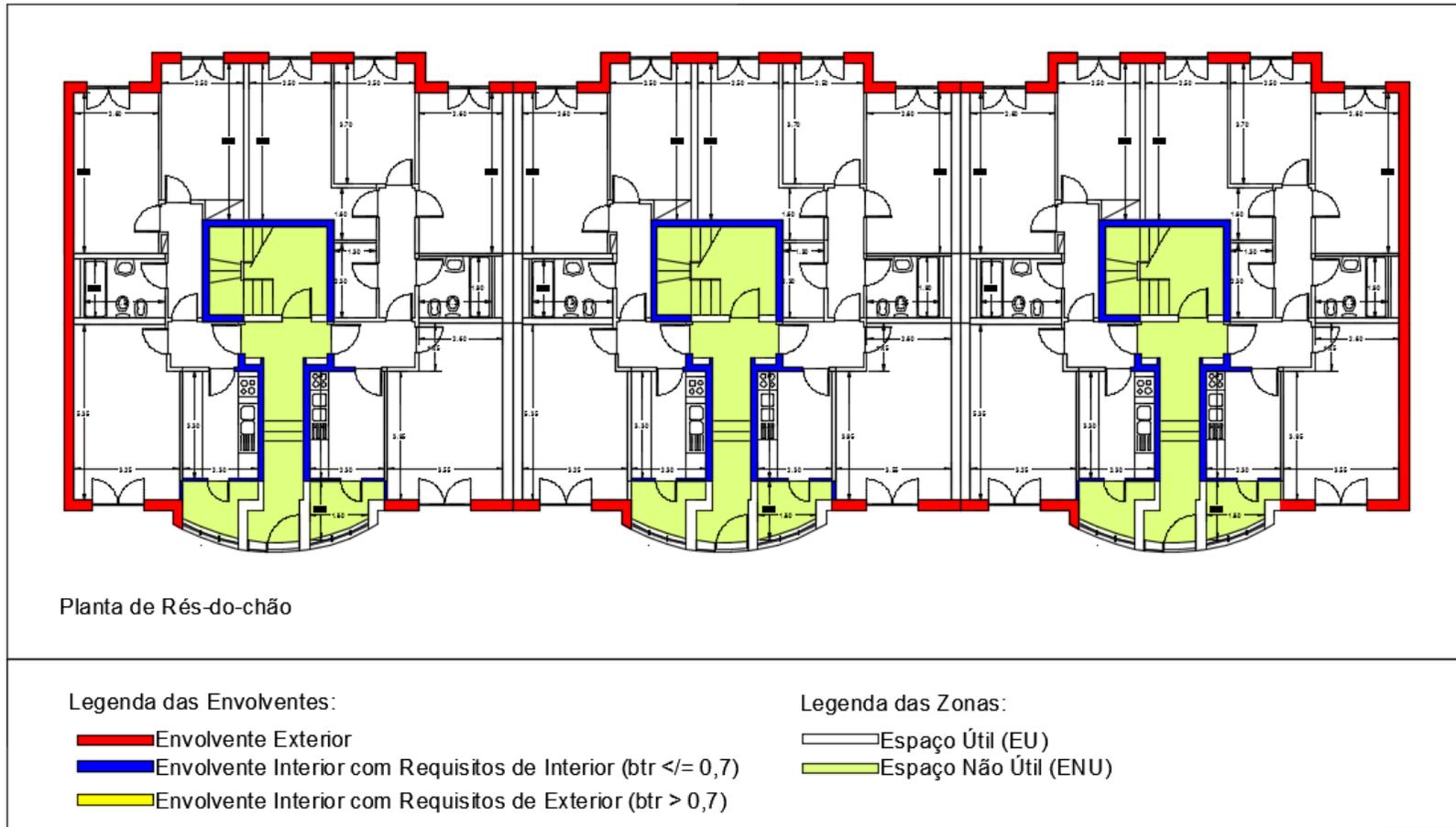


Figura II. 1 - Definição da envolvente – Planta do rés-do-chão

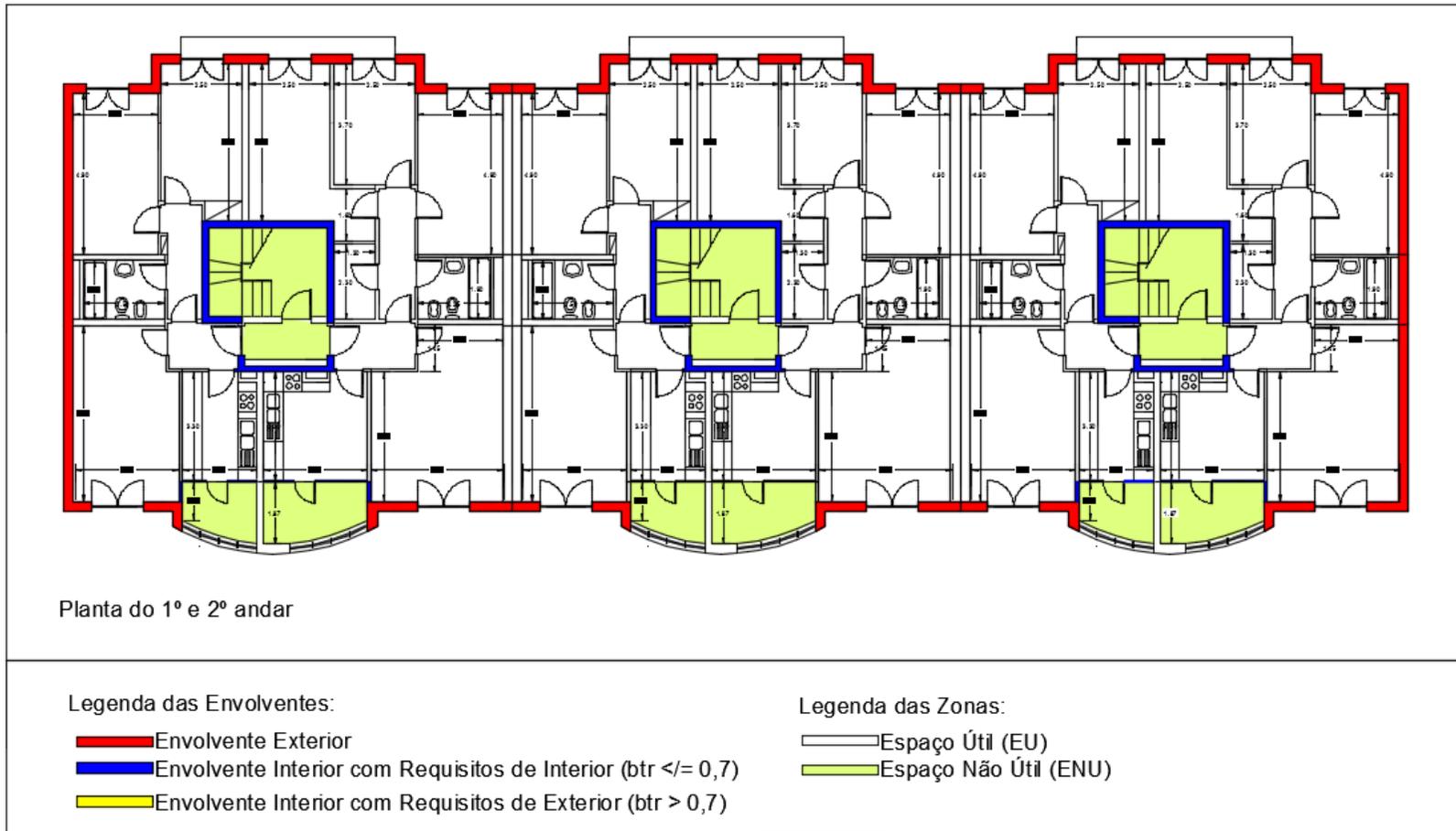


Figura II. 2 - Definição da envolvente – Planta do 1º e 2º andar

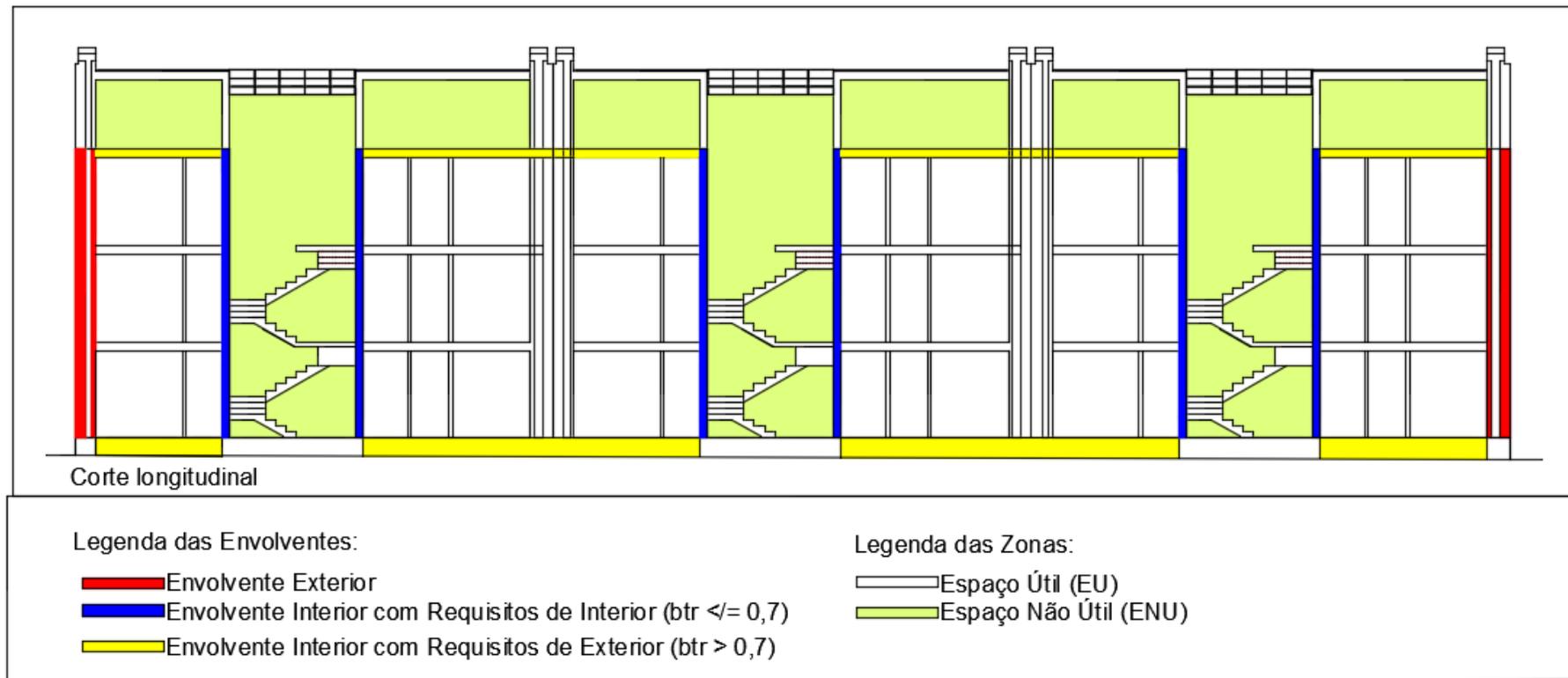
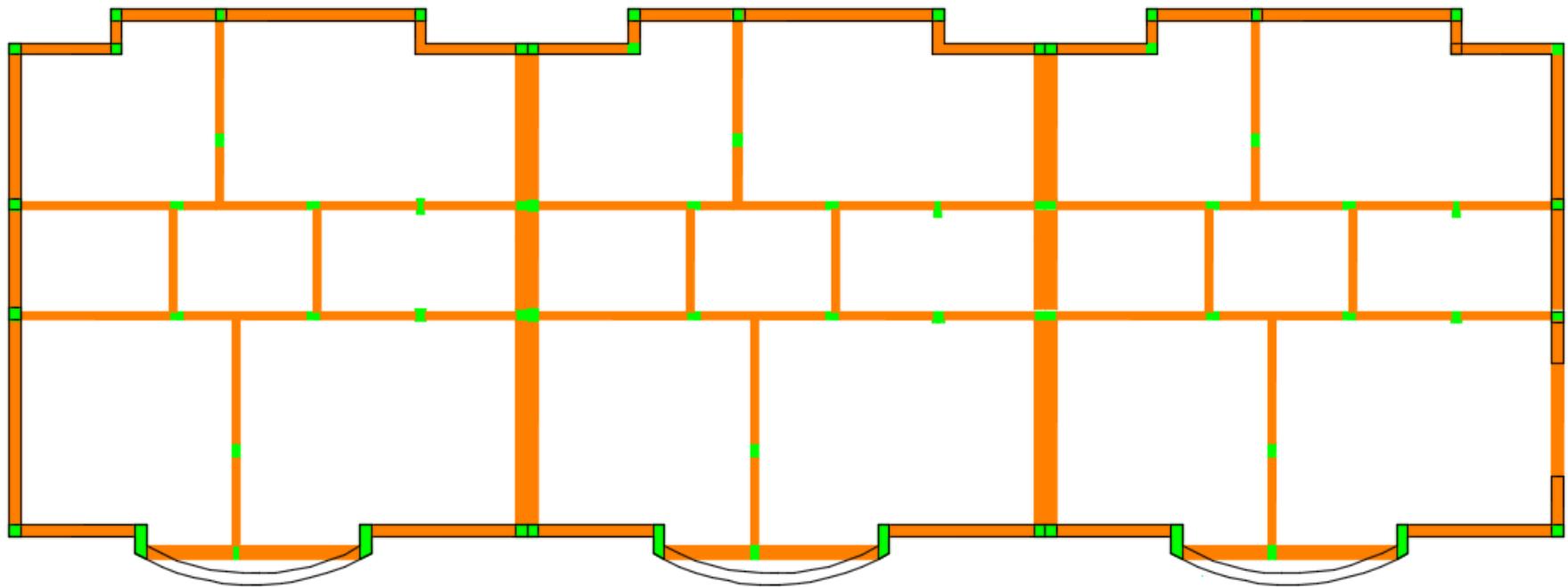


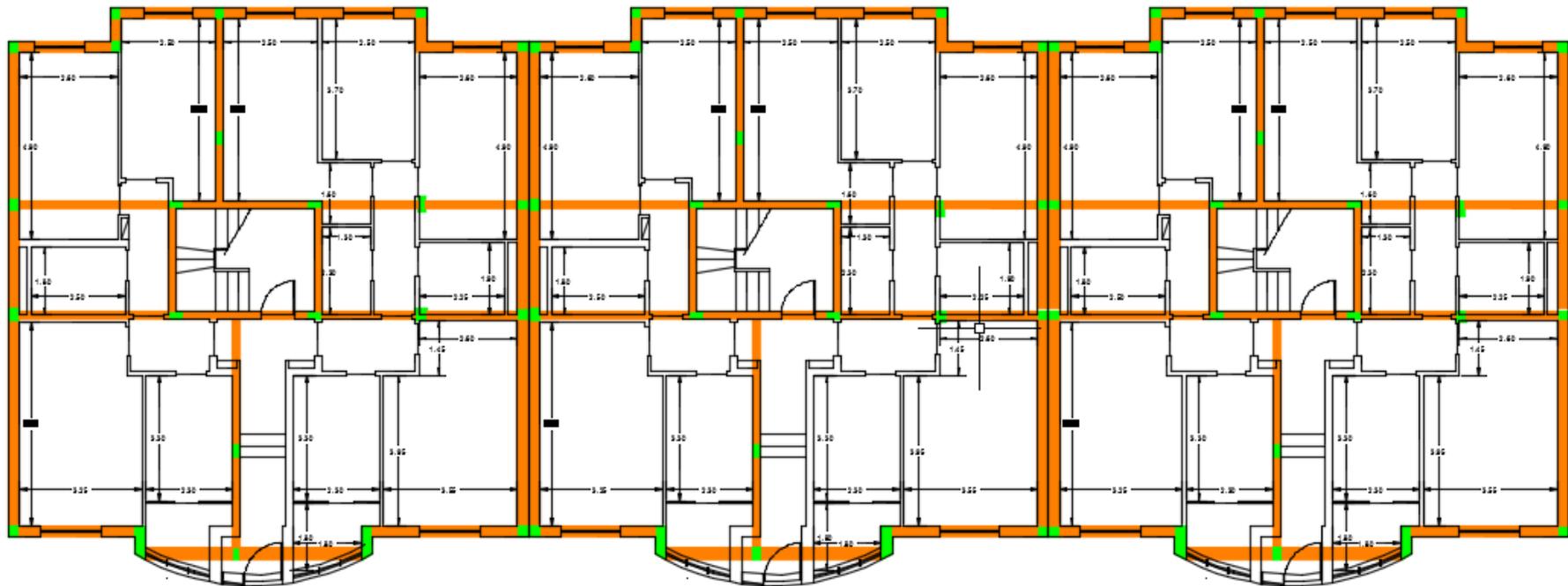
Figura II. 3 - Definição da envolvente – Corte longitudinal

Anexo III - Definição das pontes térmicas planas



Planta da Cave

Figura III. 1 - Definição das pontes térmicas planas – Planta da cave



Planta de Rés-do-chão

Figura III. 2 - Definição das pontes térmicas planas – Planta do rés-do-chão

Anexo IV - Avaliação energética do edifício

Tabela IV. 1 - Avaliação energética do edifício

Blocos	Andar	Apart	Área	Nic (kWh/m2.a)	Nvc (kWh/m2.a)	Qa (kWh/a)	Wvm (kWh/a)	Eren (kWh/a)	Eren,ext (kWh/a)	Ntc/Nt	Emissões de CO2 (t/a)	Ntc (kWh/m2.a)
C	RC	Esq	60,76	73,01	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,79	2,00	221,64
		Dir	76,4925	51,78	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,74	1,97	170,88
	1	Esq	60,49	52,18	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,66	1,54	169,76
		Dir	81,635	25,60	4,59	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,34	106,66
	2	Esq	60,49	82,07	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,80	2,19	244,47
		Dir	81,635	57,64	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,98	2,23	182,94
B	RC	Esq	60,76	52,12	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,75	1,54	169,43
		Dir	76,4925	51,78	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,74	1,97	170,88
	1	Esq	60,49	27,25	5,09	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,79	1,04	111,67
		Dir	81,635	25,60	4,59	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,34	106,66
	2	Esq	60,49	58,31	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,91	1,67	185,09
		Dir	81,635	57,64	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,98	2,23	182,94
A	RC	Esq	60,76	52,12	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,75	1,54	169,43
		Dir	76,4925	71,85	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,73	2,52	221,07
	1	Esq	60,49	27,25	5,09	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,79	1,04	111,67
		Dir	81,635	44,27	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,68	1,84	149,50
	2	Esq	60,49	58,31	0,00	1783,00	0,00	0,00	0,00	1,91	1,67	185,09
		Dir	81,635	80,09	0,00	2377,00	0,00	0,00	0,00	1,95	2,89	239,05
Edifício				52,51	1,08	2120,88	0,00	0,00	0,00	1,82	1,84	171,66

Anexo V – Variáveis analisadas como medidas de reabilitação energética*Tabela V. 1 - Paredes exteriores*

Envoltante opaca (Paredes exteriores)				
Solução	U	Pontes térmicas planas		
		Pilar	Viga	Caixa de estore
EPS_20	-	-	-	-
EPS_30	-	-	-	-
EPS_40	0,47	0,69	0,69	0,58
EPS_50	0,42	0,59	0,59	0,50
EPS_60	0,37	0,51	0,51	0,44
EPS_70	0,34	0,45	0,45	0,40
EPS_80	0,31	0,40	0,40	0,37
EPS_90	0,29	0,36	0,36	0,33
EPS_100	0,27	0,33	0,33	0,30
EPS_120	0,24	0,28	0,28	0,26
LM_40	0,45	0,67	0,67	0,56
LMN_50	0,40	0,56	0,56	0,48
LM_60	0,36	0,49	0,49	0,43
LM_80	0,30	0,38	0,38	0,34
LM_60	0,37	0,50	0,50	0,43
LM_80	0,31	0,39	0,39	0,35
LM_100	0,26	0,32	0,32	0,29
LM_120	0,23	0,27	0,27	0,25
LM_140	0,20	0,24	0,24	0,22
EPS_120	0,20	0,24	0,24	0,22
EPS_140	0,18	0,21	0,21	0,19
EPS_160	0,17	0,18	0,18	0,17
EPS_180	0,15	0,16	0,16	0,16
EPS_200	0,14	0,15	0,15	0,14
LM_140	0,20	0,24	0,24	0,22
LM_160	0,18	0,21	0,21	0,20
LM_180	0,17	0,19	0,19	0,18
LM_200	0,15	0,17	0,17	0,16
XPS_40	0,46	0,68	0,68	0,56
XPS_50	0,41	0,57	0,57	0,49
LM_60	0,34	0,44	0,44	0,39
LM_85	0,27	0,33	0,33	0,30
LM_100	0,24	0,29	0,29	0,26
LM_45	0,43	0,56	0,56	0,48
LM_65	0,35	0,42	0,42	0,37
LM_85	0,29	0,33	0,33	0,30
LM_30	-	-	-	-

Tabela V. 2 - Paredes exteriores (continuação)

Envolvente opaca (Paredes exteriores)				
Solução	U	Pontes térmicas planas		
		Pilar	Viga	Caixa de estore
LM_40	0,45	0,66	0,66	0,55
LM_50	0,40	0,55	0,55	0,48
LM_75	0,31	0,40	0,40	0,36
LM_100	0,25	0,31	0,31	0,28
LM_120	0,23	0,26	0,26	0,24
LM_140	0,20	0,23	0,23	0,21

Tabela V. 3 - Cobertura

Envolvente opaca (Cobertura)	
Solução	U
LM_50	0,37
LM_60	0,36
LM_30	-
LM_40	-
LM_50	0,39
LM_60	0,36
LM_80	0,30
LM_100	0,26
LM_120	0,23
LM_160	0,22
LM_200	0,18
LM_220	0,16
LM_260	0,14
LM_100	0,31
LM_130	0,25
LM_150	0,22
LM_170	0,20
LM_200	0,16
XPS_30	-
XPS_40	-
XPS_50	-
XPS_60	-
XPS_70	0,40
XPS_80	0,36
PIR_30	-
PIR_40	-
PIR_50	-
PIR_60	-

Tabela V. 4 - Pavimento sobre a cave

Envoltente opaca (Pavimento sobre a cave)			
Mudança	U	Msi	r
LM_30	-	-	-
LM_40	-	-	-
LM_50	0,36	12,50	0,25
LM_60	0,33	12,50	0,25
LM_70	0,30	12,50	0,25
LM_80	0,28	12,50	0,25
LM_90	0,26	12,50	0,25
LM_100	0,24	12,50	0,25
ICB_25	-	-	-
ICB_30	-	-	-
ICB_40	-	-	-
ICB_50	0,37	5,50	0,25
ICB_60	0,34	6,60	0,25
ICB_70	0,31	7,70	0,25
ICB_80	0,29	8,80	0,25
LR_30	-	-	-

Tabela V. 5 - Envolvente envidraçada

Envolvente envidraçada											
Solução	U	Composição do vidro	$g_{L,vi}$	Tipo de proteção (EXT)	g_{Tvc}	Tipo de proteção (INT)	g_{Tvc}	F_g	$F_{w,i}$	g_T	g_i
PVC	2,50	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,30	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,40	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,10	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,00	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
AL	2,70	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,70	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,50	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68
	2,30	5+16+5	0,75	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,04	Cortina ligeiramente transparente	0,38	0,70	0,90	0,04	0,68

Anexo VI – Variáveis para o estudo da curva de custo ótimo*Tabela VI. 1 - Variáveis para o estudo da curva de custo ótimo*

VAR	Paredes exteriores	U	Cobertura	U	Pavimento	U	Envidraçados
VAR1	EPS40	0,47	LM50	0,37	LM50	0,36	AL2,5
VAR2	EPS60	0,37	LM60	0,36	LM60	0,33	AL2,5
VAR3	EPS80	0,31	LM80	0,30	LM80	0,28	AL2,5
VAR4	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM90	0,26	AL2,5
VAR5	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM100	0,24	AL2,5
VAR6	EPS40	0,47	LM50	0,37	LM50	0,36	PVC2,1
VAR7	EPS60	0,37	LM60	0,36	LM60	0,33	PVC2,1
VAR8	EPS80	0,31	LM80	0,30	LM80	0,28	PVC2,1
VAR9	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM90	0,26	PVC2,1
VAR10	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM100	0,24	PVC2,1
VAR11	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM50	0,36	PVC2,1
VAR12	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM60	0,33	PVC2,1
VAR13	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM80	0,28	PVC2,1
VAR14	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM90	0,26	PVC2,1
VAR15	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM100	0,24	PVC2,1
VAR16	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM50	0,36	PVC2,1
VAR17	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM60	0,33	PVC2,1
VAR18	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM80	0,28	PVC2,1
VAR19	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM90	0,26	PVC2,1
VAR20	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM100	0,24	PVC2,1
VAR21	EPS80	0,31	LM50	0,37	LM80	0,28	PVC2,1
VAR22	EPS80	0,31	LM60	0,36	LM80	0,28	PVC2,1
VAR23	EPS80	0,31	LM80	0,30	LM80	0,28	PVC2,1
VAR24	EPS80	0,31	LM100	0,33	LM80	0,28	PVC2,1
VAR25	EPS80	0,31	LM120	0,28	LM80	0,28	PVC2,1
VAR26	EPS100	0,27	LM50	0,37	LM90	0,26	PVC2,1
VAR27	EPS100	0,27	LM60	0,36	LM90	0,26	PVC2,1
VAR28	EPS100	0,27	LM80	0,30	LM90	0,26	PVC2,1
VAR29	EPS100	0,27	LM100	0,26	LM90	0,26	PVC2,1
VAR30	EPS100	0,27	LM120	0,22	LM90	0,26	PVC2,1
VAR31	EPS120	0,20	LM50	0,37	LM100	0,24	PVC2,1
VAR32	EPS120	0,20	LM60	0,36	LM100	0,24	PVC2,1
VAR33	EPS120	0,20	LM80	0,30	LM100	0,24	PVC2,1
VAR34	EPS120	0,20	LM100	0,26	LM100	0,24	PVC2,1
VAR35	EPS120	0,20	LM120	0,22	LM100	0,24	PVC2,1
VAR36	EPS100	0,27	ICB50	0,37	LM90	0,26	PVC2,1
VAR37	EPS100	0,27	ICB60	0,34	LM90	0,26	PVC2,1
VAR38	EPS100	0,27	ICB70	0,31	LM90	0,26	PVC2,1

Tabela VI. 2 - Variáveis para o estudo da curva de custo ótimo (continuação)

VAR	Paredes exteriores	U	Cobertura	U	Pavimento	U	Envidraçados
VAR39	EPS100	0,27	ICB80	0,29	LM90	0,26	PVC2,1
VAR40	EPS120	0,20	ICB50	0,37	LM100	0,24	PVC2,1
VAR41	EPS120	0,20	ICB60	0,34	LM100	0,24	PVC2,1
VAR42	EPS120	0,20	ICB70	0,31	LM100	0,24	PVC2,1
VAR43	EPS120	0,20	ICB80	0,29	LM100	0,24	PVC2,1
VAR44	EPS100	0,27	XPS_70	0,40	LM90	0,26	PVC2,1
VAR45	EPS100	0,27	XPS_80	0,36	LM90	0,26	PVC2,1
VAR46	EPS120	0,20	XPS_70	0,40	LM100	0,24	PVC2,1
VAR47	EPS120	0,20	XPS_80	0,36	LM100	0,24	PVC2,1
VAR48	XPS40	0,46	LM50	0,37	LM50	0,36	PVC2,1
VAR49	XPS50	0,41	LM60	0,36	LM60	0,33	PVC2,1
VAR50	LM40	0,45	LM50	0,37	LM50	0,36	PVC2,1
VAR51	LM60	0,36	LM60	0,36	LM60	0,33	PVC2,1
VAR52	LM80	0,30	LM80	0,30	LM80	0,28	PVC2,1
VAR53	LM100	0,33	LM100	0,26	LM90	0,26	PVC2,1
VAR54	LM120	0,28	LM120	0,22	LM100	0,24	PVC2,1
VAR55	EPS40	0,47	-	-	-	-	-
VAR56	EPS60	0,37	-	-	-	-	-
VAR57	EPS80	0,31	-	-	-	-	-
VAR58	EPS100	0,27	-	-	-	-	-
VAR59	EPS120	0,20	-	-	-	-	-
VAR60	-	-	LM50	0,37	-	-	-
VAR61	-	-	LM60	0,36	-	-	-
VAR62	-	-	LM80	0,30	-	-	-
VAR63	-	-	LM100	0,26	-	-	-
VAR64	-	-	LM120	0,22	-	-	-
VAR65	-	-	XPS70	0,40	-	-	-
VAR66	-	-	XPS80	0,36	-	-	-
VAR67	-	-	-	-	LM50	0,36	-
VAR68	-	-	-	-	LM60	0,33	-
VAR69	-	-	-	-	LM80	0,28	-
VAR70	-	-	-	-	LM90	0,26	-
VAR71	-	-	-	-	LM100	0,24	-
VAR72	-	-	-	-	ICB50	0,37	-
VAR73	-	-	-	-	ICB60	0,34	-
VAR74	-	-	-	-	ICB70	0,31	-
VAR75	-	-	-	-	ICB80	0,29	-
VAR76	EPS40	0,47	LM50	0,37	-	-	-
VAR77	EPS60	0,37	LM60	0,36	-	-	-
VAR78	EPS80	0,31	LM80	0,30	-	-	-
VAR79	EPS100	0,27	LM100	0,26	-	-	-

Tabela VI. 3 - Variáveis para o estudo da curva de custo ótimo (continuação)

VAR	Paredes exteriores	U	Cobertura	U	Pavimento	U	Envidraçados
VAR80	EPS120	0,20	LM120	0,22	-	-	-
VAR81	EPS40	0,47	LM50	0,37	ICB50	0,37	PVC_2,1
VAR82	EPS60	0,37	LM60	0,36	ICB60	0,34	PVC_2,1
VAR83	EPS80	0,31	LM80	0,30	ICB70	0,31	PVC_2,1
VAR84	EPS100	0,27	LM100	0,26	ICB50	0,37	PVC_2,1
VAR85	EPS120	0,20	LM120	0,22	ICB50	0,37	PVC_2,1
VAR86	Painel_90+LR_100	0,166	-	-	-	-	-
VAR87	Painel_120	0,240	-	-	-	-	-
VAR88	Painel_120+LR_80	0,172	-	-	-	-	-
VAR89	Painel_90+LR_100	0,166	LM50	0,37	-	-	-
VAR90	Painel_120	0,240	LM50	0,37	-	-	-
VAR91	Painel_120+LR_80	0,172	LM50	0,37	-	-	-
VAR92	Painel_90+LR_100	0,166	LM120	0,22	ICB80	0,29	PVC_2,1
VAR93	Painel_120	0,240	LM120	0,22	ICB80	0,29	PVC_2,1
VAR94	Painel_120+LR_80	0,172	LM120	0,22	ICB80	0,29	PVC_2,1

Anexo VII – Investimento inicial de cada medida de reabilitação*Tabela VII. 1 - Investimento inicial de cada medida de reabilitação*

Descrição	Unidade de Medida	A (m²)	Preços/m²	Man
Parede exteriores				
Reparação de fendas com gesso (€/m ² facade area)	m ²	2712,2	2,43 €	0,01 €
Limpeza mecânica de fachadas com jato de água (€/m ² facade area)	m ²	2712,2	11,90 €	- €
Pintura da parede com tinta de silicone	m ²	2712,2	11,40 €	0,21 €
Substituição dos parapeitos em cerâmica	m	87,30	16,67 €	0,23 €
Sistema ETICS Morcem (EPS=40mm) Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente	m ²	2712,20	55,00 €	0,43 €
Sistema ETICS Morcem (EPS=60mm) Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente	m ²	2712,20	57,31 €	0,45 €
Sistema ETICS Morcem (EPS=80mm) Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente	m ²	2712,20	60,30 €	0,47 €
Sistema ETICS Morcem (EPS=100mm) Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente	m ²	2712,20	65,97 €	0,52 €
Sistema ETICS "BAUMIT" (EPS=120mm) para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente	m ²	2712,20	85,17 €	0,43 €
Sistema ETICS Propam Aisterm "PROPAMSA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (XPS=40mm)	m ²	2712,20	80,89 €	0,40 €
Sistema ETICS Propam Aisterm "PROPAMSA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (XPS=50mm)	m ²	2712,20	85,16 €	0,43 €
Sistema ETICS Morcem Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (LM=40mm)	m ²	2712,20	64,24 €	0,50 €

Tabela VII. 2 - Investimento inicial de cada medida de reabilitação (continuação)

Descrição	Unidade de Medida	A (m ²)	Preços/m ²	Man
Sistema ETICS Morcem Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (LM=60mm)	m ²	2712,20	71,12 €	0,56 €
Sistema ETICS Morcem Isolamento "GRUPO PUMA" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (LM=80mm)	m ²	2712,20	78,77 €	0,61 €
Sistema ETICS Isoflex "ISOVER" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (LM=100mm)	m ²	2712,20	82,66 €	0,54 €
Sistema ETICS Isoflex "ISOVER" para isolamento térmico pelo exterior de fachada existente (LM=120mm)	m ²	2712,20	88,47 €	0,58 €
Painel90+LR100	m ²	2712,20	99,00 €	1,49 €
Painel120	m ²	2712,20	83,28 €	1,25 €
Painel120+LR80	m ²	2712,20	94,65 €	1,42 €
Cobertura				
Reparação de telhado em cobertura inclinada, substituindo as telhas deterioradas por telha cerâmica canudo, 40x19x16 cm, cor vermelho fixada com espuma de poliuretano	m ²	622,12	14,84 €	-
Reparação do telhado (substituição de telhas)	m ²	622,12	79,29 €	2,61 €
Limpeza de telhas em cobertura inclinada	m ²	622,12	8,86 €	-
Isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (LM=50mm)	m ²	541,35	4,00 €	0,01 €
Isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (LM=60mm)	m ²	541,35	4,80 €	0,01 €
Isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (LM=80mm)	m ²	541,35	6,41 €	0,01 €
Sistema "KNAUF INSULATION" (LM=100mm) de isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (Manta Kraft)	m ²	541,35	7,40 €	0,05 €
Sistema "KNAUF INSULATION" (LM=120mm) de isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (Manta Kraft)	m ²	541,35	8,24 €	0,05 €
Isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (XPS=70mm)	m ²	541,35	13,47 €	0,02 €
Isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (XPS=80mm)	m ²	541,35	14,50 €	0,02 €

Tabela VII. 3 - Investimento inicial de cada medida de reabilitação (continuação)

Descrição	Unidade de Medida	A (m ²)	Preços/m ²	Man
Pavimento sobre a cave				
Sistema "ROCKWOOL" de isolamento pelo interior, sob laje (LM=50mm)	m ²	546,90	43,78 €	1,12 €
Sistema "ROCKWOOL" de isolamento pelo interior, sob laje (LM=60mm)	m ²	546,90	46,82 €	1,20 €
Sistema "ROCKWOOL" de isolamento pelo interior, sob laje (LM=80mm)	m ²	546,90	52,77 €	1,35 €
Sistema "ROCKWOOL" de isolamento pelo interior, sob laje (LM=90mm)	m ²	546,90	55,87 €	1,43 €
Sistema "ROCKWOOL" de isolamento pelo interior, sob laje (LM=100mm)	m ²	546,90	58,89 €	1,51 €
Isolamento sob laje com aglomerado de cortiça expandida (ICB=50mm)	m ²	541,35	21,64 €	0,04 €
Isolamento sob laje com aglomerado de cortiça expandida (ICB=60mm)	m ²	541,35	25,52 €	0,05 €
Isolamento sob laje com aglomerado de cortiça expandida (ICB=70mm)	m ²	541,35	25,93 €	0,05 €
Isolamento sob laje com aglomerado de cortiça expandida (ICB=80mm)	m ²	541,35	26,33 €	0,05 €
Envidraçados				
Substituição das janelas existentes (vidro simples_4mm)	m ²	96,03	26,10 €	0,65 €
Substituição das janelas existentes (caixilharia em alumínio_1,1*1,6)	un	18	214,59 €	3,00 €
Substituição das janelas existentes (caixilharia em alumínio_1,1*1,3)	un	45,00	189,95 €	2,66 €
Vidro duplo standard (5+16+5) com ar	m ²	96,03	53,44 €	1,12 €
Caixilharia em PVC, U=2,1 (1,1*1,6)	un	18	366,58 €	4,03 €
Caixilharia em PVC, U=2,1(1,1*1,3)	un	45,00	357,92 €	3,94 €
Caixilharia de alumínio, U=2,5 (1,1*1,3)	un	18,00	358,83 €	5,02 €
Caixilharia de alumínio, U=2,5 (1,1*1,6)	un	45,00	386,60 €	5,41 €

Tabela VII. 4 - Investimento inicial de cada medida de reabilitação (continuação)

Descrição	Unidade de Medida	A (m ²)	Preços/m ²	Man
Sistemas				
Esquentador instantâneo a gás (A.Q.S.), 9,4 kW, modelo W 135-2 KV1 E "JUNKERS". - Life time 20 years	un	18	353,69 €	33,60 €
Emissor térmico a óleo, P=500 W, modelo Elaflu ERRO 0500 "JUNKERS" - Life time 20 years (não tem no WC)	un	63	238,11 €	4,05 €
Sistema ar-ar multi-split (AC exterior), modelo SCM71ZM "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", P-7,1/8,6 kW - Life time 20 years	un	18	2 781,25 €	97,34 €
Sistema ar-ar multi-split (unidade interior de parede), modelo SRK71ZM "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", P-7,1/ 8 kW (COP3,74=; EER=3,29) - Life time 20 years	un	63	1 202,29 €	33,66 €
Tubagem Multicamada PEX/AL/PEX de 32 mm de diâmetro (distribuição AC)	m ²	298,08	0,08 €	-
Bomba de calor (ar-ar) modelo RXYSQ4P8 "DAIKIN"(EER=3,88; COP=4,43) - Life time 20 years	un	18	6 047,30 €	211,65 €
Fan-coil de cassete, modelo FKW 54 "HITECSA" - Life time 15 years	un	63	1 961,04 €	54,91 €
Tubo flexível de 102 mm de diâmetro, TFAT102 "AIRZONE" (m ²) - Life time 50 years	m ²	298,08	9,68 €	-
Acumulador de aço vitrificado, de solo, 950 l - Life time 20 years	un	3	1 607,64 €	33,76 €
Caldeira mural a gás butano e propano (aquecimento, A.Q.S.), modelo CerastarComfort ZWN 25-8 MFA "JUNKERS" (n=93,7%) - Life time 20 years	un	18	1 754,90 €	166,72 €
Bomba de calor reversível (ar-água), Genia 11 "SAUNIER DUVAL"(COP=4,3; EER=3,4) - Life time 20 years	un	18	7 190,13 €	460,17 €
Termoacumulador eléctrico (A.Q.S.), capacidade 150 L (T2), modelo Elacell Smart ES 150-1M "JUNKERS" (n=39%) - Life time 20 years	un	9	496,92 €	377,66 €
Termoacumulador eléctrico (A.Q.S.), capacidade 200 L (T3), modelo Elacell Smart ES 150-1M "JUNKERS" (n=39%) - Life time 20 years	un	9	564,95 €	429,36 €
Radiador de aço, com 221,4 kcal/h de emissão calorífica - Life time 20 years	un	63	93,39 €	1,31 €

Tabela VII. 5 - Investimento inicial de cada medida de reabilitação (continuação)

Descrição	Unidade de Medida	A (m ²)	Preços/m ²	Man
Renováveis				
Coletor solar térmico (AQS), 23003kWh, 3 módulos - Life time 20 years	un	9	3 270,56 €	248,56 €
Tubagem de polipropileno copolímero random de 32 mm de diâmetro exterior - Life time 50 years	m	310,87	20,30 €	0,16 €
Acumulador de aço vitrificado, de solo, 950 l - Life time 20 years	un	3	1 607,64 €	33,76 €
Estrutura para suporte do solar térmico	un	9	705,00 €	-
Caldeira a pellets, modelo Vap 30 "ECOFOREST", potência térmica nominal 30 kW, rendimento 93% - Life time 20 years	un	18	6 967,75 €	313,55 €
Kit 1500 W para Autoconsumo (6 painéis fotovoltaicos+1 inversor+1 estrutura de suporte) - Cobertura - Life Time 20 years	un	5	2 274,00 €	113,70 €
Kit 1500 W para Autoconsumo (6 painéis fotovoltaicos+1 inversor+1 estrutura de suporte) - Cobertura + Fachada Sul- Life Time 20 years	un	10	2 274,00 €	113,70 €

Anexo VIII - Cálculo para obtenção da curva de custo ótimo (Custos)*Tabela VIII. 1 - Custos associados a cada medida de reabilitação*

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
Base	386 017 €	314 618 €	416 782 €	430 806 €	634,87	589,50
VAR1	538 115 €	456 960 €	248 169 €	321 742 €	621,81	615,81
VAR2	549 205 €	465 976 €	247 379 €	317 840 €	629,95	619,86
VAR3	565 373 €	479 121 €	247 061 €	314 449 €	642,49	627,57
VAR4	588 564 €	497 975 €	249 724 €	316 689 €	662,94	644,25
VAR5	656 837 €	553 482 €	243 964 €	307 388 €	712,37	680,79
VAR6	536 700 €	455 809 €	245 950 €	317 570 €	618,94	611,60
VAR7	536 700 €	455 809 €	243 106 €	311 414 €	616,69	606,74
VAR8	563 957 €	477 970 €	244 965 €	310 408 €	639,71	623,46
VAR9	587 148 €	496 824 €	246 868 €	311 751 €	659,56	639,44
VAR10	655 422 €	552 331 €	241 287 €	302 816 €	709,14	676,27
VAR11	579 015 €	490 212 €	244 480 €	310 265 €	651,24	633,03
VAR12	581 060 €	491 875 €	244 967 €	310 583 €	653,24	634,60
VAR13	585 063 €	495 129 €	246 372 €	311 423 €	657,52	637,84
VAR14	587 148 €	496 824 €	246 868 €	311 751 €	659,56	639,44
VAR15	589 180 €	498 476 €	247 351 €	312 045 €	661,55	640,98
VAR16	645 257 €	544 068 €	238 400 €	301 000 €	698,81	668,30
VAR17	647 302 €	545 730 €	238 903 €	301 353 €	700,83	669,89
VAR18	651 305 €	548 984 €	240 296 €	302 182 €	705,10	673,12
VAR19	653 390 €	550 680 €	240 804 €	302 522 €	707,15	674,73
VAR20	655 422 €	552 331 €	241 287 €	302 816 €	709,14	676,27
VAR21	560 428 €	475 100 €	246 445 €	314 766 €	638,09	624,64
VAR22	561 766 €	476 189 €	246 123 €	313 996 €	638,90	624,89
VAR23	563 957 €	477 970 €	245 229 €	311 821 €	639,92	624,58
VAR24	566 148 €	479 751 €	245 574 €	312 614 €	641,93	626,62
VAR25	568 338 €	481 532 €	244 833 €	310 780 €	643,07	626,58
VAR26	581 428 €	492 174 €	248 278 €	315 164 €	656,15	638,46
VAR27	582 767 €	493 262 €	248 175 €	314 877 €	657,13	639,09
VAR28	584 957 €	495 043 €	247 621 €	313 456 €	658,42	639,38
VAR29	587 148 €	496 824 €	247 892 €	314 061 €	660,37	641,26

Tabela VIII. 2 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR30	591 370 €	500 257 €	248 026 €	313 406 €	663,81	643,46
VAR31	647 511 €	545 900 €	243 110 €	307 377 €	704,32	674,79
VAR32	648 850 €	546 988 €	243 007 €	307 090 €	705,30	675,42
VAR33	651 040 €	548 769 €	243 375 €	307 604 €	707,32	677,24
VAR34	653 231 €	550 550 €	242 720 €	306 251 €	708,54	677,58
VAR35	655 422 €	552 331 €	242 132 €	304 760 €	709,80	677,80
VAR36	563 974 €	477 984 €	236 816 €	303 554 €	633,28	618,06
VAR37	566 558 €	480 084 €	236 504 €	302 802 €	635,08	619,12
VAR38	566 831 €	480 306 €	236 738 €	302 554 €	635,48	619,10
VAR39	567 097 €	480 523 €	236 524 €	302 058 €	635,52	618,88
VAR40	630 216 €	531 839 €	229 083 €	290 960 €	679,55	650,69
VAR41	632 800 €	533 939 €	228 771 €	290 208 €	681,35	651,75
VAR42	633 073 €	534 161 €	229 017 €	289 971 €	681,76	651,74
VAR43	633 339 €	534 378 €	229 516 €	290 127 €	682,36	652,04
VAR44	585 164 €	495 211 €	248 694 €	316 152 €	659,43	641,64
VAR45	585 850 €	495 769 €	248 393 €	315 374 €	659,74	641,47
VAR46	651 247 €	548 937 €	243 521 €	308 342 €	707,60	677,95
VAR47	651 933 €	549 494 €	242 988 €	307 069 €	707,72	677,39
VAR48	623 069 €	526 028 €	244 541 €	315 727 €	686,12	665,68
VAR49	640 697 €	540 360 €	244 598 €	314 050 €	700,11	675,68
VAR50	567 524 €	480 870 €	248 762 €	320 389 €	645,54	633,65
VAR51	593 859 €	502 281 €	249 356 €	318 407 €	666,83	649,02
VAR52	625 573 €	528 064 €	251 501 €	317 933 €	693,61	669,03
VAR53	642 826 €	542 091 €	247 838 €	312 804 €	704,36	676,07
VAR54	666 430 €	561 281 €	248 784 €	312 163 €	723,77	690,74
VAR55	467 777 €	399 774 €	245 479 €	337 976 €	564,06	583,43
VAR56	475 483 €	406 039 €	243 836 €	333 709 €	568,85	585,01
VAR57	485 457 €	414 149 €	243 453 €	331 860 €	576,44	589,96
VAR58	504 373 €	429 527 €	244 542 €	332 166 €	592,26	602,36
VAR59	568 424 €	481 601 €	237 407 €	320 928 €	637,27	634,66
VAR60	289 530 €	254 858 €	231 044 €	326 489 €	411,68	459,74
VAR61	290 868 €	255 946 €	230 416 €	325 116 €	412,24	459,52
VAR62	293 059 €	257 727 €	229 484 €	323 067 €	413,24	459,30

Tabela VIII. 3 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR63	295 250 €	259 508 €	228 891 €	321 751 €	414,50	459,67
VAR64	297 440 €	261 289 €	228 457 €	320 764 €	415,89	460,30
VAR65	293 265 €	257 895 €	231 053 €	326 500 €	414,64	462,15
VAR66	293 951 €	258 453 €	230 398 €	325 095 €	414,67	461,48
VAR67	313 746 €	274 546 €	244 886 €	345 191 €	441,78	490,10
VAR68	315 791 €	276 209 €	246 634 €	345 213 €	444,78	491,43
VAR69	319 794 €	279 463 €	246 701 €	345 427 €	448,00	494,18
VAR70	321 879 €	281 159 €	246 435 €	345 708 €	449,43	495,74
VAR71	323 911 €	282 810 €	246 892 €	345 978 €	451,40	497,26
VAR72	298 705 €	262 318 €	235 033 €	333 914 €	422,09	471,51
VAR73	301 289 €	264 418 €	234 725 €	333 185 €	423,89	472,60
VAR74	301 562 €	264 640 €	234 335 €	332 346 €	423,80	472,11
VAR75	301 828 €	264 857 €	234 079 €	331 791 €	423,81	471,84
VAR76	473 010 €	404 029 €	236 914 €	319 292 €	561,42	572,02
VAR77	482 055 €	411 383 €	235 170 €	314 765 €	567,20	574,25
VAR78	494 220 €	421 273 €	234 098 €	311 391 €	575,97	579,41
VAR79	515 326 €	438 432 €	234 751 €	310 142 €	593,18	591,99
VAR80	581 568 €	492 288 €	226 007 €	294 786 €	638,65	622,43
VAR81	521 659 €	443 581 €	233 786 €	300 472 €	597,42	588,41
VAR82	533 287 €	453 034 €	232 824 €	301 179 €	605,86	596,45
VAR83	545 725 €	463 147 €	230 966 €	295 979 €	614,22	600,33
VAR84	563 974 €	477 984 €	231 719 €	295 649 €	629,25	611,80
VAR85	630 216 €	531 839 €	224 436 €	283 708 €	675,88	644,95
VAR86	394 818 €	340 458 €	242 199 €	326 917 €	503,77	527,77
VAR87	397 720 €	342 818 €	244 429 €	331 101 €	507,83	532,95
VAR88	420 238 €	361 125 €	247 481 €	333 064 €	528,05	548,98
VAR89	400 052 €	344 713 €	233 308 €	307 976 €	500,87	516,16
VAR90	402 954 €	347 073 €	235 538 €	312 161 €	504,93	521,34
VAR91	425 472 €	365 380 €	238 590 €	314 123 €	525,15	537,37
VAR92	459 733 €	393 235 €	229 210 €	289 435 €	544,83	539,87
VAR93	462 636 €	395 595 €	230 763 €	292 818 €	548,35	544,41
VAR94	485 154 €	413 902 €	229 446 €	289 675 €	565,12	556,40
VAR95	683 815 €	602 928 €	289 988 €	327 316 €	770,10	735,66

Tabela VIII. 4 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR96	698 493 €	617 962 €	289 341 €	326 913 €	781,20	747,23
VAR97	708 468 €	626 072 €	289 549 €	327 360 €	789,25	753,99
VAR98	727 383 €	641 450 €	291 041 €	329 227 €	805,39	767,63
VAR99	791 435 €	693 524 €	285 159 €	322 853 €	851,39	803,77
VAR100	512 541 €	466 781 €	273 391 €	307 373 €	621,53	612,22
VAR101	513 879 €	467 869 €	273 036 €	307 057 €	622,31	612,83
VAR102	516 070 €	469 650 €	272 513 €	306 594 €	623,63	613,87
VAR103	518 260 €	471 431 €	272 186 €	306 308 €	625,10	615,05
VAR104	520 451 €	473 213 €	271 956 €	306 114 €	626,65	616,31
VAR105	521 716 €	474 241 €	276 022 €	309 840 €	630,87	620,07
VAR106	524 300 €	476 342 €	275 870 €	309 719 €	632,79	621,63
VAR107	524 573 €	476 563 €	275 644 €	309 515 €	632,83	621,65
VAR108	524 573 €	476 563 €	275 487 €	309 371 €	632,70	621,53
VAR109	696 021 €	615 952 €	285 061 €	322 843 €	775,86	742,42
VAR110	705 066 €	623 306 €	284 372 €	322 411 €	782,47	747,89
VAR111	717 231 €	633 196 €	284 199 €	322 525 €	791,95	755,80
VAR112	738 337 €	650 355 €	285 577 €	324 301 €	809,73	770,78
VAR113	804 579 €	704 211 €	278 907 €	317 222 €	856,84	807,77
VAR114	744 669 €	655 504 €	286 234 €	325 481 €	815,26	775,78
VAR115	756 297 €	664 957 €	286 140 €	325 612 €	824,38	783,36
VAR116	768 736 €	675 070 €	285 539 €	325 336 €	833,74	791,14
VAR117	786 985 €	689 907 €	286 810 €	326 993 €	849,18	804,19
VAR118	853 227 €	743 762 €	280 936 €	320 643 €	896,92	841,75
VAR119	617 829 €	552 381 €	289 545 €	327 657 €	717,57	695,95
VAR120	620 731 €	554 741 €	291 103 €	329 227 €	721,10	699,06
VAR121	643 249 €	573 048 €	294 813 €	333 751 €	741,84	717,12
VAR122	623 063 €	556 636 €	284 332 €	322 923 €	717,59	695,57
VAR123	625 965 €	558 996 €	285 890 €	324 493 €	721,11	698,68
VAR124	648 483 €	577 303 €	289 601 €	329 017 €	741,86	716,74
VAR125	682 744 €	605 158 €	285 378 €	325 519 €	765,61	736,00
VAR126	685 646 €	607 518 €	286 400 €	325 906 €	768,71	738,17
VAR127	708 165 €	625 825 €	290 344 €	331 337 €	789,64	756,94
VAR128	665 458 €	585 867 €	312 639 €	349 419 €	773,50	739,64

Tabela VIII. 5 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR129	673 164 €	592 132 €	311 949 €	348 977 €	779,05	744,25
VAR130	683 139 €	600 241 €	312 133 €	349 401 €	787,08	751,00
VAR131	702 054 €	615 620 €	313 607 €	351 252 €	803,21	764,62
VAR132	766 105 €	667 694 €	307 672 €	344 829 €	849,16	800,72
VAR133	487 211 €	440 951 €	296 117 €	329 544 €	619,47	609,32
VAR134	488 550 €	442 039 €	295 750 €	329 544 €	620,24	610,18
VAR135	490 741 €	443 820 €	295 209 €	328 738 €	621,54	610,95
VAR136	492 931 €	445 601 €	294 871 €	328 442 €	623,01	612,13
VAR137	495 122 €	447 382 €	294 632 €	328 239 €	624,55	613,38
VAR138	496 387 €	448 411 €	298 884 €	332 137 €	628,92	617,27
VAR139	498 971 €	450 511 €	298 726 €	332 009 €	630,83	618,83
VAR140	499 244 €	450 733 €	298 493 €	331 798 €	630,87	618,84
VAR141	499 510 €	450 950 €	298 341 €	331 661 €	630,96	618,90
VAR142	670 692 €	590 122 €	307 581 €	344 826 €	773,64	739,38
VAR143	679 736 €	597 475 €	306 848 €	344 353 €	780,21	744,82
VAR144	691 902 €	607 366 €	306 636 €	344 432 €	789,66	752,70
VAR145	713 008 €	624 525 €	308 037 €	346 228 €	807,46	767,69
VAR146	779 250 €	678 380 €	301 336 €	339 121 €	854,55	804,66
VAR147	719 340 €	629 673 €	308 730 €	347 442 €	813,02	772,72
VAR148	730 968 €	639 127 €	308 647 €	347 582 €	822,15	780,31
VAR149	743 407 €	649 240 €	308 004 €	347 268 €	831,48	788,06
VAR150	761 656 €	664 076 €	309 248 €	348 901 €	846,89	801,08
VAR151	827 898 €	717 932 €	303 344 €	342 523 €	894,61	838,63
VAR152	592 500 €	526 551 €	312 174 €	349 739 €	715,43	692,99
VAR153	595 402 €	528 911 €	313 759 €	351 335 €	718,98	696,12
VAR154	617 920 €	547 218 €	317 442 €	355 833 €	739,70	714,15
VAR155	597 733 €	530 806 €	306 787 €	344 846 €	715,31	692,48
VAR156	600 636 €	533 166 €	308 373 €	346 442 €	718,86	695,61
VAR157	623 154 €	551 473 €	312 056 €	350 941 €	739,58	713,65
VAR158	657 415 €	579 328 €	307 911 €	347 514 €	763,40	732,97
VAR159	660 317 €	581 687 €	308 895 €	348 560 €	766,47	735,66
VAR160	682 835 €	599 995 €	312 844 €	353 301 €	787,40	753,89
VAR161	490 174 €	422 341 €	239 078 €	266 364 €	576,71	544,64

Tabela VIII. 6 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR162	497 880 €	428 606 €	238 168 €	265 720 €	582,08	549,09
VAR163	507 855 €	436 715 €	238 219 €	266 024 €	590,01	555,74
VAR164	526 770 €	452 094 €	239 605 €	267 793 €	606,07	569,30
VAR165	590 822 €	504 168 €	233 392 €	261 116 €	651,80	605,20
VAR166	311 928 €	277 425 €	223 035 €	246 928 €	423,06	414,67
VAR167	313 266 €	278 513 €	222 608 €	246 546 €	423,78	415,23
VAR168	315 457 €	280 294 €	221 976 €	245 984 €	425,01	416,19
VAR169	317 647 €	282 075 €	221 579 €	245 633 €	426,43	417,32
VAR170	319 838 €	283 856 €	221 295 €	245 389 €	427,94	418,54
VAR171	321 103 €	284 885 €	226 103 €	249 795 €	432,74	422,84
VAR172	323 687 €	286 985 €	225 909 €	249 636 €	434,63	424,37
VAR173	323 960 €	287 207 €	225 640 €	249 392 €	434,63	424,35
VAR174	324 226 €	287 424 €	225 464 €	249 232 €	434,71	424,40
VAR175	495 408 €	426 596 €	233 214 €	261 033 €	576,21	543,79
VAR176	504 453 €	433 949 €	232 246 €	260 347 €	582,60	549,06
VAR177	516 618 €	443 840 €	231 835 €	260 243 €	591,89	556,80
VAR178	537 724 €	460 999 €	233 074 €	261 891 €	609,56	571,68
VAR179	603 966 €	514 854 €	225 914 €	254 363 €	656,29	608,31
VAR180	544 056 €	466 147 €	233 407 €	262 775 €	614,83	576,45
VAR181	555 684 €	475 601 €	233 130 €	262 738 €	623,81	583,89
VAR182	568 123 €	485 714 €	232 209 €	262 169 €	632,92	591,44
VAR183	586 372 €	500 550 €	233 339 €	263 698 €	648,24	604,38
VAR184	652 614 €	554 406 €	227 122 €	257 033 €	695,71	641,70
VAR185	417 216 €	363 025 €	237 982 €	266 107 €	518,14	497,53
VAR186	420 118 €	365 385 €	239 717 €	267 840 €	521,81	500,77
VAR187	442 636 €	383 692 €	243 254 €	272 205 €	542,42	518,70
VAR188	422 450 €	367 280 €	231 781 €	260 469 €	517,38	496,44
VAR189	425 352 €	369 640 €	233 516 €	262 201 €	521,05	499,67
VAR190	447 870 €	387 947 €	237 053 €	266 566 €	541,65	517,60
VAR191	482 131 €	415 802 €	231 761 €	262 090 €	564,56	536,09
VAR192	485 033 €	418 161 €	232 864 €	263 245 €	567,73	538,87
VAR193	507 552 €	436 469 €	236 676 €	270 153 €	588,55	558,81
VAR194	450 895 €	384 990 €	357 811 €	387 844 €	639,54	611,17

Tabela VIII. 7 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR195	458 601 €	391 255 €	356 901 €	387 200 €	644,92	615,62
VAR196	468 576 €	399 364 €	356 953 €	387 504 €	652,84	622,27
VAR197	487 491 €	414 742 €	358 338 €	389 273 €	668,90	635,83
VAR198	551 542 €	466 817 €	352 125 €	382 596 €	714,64	671,73
VAR199	272 648 €	240 074 €	341 769 €	368 408 €	485,89	481,20
VAR200	273 987 €	241 162 €	341 341 €	368 026 €	486,61	481,76
VAR201	276 177 €	242 943 €	340 709 €	367 464 €	487,85	482,72
VAR202	278 368 €	244 724 €	340 312 €	367 113 €	489,26	483,85
VAR203	280 559 €	246 505 €	340 028 €	366 869 €	490,77	485,07
VAR204	281 824 €	247 533 €	344 836 €	371 275 €	495,58	489,37
VAR205	284 407 €	249 634 €	344 643 €	371 116 €	497,47	490,90
VAR206	284 680 €	249 856 €	344 373 €	370 872 €	497,47	490,88
VAR207	284 947 €	250 072 €	344 197 €	370 712 €	497,54	490,93
VAR208	456 129 €	389 245 €	351 947 €	382 513 €	639,04	610,32
VAR209	465 173 €	396 598 €	350 979 €	381 827 €	645,43	615,59
VAR210	477 338 €	406 488 €	350 569 €	381 723 €	654,73	623,33
VAR211	498 444 €	423 648 €	351 808 €	383 371 €	672,40	638,21
VAR212	564 686 €	477 503 €	344 647 €	375 843 €	719,12	674,84
VAR213	504 777 €	428 796 €	352 140 €	384 255 €	677,67	642,98
VAR214	516 405 €	438 250 €	351 864 €	384 218 €	686,64	650,42
VAR215	528 843 €	448 362 €	350 943 €	383 649 €	695,75	657,97
VAR216	547 093 €	463 199 €	352 072 €	385 178 €	711,08	670,91
VAR217	613 335 €	517 054 €	345 855 €	378 513 €	758,55	708,23
VAR218	377 936 €	325 674 €	356 716 €	387 587 €	580,98	564,06
VAR219	380 839 €	328 033 €	358 450 €	389 320 €	584,64	567,30
VAR220	403 357 €	346 341 €	361 987 €	393 685 €	605,25	585,23
VAR221	383 170 €	329 929 €	350 514 €	381 949 €	580,21	562,97
VAR222	386 072 €	332 288 €	352 249 €	383 681 €	583,88	566,20
VAR223	408 590 €	350 596 €	355 786 €	388 046 €	604,48	584,13
VAR224	442 852 €	378 450 €	350 494 €	383 570 €	627,39	602,62
VAR225	445 754 €	380 810 €	351 597 €	384 725 €	630,56	605,40
VAR226	468 272 €	399 117 €	355 409 €	389 342 €	651,38	623,53
VAR227	491 801 €	424 386 €	267 722 €	334 651 €	600,65	600,26

Tabela VIII. 9 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR228	499 507 €	430 652 €	265 916 €	331 815 €	605,31	602,97
VAR229	509 482 €	438 761 €	265 435 €	330 816 €	612,82	608,60
VAR230	528 397 €	454 139 €	266 459 €	331 699 €	628,59	621,46
VAR231	592 448 €	506 213 €	259 118 €	322 263 €	673,44	655,18
VAR232	313 554 €	279 470 €	253 645 €	320 025 €	448,55	474,09
VAR233	314 892 €	280 559 €	252 973 €	319 043 €	449,08	474,18
VAR234	317 083 €	282 340 €	251 974 €	317 582 €	450,02	474,43
VAR235	319 274 €	284 121 €	251 337 €	316 647 €	451,25	475,10
VAR236	321 465 €	285 902 €	250 870 €	315 953 €	452,61	475,96
VAR237	322 730 €	286 930 €	257 840 €	325 650 €	459,13	484,44
VAR238	325 313 €	289 031 €	257 506 €	325 146 €	460,90	485,70
VAR239	325 586 €	289 253 €	257 089 €	324 542 €	460,79	485,40
VAR240	325 853 €	289 469 €	256 815 €	324 143 €	460,79	485,26
VAR241	497 034 €	428 641 €	258 555 €	321 240 €	597,54	593,02
VAR242	506 079 €	435 995 €	256 638 €	318 230 €	603,17	596,46
VAR243	518 244 €	445 885 €	255 419 €	316 147 €	611,83	602,63
VAR244	539 350 €	463 044 €	255 941 €	316 042 €	628,93	616,12
VAR245	605 592 €	516 900 €	246 844 €	303 777 €	674,12	649,01
VAR246	545 683 €	468 193 €	254 687 €	313 043 €	632,95	617,82
VAR247	557 311 €	477 647 €	253 571 €	310 953 €	641,26	623,64
VAR248	569 749 €	487 759 €	251 504 €	307 581 €	649,46	628,97
VAR249	587 998 €	502 596 €	252 174 €	307 985 €	664,43	641,02
VAR250	654 240 €	556 451 €	244 653 €	298 128 €	710,86	675,82
VAR251	418 842 €	365 071 €	263 955 €	327 857 €	539,97	547,98
VAR252	421 745 €	367 430 €	266 296 €	331 074 €	544,12	552,39
VAR253	442 636 €	383 692 €	269 239 €	333 985 €	562,97	567,55
VAR254	424 076 €	369 326 €	254 464 €	314 170 €	536,60	540,52
VAR255	426 978 €	371 685 €	256 805 €	317 386 €	540,75	544,93
VAR256	449 496 €	389 993 €	259 748 €	320 297 €	560,88	561,71
VAR257	483 758 €	417 847 €	249 457 €	303 590 €	579,84	570,53
VAR258	486 660 €	420 207 €	251 111 €	306 094 €	583,44	574,37
VAR259	509 178 €	438 514 €	254 335 €	309 272 €	603,80	591,36
VAR260	572 620 €	497 152 €	294 884 €	348 995 €	686,04	669,15

Tabela VIII. 10 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR261	580 326 €	503 417 €	293 488 €	347 219 €	691,03	672,70
VAR262	590 300 €	511 526 €	293 252 €	346 850 €	698,73	678,82
VAR263	609 216 €	526 904 €	294 441 €	348 162 €	714,63	692,02
VAR264	673 267 €	578 979 €	287 617 €	340 060 €	759,89	726,79
VAR265	394 373 €	352 236 €	279 907 €	332 044 €	533,23	541,14
VAR266	395 711 €	353 324 €	279 347 €	331 352 €	533,85	541,46
VAR267	397 902 €	355 105 €	278 516 €	330 325 €	534,92	542,05
VAR268	400 093 €	356 886 €	277 989 €	329 673 €	536,24	542,94
VAR269	402 283 €	358 667 €	277 606 €	329 196 €	537,67	543,98
VAR270	403 549 €	359 695 €	283 585 €	336 335 €	543,40	550,44
VAR271	406 132 €	361 796 €	283 315 €	335 998 €	545,23	551,83
VAR272	406 405 €	362 018 €	282 966 €	335 568 €	545,17	551,67
VAR273	406 671 €	362 234 €	282 737 €	335 285 €	545,20	551,61
VAR274	577 853 €	501 407 €	287 231 €	339 491 €	684,13	665,00
VAR275	586 898 €	508 760 €	285 749 €	337 604 €	690,11	669,32
VAR276	599 063 €	518 650 €	284 900 €	336 478 €	699,06	676,25
VAR277	620 169 €	535 810 €	285 750 €	337 221 €	716,42	690,41
VAR278	686 411 €	589 665 €	277 541 €	327 246 €	762,31	725,11
VAR279	626 502 €	540 958 €	285 223 €	336 099 €	721,01	693,59
VAR280	638 130 €	550 412 €	284 492 €	335 002 €	729,63	700,20
VAR281	650 568 €	560 524 €	282 950 €	332 985 €	738,25	706,61
VAR282	668 817 €	575 361 €	283 831 €	333 933 €	753,37	719,09
VAR283	735 059 €	629 216 €	276 907 €	325 619 €	800,28	755,10
VAR284	499 661 €	437 836 €	292 341 €	345 362 €	626,33	619,37
VAR285	502 564 €	440 195 €	294 404 €	347 861 €	630,26	623,21
VAR286	525 082 €	458 503 €	297 620 €	351 475 €	650,61	640,55
VAR287	504 895 €	442 091 €	284 358 €	335 566 €	624,16	614,99
VAR288	507 797 €	444 450 €	286 421 €	338 065 €	628,08	618,83
VAR289	530 315 €	462 758 €	289 636 €	341 679 €	648,43	636,16
VAR290	564 577 €	490 613 €	281 635 €	330 886 €	669,20	649,66
VAR291	567 479 €	492 972 €	283 037 €	332 737 €	672,60	652,99
VAR292	589 997 €	511 279 €	286 531 €	336 611 €	693,18	670,53
VAR293	451 584 €	387 601 €	218 741 €	233 237 €	530,11	490,97

Tabela VIII. 11 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR294	458 696 €	393 384 €	217 835 €	232 598 €	535,01	495,04
VAR295	468 671 €	401 493 €	217 890 €	232 904 €	542,95	501,69
VAR296	487 586 €	416 871 €	219 277 €	234 675 €	559,00	515,26
VAR297	551 637 €	468 945 €	213 070 €	228 003 €	604,75	551,16
VAR298	272 743 €	242 202 €	202 689 €	213 793 €	375,98	360,61
VAR299	274 082 €	243 291 €	202 263 €	213 412 €	376,70	361,17
VAR300	276 272 €	245 072 €	201 633 €	212 851 €	377,94	362,13
VAR301	278 463 €	246 853 €	201 237 €	212 502 €	379,36	363,27
VAR302	280 654 €	248 634 €	200 954 €	212 258 €	380,86	364,48
VAR303	281 919 €	249 662 €	205 751 €	216 654 €	385,66	368,77
VAR304	284 502 €	251 763 €	205 558 €	216 496 €	387,55	370,31
VAR305	284 775 €	251 985 €	205 289 €	216 252 €	387,55	370,29
VAR306	285 042 €	252 201 €	205 113 €	216 093 €	387,62	370,34
VAR307	456 224 €	391 373 €	212 894 €	227 922 €	529,15	489,75
VAR308	465 268 €	398 727 €	211 931 €	227 240 €	535,54	495,03
VAR309	477 434 €	408 617 €	211 524 €	227 139 €	544,84	502,77
VAR310	498 539 €	425 776 €	212 767 €	228 791 €	562,52	517,65
VAR311	564 781 €	479 632 €	205 616 €	221 272 €	609,25	554,29
VAR312	504 872 €	430 925 €	213 108 €	229 682 €	567,79	522,42
VAR313	516 500 €	440 379 €	212 835 €	229 649 €	576,77	529,87
VAR314	528 938 €	450 491 €	211 920 €	229 086 €	585,89	537,42
VAR315	547 188 €	465 328 €	213 052 €	230 616 €	601,21	550,37
VAR316	613 430 €	519 183 €	206 842 €	223 958 €	648,69	587,69
VAR317	378 032 €	327 803 €	217 659 €	232 993 €	471,08	443,49
VAR318	380 934 €	330 162 €	219 391 €	234 723 €	474,75	446,72
VAR319	403 452 €	348 470 €	222 931 €	239 090 €	495,36	464,65
VAR320	383 265 €	332 058 €	211 475 €	227 370 €	470,33	442,41
VAR321	386 168 €	334 417 €	213 206 €	229 100 €	474,00	445,64
VAR322	408 686 €	352 725 €	216 746 €	233 467 €	494,60	463,57
VAR323	442 947 €	380 579 €	211 480 €	229 015 €	517,53	482,08
VAR324	445 849 €	382 939 €	212 579 €	230 166 €	520,70	484,86
VAR325	468 367 €	401 246 €	216 395 €	234 786 €	541,52	502,99
VAR326	764 701 €	674 478 €	258 463 €	306 122 €	809,14	775,48

Tabela VIII. 12 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR327	776 329 €	683 932 €	258 369 €	306 253 €	818,26	783,06
VAR328	788 767 €	694 045 €	257 768 €	305 977 €	827,62	790,84
VAR329	807 017 €	708 881 €	259 039 €	307 635 €	843,06	803,88
VAR330	873 259 €	762 737 €	253 165 €	301 284 €	890,80	841,45
VAR331	637 860 €	571 356 €	261 774 €	308 298 €	711,45	695,65
VAR332	640 763 €	573 716 €	263 332 €	309 869 €	714,98	698,76
VAR333	663 281 €	592 023 €	267 043 €	314 393 €	735,72	716,81
VAR334	702 776 €	624 133 €	257 607 €	306 161 €	759,49	735,70
VAR335	705 678 €	626 492 €	258 629 €	307 242 €	762,59	738,42
VAR336	728 196 €	644 800 €	262 573 €	311 979 €	783,52	756,64
VAR337	748 104 €	659 631 €	280 959 €	328 083 €	813,80	781,10
VAR338	759 732 €	669 084 €	280 876 €	328 223 €	822,93	788,69
VAR339	772 170 €	679 197 €	280 233 €	327 910 €	832,26	796,44
VAR340	790 420 €	694 034 €	281 477 €	329 543 €	847,68	809,46
VAR341	856 662 €	747 889 €	275 573 €	323 165 €	895,39	847,01
VAR342	621 264 €	556 508 €	284 403 €	330 380 €	716,22	701,37
VAR343	624 166 €	558 868 €	285 988 €	331 976 €	719,77	704,50
VAR344	646 684 €	577 175 €	289 671 €	336 475 €	740,49	722,53
VAR345	686 179 €	609 285 €	280 140 €	328 156 €	764,18	741,35
VAR346	689 081 €	611 645 €	281 124 €	329 201 €	767,26	744,04
VAR347	711 599 €	629 952 €	285 073 €	333 943 €	788,19	762,27
VAR348	526 093 €	451 131 €	185 337 €	210 324 €	562,61	523,09
VAR349	537 721 €	460 585 €	185 064 €	210 291 €	571,59	530,54
VAR350	550 159 €	470 697 €	184 149 €	209 728 €	580,71	538,09
VAR351	568 408 €	485 534 €	185 281 €	211 258 €	596,03	551,04
VAR352	634 650 €	539 389 €	179 071 €	204 600 €	643,51	588,36
VAR353	399 252 €	348 009 €	189 888 €	213 635 €	465,90	444,16
VAR354	402 155 €	350 368 €	191 620 €	215 364 €	469,57	447,39
VAR355	424 673 €	368 676 €	195 160 €	219 732 €	490,18	465,32
VAR356	464 168 €	400 785 €	183 709 €	209 656 €	512,35	482,75
VAR357	467 070 €	403 145 €	184 808 €	210 808 €	515,52	485,53
VAR358	489 588 €	421 452 €	188 624 €	215 428 €	536,34	503,66
VAR359	781 829 €	689 802 €	238 102 €	292 808 €	806,58	777,07

Tabela VIII. 13 - Custos associados a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Custo inicial global		Custos de exploração (30 anos)		Custos totais (30 anos)	
	Privada	Social	Privada	Social	Privada	Social
VAR360	793 457 €	699 255 €	238 009 €	292 939 €	815,70	784,65
VAR361	805 896 €	709 368 €	237 408 €	292 663 €	825,07	792,43
VAR362	824 145 €	724 205 €	238 679 €	294 321 €	840,50	805,47
VAR363	890 387 €	778 060 €	232 805 €	287 970 €	888,24	843,04
VAR364	654 989 €	586 679 €	241 414 €	294 984 €	708,89	697,24
VAR365	657 891 €	589 039 €	242 972 €	296 555 €	712,42	700,35
VAR366	680 409 €	607 346 €	246 682 €	301 079 €	733,16	718,40
VAR367	719 904 €	639 456 €	237 846 €	293 541 €	757,41	737,83
VAR368	722 806 €	641 816 €	242 918 €	299 310 €	763,71	744,26
VAR369	745 324 €	660 123 €	258 508 €	317 529 €	793,85	773,15
VAR370	765 232 €	674 954 €	261 489 €	315 800 €	811,95	783,51
VAR371	776 860 €	684 408 €	260 515 €	314 909 €	820,38	790,28
VAR372	789 299 €	694 520 €	259 873 €	314 596 €	829,71	798,03
VAR373	807 548 €	709 357 €	261 117 €	316 229 €	845,12	811,05
VAR374	873 790 €	763 212 €	255 213 €	309 851 €	892,84	848,60
VAR375	638 392 €	571 832 €	264 042 €	317 066 €	713,66	702,96
VAR376	641 294 €	574 191 €	246 377 €	296 376 €	701,99	688,46
VAR377	663 812 €	592 498 €	250 061 €	300 875 €	722,71	706,50
VAR378	703 307 €	624 608 €	259 779 €	314 842 €	761,63	742,94
VAR379	706 209 €	626 968 €	260 764 €	315 887 €	764,70	745,63
VAR380	728 727 €	645 275 €	264 712 €	320 629 €	785,63	763,86
VAR381	543 221 €	466 454 €	164 976 €	197 010 €	560,06	524,68
VAR382	554 849 €	475 908 €	164 704 €	196 977 €	569,04	532,13
VAR383	550 159 €	470 697 €	193 774 €	220 871 €	588,32	546,91
VAR384	585 537 €	500 857 €	164 920 €	197 944 €	593,48	552,63
VAR385	651 779 €	554 712 €	158 711 €	191 286 €	640,95	589,95
VAR386	416 381 €	363 332 €	169 528 €	200 321 €	463,35	445,75
VAR387	419 283 €	365 691 €	171 259 €	202 050 €	467,01	448,98
VAR388	441 801 €	383 999 €	174 800 €	206 418 €	487,62	466,91
VAR389	481 296 €	416 109 €	163 348 €	196 342 €	509,80	484,34
VAR390	484 198 €	418 468 €	164 448 €	197 494 €	512,96	487,12
VAR391	506 716 €	436 776 €	168 264 €	202 114 €	533,79	505,25

Anexo IX - Cálculo para obtenção da curva de custo ótimo (Necessidades)

Tabela IX. 1 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
Base	52,51	1	1,08	3	29,61	0,75	2,5	2,5	1	171,66	0,00	0,00	0,00	-	-
VAR1	33,06	1	4,07	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	42,89	24,63	0,00	0,00	75,02%	36,48%
VAR2	31,30	1	4,52	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	41,47	24,63	0,00	0,00	75,84%	37,26%
VAR3	29,46	1	4,68	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,75	24,63	0,00	0,00	76,84%	38,25%
VAR4	29,02	1	5,09	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,62	24,63	0,00	0,00	76,92%	38,33%
VAR5	27,42	1	5,24	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,14	24,63	0,00	0,00	77,78%	39,24%
VAR6	32,17	1	4,59	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	42,39	24,63	0,00	0,00	75,30%	36,75%
VAR7	30,41	1	4,65	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,68	24,63	0,00	0,00	76,30%	37,71%
VAR8	28,58	1	5,28	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,33	24,63	0,00	0,00	77,09%	38,51%
VAR9	28,04	1	5,24	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,76	24,63	0,00	0,00	77,42%	38,85%
VAR10	26,54	1	5,40	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,38	24,63	0,00	0,00	78,22%	39,72%
VAR11	28,73	1	4,73	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,06	24,63	0,00	0,00	77,25%	38,67%
VAR12	28,58	1	4,74	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,92	24,63	0,00	0,00	77,33%	38,76%
VAR13	28,19	1	5,23	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,90	24,63	0,00	0,00	77,34%	38,77%
VAR14	28,04	1	5,24	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,76	24,63	0,00	0,00	77,42%	38,85%
VAR15	27,88	1	5,26	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,61	24,63	0,00	0,00	77,51%	38,94%

Tabela IX. 2 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR16	27,38	1	4,87	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,82	24,63	0,00	0,00	77,97%	39,44%
VAR17	27,24	1	4,88	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,68	24,63	0,00	0,00	78,05%	39,52%
VAR18	26,85	1	5,36	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,66	24,63	0,00	0,00	78,06%	39,54%
VAR19	26,70	1	5,38	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,52	24,63	0,00	0,00	78,14%	39,62%
VAR20	26,54	1	5,40	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,38	24,63	0,00	0,00	78,22%	39,72%
VAR21	30,08	1	4,59	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,30	24,63	0,00	0,00	76,52%	37,93%
VAR22	29,84	1	4,62	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,09	24,63	0,00	0,00	76,65%	38,06%
VAR23	29,16	1	4,75	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,50	24,63	0,00	0,00	76,99%	38,40%
VAR24	29,39	1	4,68	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,68	24,63	0,00	0,00	76,88%	38,29%
VAR25	28,81	1	4,80	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,19	24,63	0,00	0,00	77,17%	38,59%
VAR26	29,11	1	5,08	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,71	24,63	0,00	0,00	76,87%	38,28%
VAR27	29,01	1	5,10	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,62	24,63	0,00	0,00	76,92%	38,33%
VAR28	28,55	1	5,21	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,24	24,63	0,00	0,00	77,14%	38,56%
VAR29	28,72	1	5,16	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,38	24,63	0,00	0,00	77,06%	38,48%
VAR30	28,24	1	5,27	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,98	24,63	0,00	0,00	77,29%	38,72%
VAR31	28,00	1	5,11	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,62	24,63	0,00	0,00	77,50%	38,94%
VAR32	27,90	1	5,13	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,53	24,63	0,00	0,00	77,55%	38,99%
VAR33	27,98	1	5,26	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,71	24,63	0,00	0,00	77,45%	38,88%
VAR34	27,60	1	5,2	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,29	24,63	0,00	0,00	77,70%	39,14%
VAR35	27,12	1	5,31	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,89	24,63	0,00	0,00	77,93%	39,39%

Tabela IX. 3 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR36	30,08	1	4,79	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,45	24,63	0,00	0,00	76,43%	37,84%
VAR37	29,84	1	4,8	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,22	24,63	0,00	0,00	76,57%	37,97%
VAR38	29,61	1	5,26	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,34	24,63	0,00	0,00	76,50%	37,91%
VAR39	29,46	1	5,28	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,21	24,63	0,00	0,00	76,58%	37,98%
VAR40	27,83	1	4,81	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,22	24,63	0,00	0,00	77,73%	39,18%
VAR41	27,59	1	4,82	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,99	24,63	0,00	0,00	77,87%	39,33%
VAR42	27,36	1	5,29	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,11	24,63	0,00	0,00	77,80%	39,25%
VAR43	27,21	1	5,85	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,39	24,63	0,00	0,00	77,64%	39,08%
VAR44	29,41	1	5,01	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,95	24,63	0,00	0,00	76,73%	38,13%
VAR45	29,16	1	5,09	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,76	24,63	0,00	0,00	76,84%	38,25%
VAR46	28,29	1	5,05	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,86	24,63	0,00	0,00	77,36%	38,79%
VAR47	27,90	1	5,13	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,53	24,63	0,00	0,00	77,55%	38,99%
VAR48	32,04	1	4,59	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	42,26	24,63	0,00	0,00	75,38%	36,82%
VAR49	30,97	1	4,64	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	41,23	24,63	0,00	0,00	75,98%	37,39%
VAR50	31,90	1	4,59	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	42,12	24,63	0,00	0,00	75,46%	36,89%
VAR51	30,26	1	4,65	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,53	24,63	0,00	0,00	76,39%	37,80%
VAR52	28,55	1	5,26	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	39,28	24,63	0,00	0,00	77,12%	38,53%
VAR53	28,00	1	5,26	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,73	24,63	0,00	0,00	77,44%	38,87%
VAR54	26,95	1	5,38	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,77	24,63	0,00	0,00	77,99%	39,47%
VAR55	44,48	1	1,32	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	52,21	24,63	0,00	0,00	69,58%	32,05%

Tabela IX. 4 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR56	43,02	1	1,32	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	50,75	24,63	0,00	0,00	70,43%	32,67%
VAR57	42,15	1	1,32	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	49,88	24,63	0,00	0,00	70,94%	33,05%
VAR58	41,56	1	1,33	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	49,30	24,63	0,00	0,00	71,28%	33,32%
VAR59	39,72	1	1,33	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	47,46	24,63	0,00	0,00	72,35%	34,17%
VAR60	47,69	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	55,32	24,63	0,00	0,00	67,77%	30,81%
VAR61	47,29	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	54,92	24,63	0,00	0,00	68,00%	30,96%
VAR62	46,69	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	54,32	24,63	0,00	0,00	68,35%	31,20%
VAR63	46,30	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	53,93	24,63	0,00	0,00	68,58%	31,35%
VAR64	46,00	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	53,63	24,63	0,00	0,00	68,75%	31,47%
VAR65	47,69	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	55,32	24,63	0,00	0,00	67,77%	30,81%
VAR66	47,29	1	1,19	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	54,92	24,63	0,00	0,00	68,00%	30,96%
VAR67	49,45	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	57,48	24,63	0,00	0,00	66,51%	30,00%
VAR68	49,22	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	57,25	24,63	0,00	0,00	66,65%	30,08%
VAR69	48,82	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	56,85	24,63	0,00	0,00	66,88%	30,23%
VAR70	48,66	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	56,69	24,63	0,00	0,00	66,97%	30,29%
VAR71	48,50	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	56,53	24,63	0,00	0,00	67,07%	30,35%
VAR72	49,53	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	57,56	24,63	0,00	0,00	66,47%	29,97%
VAR73	49,30	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	57,33	24,63	0,00	0,00	66,60%	30,05%
VAR74	49,06	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	57,09	24,63	0,00	0,00	66,74%	30,14%
VAR75	48,90	1	1,71	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	56,93	24,63	0,00	0,00	66,84%	30,20%

Tabela IX. 5 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na		Total	TS	FV			BM
VAR76	39,09	1	1,50	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	46,96	24,63	0,00	0,00	72,64%	34,40%
VAR77	37,54	1	1,51	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	45,42	24,63	0,00	0,00	73,54%	35,16%
VAR78	36,22	1	1,51	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	44,10	24,63	0,00	0,00	74,31%	35,84%
VAR79	35,05	1	1,87	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	43,20	24,63	0,00	0,00	74,83%	36,31%
VAR80	31,89	1	2,27	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,34	24,63	0,00	0,00	76,50%	37,91%
VAR81	32,46	1	2,59	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	41,16	24,63	0,00	0,00	76,02%	37,44%
VAR82	31,09	1	2,91	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	40,03	24,63	0,00	0,00	76,68%	38,09%
VAR83	29,22	1	3,00	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	38,23	24,63	0,00	0,00	77,73%	39,18%
VAR84	28,47	1	2,97	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	37,46	24,63	0,00	0,00	78,18%	39,67%
VAR85	26,34	1	3,18	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	35,49	24,63	0,00	0,00	79,33%	40,97%
VAR86	40,12	1	1,99	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	48,36	24,63	0,00	0,00	71,83%	33,74%
VAR87	41,11	1	1,98	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	49,34	24,63	0,00	0,00	71,25%	33,30%
VAR88	40,14	1	1,99	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	48,38	24,63	0,00	0,00	71,81%	33,73%
VAR89	34,75	1	1,90	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	42,92	24,63	0,00	0,00	74,99%	36,46%
VAR90	35,74	1	1,89	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	43,91	24,63	0,00	0,00	74,42%	35,94%
VAR91	34,77	1	1,90	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	42,94	24,63	0,00	0,00	74,98%	36,45%
VAR92	26,61	1	3,92	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	36,32	24,63	0,00	0,00	78,84%	40,41%
VAR93	27,51	1	3,51	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	36,91	24,63	0,00	0,00	78,50%	40,02%
VAR94	26,55	1	3,72	3,29	29,61	0,74	1	2,5	1	36,11	24,63	0,00	0,00	78,97%	40,55%
VAR95	44,48	4,43	1,32	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	31,27	24,63	0,00	0,00	81,79%	44,06%

Tabela IX. 6 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR96	43,02	4,43	1,32	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	30,44	24,63	0,00	0,00	82,27%	44,72%
VAR97	42,15	4,43	1,32	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	29,95	24,63	0,00	0,00	82,55%	45,12%
VAR98	41,56	4,43	1,33	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	29,62	24,63	0,00	0,00	82,74%	45,40%
VAR99	39,72	4,43	1,33	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	28,59	24,63	0,00	0,00	83,35%	46,28%
VAR100	47,69	4,43	1,19	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	32,99	24,63	0,00	0,00	80,78%	42,74%
VAR101	47,29	4,43	1,19	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	32,77	24,63	0,00	0,00	80,91%	42,91%
VAR102	46,69	4,43	1,19	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	32,43	24,63	0,00	0,00	81,11%	43,16%
VAR103	46,30	4,43	1,19	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	32,21	24,63	0,00	0,00	81,24%	43,33%
VAR104	46,00	4,43	1,19	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	32,04	24,63	0,00	0,00	81,33%	43,46%
VAR105	49,53	4,43	1,71	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	34,37	24,63	0,00	0,00	79,98%	41,75%
VAR106	49,30	4,43	1,71	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	34,24	24,63	0,00	0,00	80,05%	41,84%
VAR107	49,06	4,43	1,71	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	34,10	24,63	0,00	0,00	80,13%	41,94%
VAR108	48,90	4,43	1,71	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	34,01	24,63	0,00	0,00	80,19%	42,00%
VAR109	39,09	4,43	1,50	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	28,34	24,63	0,00	0,00	83,49%	46,50%
VAR110	37,54	4,43	1,51	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	27,47	24,63	0,00	0,00	84,00%	47,27%
VAR111	36,22	4,43	1,51	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	26,73	24,63	0,00	0,00	84,43%	47,96%
VAR112	35,05	4,43	1,87	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	26,30	24,63	0,00	0,00	84,68%	48,36%
VAR113	31,89	4,43	2,27	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	24,77	24,63	0,00	0,00	85,57%	49,85%
VAR114	32,46	4,43	2,59	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	25,30	24,63	0,00	0,00	85,26%	49,33%
VAR115	31,09	4,43	2,91	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	24,73	24,63	0,00	0,00	85,59%	49,89%

Tabela IX. 7 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR116	29,22	4,43	3,00	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	23,74	24,63	0,00	0,00	86,17%	50,92%
VAR117	28,47	4,43	2,97	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	23,30	24,63	0,00	0,00	86,43%	51,39%
VAR118	26,34	4,43	3,18	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	22,23	24,63	0,00	0,00	87,05%	52,56%
VAR119	40,12	4,43	1,99	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	29,24	24,63	0,00	0,00	82,97%	45,72%
VAR120	41,11	4,43	1,98	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	29,79	24,63	0,00	0,00	82,65%	45,26%
VAR121	40,14	4,43	1,99	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	29,25	24,63	0,00	0,00	82,96%	45,71%
VAR122	34,75	4,43	1,90	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	26,15	24,63	0,00	0,00	84,77%	48,50%
VAR123	35,74	4,43	1,89	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	26,70	24,63	0,00	0,00	84,44%	47,98%
VAR124	34,77	4,43	1,90	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	26,16	24,63	0,00	0,00	84,76%	48,49%
VAR125	26,61	4,43	3,92	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	22,86	24,63	0,00	0,00	86,68%	51,87%
VAR126	27,51	4,43	3,51	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	23,10	24,63	0,00	0,00	86,54%	51,60%
VAR127	26,55	4,43	3,72	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	22,69	24,63	0,00	0,00	86,78%	52,04%
VAR128	44,48	4,3	1,32	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	29,72	24,63	0,00	0,00	82,68%	45,31%
VAR129	43,02	4,3	1,32	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	28,88	24,63	0,00	0,00	83,18%	46,03%
VAR130	42,15	4,3	1,32	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	28,37	24,63	0,00	0,00	83,47%	46,47%
VAR131	41,56	4,3	1,33	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	28,03	24,63	0,00	0,00	83,67%	46,77%
VAR132	39,72	4,3	1,33	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	26,97	24,63	0,00	0,00	84,29%	47,73%
VAR133	47,69	4,3	1,19	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	31,50	24,63	0,00	0,00	81,65%	43,88%
VAR134	47,29	4,3	1,19	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	31,26	24,63	0,00	0,00	81,79%	44,07%
VAR135	46,69	4,3	1,19	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	30,92	24,63	0,00	0,00	81,99%	44,34%

Tabela IX. 8 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR136	46,30	4,3	1,19	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	30,69	24,63	0,00	0,00	82,12%	44,52%
VAR137	46,00	4,3	1,19	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	30,51	24,63	0,00	0,00	82,22%	44,66%
VAR138	49,53	4,3	1,71	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	32,95	24,63	0,00	0,00	80,80%	42,78%
VAR139	49,30	4,3	1,71	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	32,82	24,63	0,00	0,00	80,88%	42,88%
VAR140	49,06	4,3	1,71	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	32,68	24,63	0,00	0,00	80,96%	42,98%
VAR141	48,90	4,3	1,71	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	32,58	24,63	0,00	0,00	81,02%	43,05%
VAR142	39,09	4,3	1,50	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	26,73	24,63	0,00	0,00	84,43%	47,96%
VAR143	37,54	4,3	1,51	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	25,83	24,63	0,00	0,00	84,95%	48,81%
VAR144	36,22	4,3	1,51	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	25,06	24,63	0,00	0,00	85,40%	49,56%
VAR145	35,05	4,3	1,87	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	24,65	24,63	0,00	0,00	85,64%	49,98%
VAR146	31,89	4,3	2,27	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	23,11	24,63	0,00	0,00	86,54%	51,60%
VAR147	32,46	4,3	2,59	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	23,67	24,63	0,00	0,00	86,21%	50,99%
VAR148	31,09	4,3	2,91	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	23,11	24,63	0,00	0,00	86,54%	51,59%
VAR149	29,22	4,3	3,00	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	22,09	24,63	0,00	0,00	87,13%	52,72%
VAR150	28,47	4,3	2,97	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	21,63	24,63	0,00	0,00	87,40%	53,24%
VAR151	26,34	4,3	3,18	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	20,55	24,63	0,00	0,00	88,03%	54,52%
VAR152	40,12	4,3	1,99	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	27,68	24,63	0,00	0,00	83,87%	47,08%
VAR153	41,11	4,3	1,98	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	28,25	24,63	0,00	0,00	83,54%	46,58%
VAR154	40,14	4,3	1,99	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	27,70	24,63	0,00	0,00	83,87%	47,07%
VAR155	34,75	4,3	1,90	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	24,50	24,63	0,00	0,00	85,73%	50,14%

Tabela IX. 9 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na		Total	TS	FV			BM
VAR156	35,74	4,3	1,89	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	25,06	24,63	0,00	0,00	85,40%	49,56%
VAR157	34,77	4,3	1,90	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	24,51	24,63	0,00	0,00	85,72%	50,12%
VAR158	26,61	4,3	3,92	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	21,25	24,63	0,00	0,00	87,62%	53,69%
VAR159	27,51	4,3	3,51	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	21,47	24,63	0,00	0,00	87,49%	53,43%
VAR160	26,55	4,3	3,72	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	21,07	24,63	0,00	0,00	87,73%	53,90%
VAR161	44,48	3,74	1,32	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	36,05	24,63	0,00	0,00	79,00%	40,59%
VAR162	43,02	3,74	1,32	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	35,07	24,63	0,00	0,00	79,57%	41,25%
VAR163	42,15	3,74	1,32	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	34,49	24,63	0,00	0,00	79,90%	41,66%
VAR164	41,56	3,74	1,33	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	34,10	24,63	0,00	0,00	80,13%	41,94%
VAR165	39,72	3,74	1,33	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	32,88	24,63	0,00	0,00	80,85%	42,83%
VAR166	47,69	3,74	1,19	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	38,10	24,63	0,00	0,00	77,81%	39,27%
VAR167	47,29	3,74	1,19	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	37,83	24,63	0,00	0,00	77,96%	39,43%
VAR168	46,69	3,74	1,19	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	37,43	24,63	0,00	0,00	78,20%	39,69%
VAR169	46,30	3,74	1,19	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	37,17	24,63	0,00	0,00	78,35%	39,86%
VAR170	46,00	3,74	1,19	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	36,97	24,63	0,00	0,00	78,46%	39,99%
VAR171	49,53	3,74	1,71	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	39,72	24,63	0,00	0,00	76,86%	38,27%
VAR172	49,30	3,74	1,71	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	39,57	24,63	0,00	0,00	76,95%	38,37%
VAR173	49,06	3,74	1,71	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	39,41	24,63	0,00	0,00	77,04%	38,46%
VAR174	48,90	3,74	1,71	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	39,30	24,63	0,00	0,00	77,10%	38,53%
VAR175	39,09	3,74	1,50	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	32,58	24,63	0,00	0,00	81,02%	43,05%

Tabela IX. 10 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR176	37,54	3,74	1,51	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	31,56	24,63	0,00	0,00	81,62%	43,84%
VAR177	36,22	3,74	1,51	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	30,67	24,63	0,00	0,00	82,13%	44,54%
VAR178	35,05	3,74	1,87	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	30,16	24,63	0,00	0,00	82,43%	44,95%
VAR179	31,89	3,74	2,27	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	28,36	24,63	0,00	0,00	83,48%	46,48%
VAR180	32,46	3,74	2,59	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	28,98	24,63	0,00	0,00	83,12%	45,94%
VAR181	31,09	3,74	2,91	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	28,31	24,63	0,00	0,00	83,51%	46,53%
VAR182	29,22	3,74	3,00	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	27,13	24,63	0,00	0,00	84,20%	47,59%
VAR183	28,47	3,74	2,97	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	26,60	24,63	0,00	0,00	84,50%	48,08%
VAR184	26,34	3,74	3,18	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	25,34	24,63	0,00	0,00	85,24%	49,29%
VAR185	40,12	3,74	1,99	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	33,65	24,63	0,00	0,00	80,40%	42,26%
VAR186	41,11	3,74	1,98	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	34,30	24,63	0,00	0,00	80,02%	41,80%
VAR187	40,14	3,74	1,99	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	33,66	24,63	0,00	0,00	80,39%	42,26%
VAR188	34,75	3,74	1,90	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	29,99	24,63	0,00	0,00	82,53%	45,10%
VAR189	35,74	3,74	1,89	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	30,64	24,63	0,00	0,00	82,15%	44,56%
VAR190	34,77	3,74	1,90	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	30,00	24,63	0,00	0,00	82,52%	45,08%
VAR191	26,61	3,74	3,92	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	26,08	24,63	0,00	0,00	84,81%	48,57%
VAR192	27,51	3,74	3,51	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	26,37	24,63	0,00	0,00	84,64%	48,29%
VAR193	26,55	3,74	3,72	3,29	29,61	0,937	2,5	2,5	1	25,89	24,63	0,00	0,00	84,92%	48,75%
VAR194	44,48	3,74	1,32	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	62,66	24,63	0,00	0,00	63,50%	28,22%
VAR195	43,02	3,74	1,32	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	61,68	24,63	0,00	0,00	64,07%	28,54%

Tabela IX. 11 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR196	42,15	3,74	1,32	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	61,10	24,63	0,00	0,00	64,40%	28,73%
VAR197	41,56	3,74	1,33	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	60,71	24,63	0,00	0,00	64,63%	28,86%
VAR198	39,72	3,74	1,33	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	59,49	24,63	0,00	0,00	65,35%	29,28%
VAR199	47,69	3,74	1,19	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	64,71	24,63	0,00	0,00	62,30%	27,57%
VAR200	47,29	3,74	1,19	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	64,44	24,63	0,00	0,00	62,46%	27,65%
VAR201	46,69	3,74	1,19	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	64,04	24,63	0,00	0,00	62,69%	27,78%
VAR202	46,30	3,74	1,19	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	63,78	24,63	0,00	0,00	62,85%	27,86%
VAR203	46,00	3,74	1,19	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	63,58	24,63	0,00	0,00	62,96%	27,92%
VAR204	49,53	3,74	1,71	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	66,33	24,63	0,00	0,00	61,36%	27,08%
VAR205	49,30	3,74	1,71	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	66,18	24,63	0,00	0,00	61,45%	27,12%
VAR206	49,06	3,74	1,71	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	66,02	24,63	0,00	0,00	61,54%	27,17%
VAR207	48,90	3,74	1,71	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	65,91	24,63	0,00	0,00	61,60%	27,20%
VAR208	39,09	3,74	1,50	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	59,19	24,63	0,00	0,00	65,52%	29,38%
VAR209	37,54	3,74	1,51	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	58,16	24,63	0,00	0,00	66,12%	29,75%
VAR210	36,22	3,74	1,51	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	57,28	24,63	0,00	0,00	66,63%	30,07%
VAR211	35,05	3,74	1,87	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	56,77	24,63	0,00	0,00	66,93%	30,26%
VAR212	31,89	3,74	2,27	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	54,96	24,63	0,00	0,00	67,98%	30,94%
VAR213	32,46	3,74	2,59	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	55,59	24,63	0,00	0,00	67,62%	30,70%
VAR214	31,09	3,74	2,91	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	54,92	24,63	0,00	0,00	68,01%	30,96%
VAR215	29,22	3,74	3,00	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	53,73	24,63	0,00	0,00	68,70%	31,43%

Tabela IX. 12 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR216	28,47	3,74	2,97	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	53,21	24,63	0,00	0,00	69,00%	31,64%
VAR217	26,34	3,74	3,18	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	51,95	24,63	0,00	0,00	69,74%	32,16%
VAR218	40,12	3,74	1,99	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	60,25	24,63	0,00	0,00	64,90%	29,02%
VAR219	41,11	3,74	1,98	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	60,91	24,63	0,00	0,00	64,52%	28,79%
VAR220	40,14	3,74	1,99	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	60,27	24,63	0,00	0,00	64,89%	29,01%
VAR221	34,75	3,74	1,90	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	56,60	24,63	0,00	0,00	67,03%	30,32%
VAR222	35,74	3,74	1,89	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	57,25	24,63	0,00	0,00	66,65%	30,08%
VAR223	34,77	3,74	1,90	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	56,61	24,63	0,00	0,00	67,02%	30,32%
VAR224	26,61	3,74	3,92	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	52,69	24,63	0,00	0,00	69,31%	31,85%
VAR225	27,51	3,74	3,51	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	52,98	24,63	0,00	0,00	69,14%	31,74%
VAR226	26,55	3,74	3,72	3,29	29,61	0,39	2,5	2,5	2,5	52,50	24,63	0,00	0,00	69,42%	31,93%
VAR227	44,48	0,937	1,32	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	53,79	24,63	0,00	0,00	68,67%	31,41%
VAR228	43,02	0,937	1,32	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	52,23	24,63	0,00	0,00	69,57%	32,05%
VAR229	42,15	0,937	1,32	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	51,30	24,63	0,00	0,00	70,11%	32,44%
VAR230	41,56	0,937	1,33	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	50,68	24,63	0,00	0,00	70,48%	32,71%
VAR231	39,72	0,937	1,33	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	48,72	24,63	0,00	0,00	71,62%	33,58%
VAR232	47,69	0,937	1,19	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	57,12	24,63	0,00	0,00	66,73%	30,13%
VAR233	47,29	0,937	1,19	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	56,69	24,63	0,00	0,00	66,98%	30,29%
VAR234	46,69	0,937	1,19	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	56,05	24,63	0,00	0,00	67,35%	30,53%
VAR235	46,30	0,937	1,19	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	55,63	24,63	0,00	0,00	67,59%	30,69%

Tabela IX. 13 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR236	46,00	0,937	1,19	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	55,31	24,63	0,00	0,00	67,78%	30,81%
VAR237	49,53	0,937	1,71	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	59,47	24,63	0,00	0,00	65,35%	29,29%
VAR238	49,30	0,937	1,71	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	59,23	24,63	0,00	0,00	65,50%	29,37%
VAR239	49,06	0,937	1,71	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	58,97	24,63	0,00	0,00	65,64%	29,46%
VAR240	48,90	0,937	1,71	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	58,80	24,63	0,00	0,00	65,74%	29,52%
VAR241	39,09	0,937	1,50	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	48,17	24,63	0,00	0,00	71,94%	33,83%
VAR242	37,54	0,937	1,51	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	46,53	24,63	0,00	0,00	72,90%	34,61%
VAR243	36,22	0,937	1,51	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	45,12	24,63	0,00	0,00	73,72%	35,31%
VAR244	35,05	0,937	1,87	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	44,14	24,63	0,00	0,00	74,28%	35,81%
VAR245	31,89	0,937	2,27	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	41,07	24,63	0,00	0,00	76,07%	37,49%
VAR246	32,46	0,937	2,59	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	41,93	24,63	0,00	0,00	75,58%	37,01%
VAR247	31,09	0,937	2,91	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	40,71	24,63	0,00	0,00	76,29%	37,70%
VAR248	29,22	0,937	3,00	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	38,78	24,63	0,00	0,00	77,41%	38,84%
VAR249	28,47	0,937	2,97	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	37,96	24,63	0,00	0,00	77,89%	39,35%
VAR250	26,34	0,937	3,18	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	35,84	24,63	0,00	0,00	79,12%	40,73%
VAR251	40,12	0,937	1,99	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	49,64	24,63	0,00	0,00	71,08%	33,16%
VAR252	41,11	0,937	1,98	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	50,69	24,63	0,00	0,00	70,47%	32,70%
VAR253	40,14	0,937	1,99	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	49,67	24,63	0,00	0,00	71,07%	33,15%
VAR254	34,75	0,937	1,90	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	43,85	24,63	0,00	0,00	74,46%	35,97%
VAR255	35,74	0,937	1,89	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	44,89	24,63	0,00	0,00	73,85%	35,43%

Tabela IX. 14 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR256	34,77	0,937	1,90	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	43,87	24,63	0,00	0,00	74,45%	35,96%
VAR257	26,61	0,937	3,92	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	36,69	24,63	0,00	0,00	78,62%	40,16%
VAR258	27,51	0,937	3,51	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	37,34	24,63	0,00	0,00	78,25%	39,74%
VAR259	26,55	0,937	3,72	3,29	29,61	0,937	1	2,5	1	36,48	24,63	0,00	0,00	78,75%	40,31%
VAR260	44,48	0,93	1,32	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,00	0,00	0,00	79,67	99,42%	98,76%
VAR261	43,02	0,93	1,32	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,00	0,00	0,00	78,09	99,42%	98,73%
VAR262	42,15	0,93	1,32	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,01	0,00	0,00	77,16	99,41%	98,71%
VAR263	41,56	0,93	1,33	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,01	0,00	0,00	76,53	99,41%	98,70%
VAR264	39,72	0,93	1,33	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,01	0,00	0,00	74,55	99,41%	98,66%
VAR265	47,69	0,93	1,19	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	0,90	0,00	0,00	83,12	99,47%	98,92%
VAR266	47,29	0,93	1,19	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	0,90	0,00	0,00	82,69	99,47%	98,92%
VAR267	46,69	0,93	1,19	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	0,90	0,00	0,00	82,04	99,47%	98,91%
VAR268	46,30	0,93	1,19	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	0,90	0,00	0,00	81,62	99,47%	98,90%
VAR269	46,00	0,93	1,19	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	0,90	0,00	0,00	81,30	99,47%	98,90%
VAR270	49,53	0,93	1,71	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,30	0,00	0,00	85,10	99,24%	98,50%
VAR271	49,30	0,93	1,71	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,30	0,00	0,00	84,85	99,24%	98,49%
VAR272	49,06	0,93	1,71	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,30	0,00	0,00	84,59	99,24%	98,49%
VAR273	48,90	0,93	1,71	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,30	0,00	0,00	84,42	99,24%	98,48%
VAR274	39,09	0,93	1,50	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,14	0,00	0,00	73,87	99,34%	98,48%
VAR275	37,54	0,93	1,51	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,15	0,00	0,00	72,20	99,33%	98,44%

Tabela IX. 15 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR276	36,22	0,93	1,51	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,15	0,00	0,00	70,78	99,33%	98,40%
VAR277	35,05	0,93	1,87	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,42	0,00	0,00	69,53	99,17%	98,00%
VAR278	31,89	0,93	2,27	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,72	0,00	0,00	66,13	99,00%	97,46%
VAR279	32,46	0,93	2,59	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,97	0,00	0,00	66,74	98,85%	97,14%
VAR280	31,09	0,93	2,91	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,21	0,00	0,00	65,27	98,71%	96,72%
VAR281	29,22	0,93	3,00	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,28	0,00	0,00	63,26	98,67%	96,52%
VAR282	28,47	0,93	2,97	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,26	0,00	0,00	62,45	98,69%	96,51%
VAR283	26,34	0,93	3,18	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,42	0,00	0,00	60,16	98,59%	96,14%
VAR284	40,12	0,93	1,99	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,51	0,00	0,00	74,98	99,12%	98,02%
VAR285	41,11	0,93	1,98	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,50	0,00	0,00	76,04	99,12%	98,06%
VAR286	40,14	0,93	1,99	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,51	0,00	0,00	75,00	99,12%	98,02%
VAR287	34,75	0,93	1,90	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,44	0,00	0,00	69,20	99,16%	97,96%
VAR288	35,74	0,93	1,89	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,44	0,00	0,00	70,27	99,16%	98,00%
VAR289	34,77	0,93	1,90	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	1,44	0,00	0,00	69,23	99,16%	97,96%
VAR290	26,61	0,93	3,92	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,98	0,00	0,00	60,45	98,26%	95,30%
VAR291	27,51	0,93	3,51	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,67	0,00	0,00	61,42	98,45%	95,84%
VAR292	26,55	0,93	3,72	3,29	29,61	0,93	1	2,5	1	2,83	0,00	0,00	60,39	98,35%	95,53%
VAR293	44,48	3,75	1,32	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	37,38	24,63	0,00	0,00	78,22%	39,72%
VAR294	43,02	3,75	1,32	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	36,41	24,63	0,00	0,00	78,79%	40,35%
VAR295	42,15	3,75	1,32	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	35,83	24,63	0,00	0,00	79,12%	40,73%

Tabela IX. 16 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR296	41,56	3,75	1,33	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	35,44	24,63	0,00	0,00	79,35%	41,00%
VAR297	39,72	3,75	1,33	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	34,22	24,63	0,00	0,00	80,06%	41,85%
VAR298	47,69	3,75	1,19	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	39,43	24,63	0,00	0,00	77,03%	38,45%
VAR299	47,29	3,75	1,19	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	39,16	24,63	0,00	0,00	77,19%	38,61%
VAR300	46,69	3,75	1,19	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	38,76	24,63	0,00	0,00	77,42%	38,85%
VAR301	46,30	3,75	1,19	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	38,50	24,63	0,00	0,00	77,57%	39,01%
VAR302	46,00	3,75	1,19	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	38,30	24,63	0,00	0,00	77,69%	39,14%
VAR303	49,53	3,75	1,71	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	41,05	24,63	0,00	0,00	76,09%	37,50%
VAR304	49,30	3,75	1,71	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	40,90	24,63	0,00	0,00	76,18%	37,59%
VAR305	49,06	3,75	1,71	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	40,74	24,63	0,00	0,00	76,27%	37,68%
VAR306	48,90	3,75	1,71	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	40,63	24,63	0,00	0,00	76,33%	37,74%
VAR307	39,09	3,75	1,50	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	33,93	24,63	0,00	0,00	80,23%	42,06%
VAR308	37,54	3,75	1,51	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	32,90	24,63	0,00	0,00	80,83%	42,81%
VAR309	36,22	3,75	1,51	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	32,02	24,63	0,00	0,00	81,34%	43,47%
VAR310	35,05	3,75	1,87	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	31,52	24,63	0,00	0,00	81,64%	43,87%
VAR311	31,89	3,75	2,27	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	29,71	24,63	0,00	0,00	82,69%	45,32%
VAR312	32,46	3,75	2,59	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	30,34	24,63	0,00	0,00	82,33%	44,81%
VAR313	31,09	3,75	2,91	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	29,67	24,63	0,00	0,00	82,72%	45,36%
VAR314	29,22	3,75	3,00	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	28,49	24,63	0,00	0,00	83,40%	46,37%
VAR315	28,47	3,75	2,97	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	27,97	24,63	0,00	0,00	83,71%	46,83%

Tabela IX. 17 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR316	26,34	3,75	3,18	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	26,71	24,63	0,00	0,00	84,44%	47,98%
VAR317	40,12	3,75	1,99	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	34,99	24,63	0,00	0,00	79,62%	41,31%
VAR318	41,11	3,75	1,98	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	35,64	24,63	0,00	0,00	79,24%	40,87%
VAR319	40,14	3,75	1,99	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	35,00	24,63	0,00	0,00	79,61%	41,30%
VAR320	34,75	3,75	1,90	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	31,34	24,63	0,00	0,00	81,74%	44,01%
VAR321	35,74	3,75	1,89	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	31,99	24,63	0,00	0,00	81,36%	43,50%
VAR322	34,77	3,75	1,90	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	31,35	24,63	0,00	0,00	81,73%	44,00%
VAR323	26,61	3,75	3,92	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	27,45	24,63	0,00	0,00	84,01%	47,29%
VAR324	27,51	3,75	3,51	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	27,74	24,63	0,00	0,00	83,84%	47,03%
VAR325	26,55	3,75	3,72	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	27,26	24,63	0,00	0,00	84,12%	47,47%
VAR326	32,46	4,43	2,59	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	16,68	24,63	8,62	0,00	90,28%	66,59%
VAR327	31,09	4,43	2,91	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	16,12	24,63	8,62	0,00	90,61%	67,36%
VAR328	29,22	4,43	3,00	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	15,12	24,63	8,62	0,00	91,19%	68,74%
VAR329	28,47	4,43	2,97	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	14,68	24,63	8,62	0,00	91,45%	69,38%
VAR330	26,34	4,43	3,18	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	13,61	24,63	8,62	0,00	92,07%	70,96%
VAR331	40,12	4,43	1,99	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	20,62	24,63	8,62	0,00	87,99%	61,72%
VAR332	41,11	4,43	1,98	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	21,17	24,63	8,62	0,00	87,67%	61,10%
VAR333	40,14	4,43	1,99	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	20,63	24,63	8,62	0,00	87,98%	61,71%
VAR334	26,61	4,43	3,92	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	14,24	24,63	8,62	0,00	91,71%	70,02%
VAR335	27,51	4,43	3,51	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	14,48	24,63	8,62	0,00	91,56%	69,66%

Tabela IX. 18 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR336	26,55	4,43	3,72	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	14,07	24,63	8,62	0,00	91,80%	70,26%
VAR337	32,46	4,3	2,59	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	15,05	24,63	8,62	0,00	91,23%	68,84%
VAR338	31,09	4,3	2,91	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	14,49	24,63	8,62	0,00	91,56%	69,65%
VAR339	29,22	4,3	3,00	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	13,47	24,63	8,62	0,00	92,15%	71,17%
VAR340	28,47	4,3	2,97	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	13,01	24,63	8,62	0,00	92,42%	71,87%
VAR341	26,34	4,3	3,18	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	11,93	24,63	8,62	0,00	93,05%	73,60%
VAR342	40,12	4,3	1,99	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	19,06	24,63	8,62	0,00	88,89%	63,56%
VAR343	41,11	4,3	1,98	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	19,63	24,63	8,62	0,00	88,56%	62,88%
VAR344	40,14	4,3	1,99	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	19,08	24,63	8,62	0,00	88,89%	63,54%
VAR345	26,61	4,3	3,92	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	12,63	24,63	8,62	0,00	92,64%	72,47%
VAR346	27,51	4,3	3,51	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	12,85	24,63	8,62	0,00	92,51%	72,13%
VAR347	26,55	4,3	3,72	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	12,45	24,63	8,62	0,00	92,75%	72,76%
VAR348	32,46	3,75	2,59	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	21,72	24,63	8,62	0,00	87,35%	60,49%
VAR349	31,09	3,75	2,91	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	21,05	24,63	8,62	0,00	87,74%	61,24%
VAR350	29,22	3,75	3,00	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	19,87	24,63	8,62	0,00	88,42%	62,59%
VAR351	28,47	3,75	2,97	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	19,35	24,63	8,62	0,00	88,73%	63,22%
VAR352	26,34	3,75	3,18	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	18,09	24,63	8,62	0,00	89,46%	64,77%
VAR353	40,12	3,75	1,99	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	26,37	24,63	8,62	0,00	84,64%	55,77%
VAR354	41,11	3,75	1,98	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	27,02	24,63	8,62	0,00	84,26%	55,17%
VAR355	40,14	3,75	1,99	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	26,38	24,63	8,62	0,00	84,63%	55,76%

Tabela IX. 19 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR356	26,61	3,75	3,92	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	18,83	24,63	8,62	0,00	89,03%	63,85%
VAR357	27,51	3,75	3,51	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	19,12	24,63	8,62	0,00	88,86%	63,49%
VAR358	26,55	3,75	3,72	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	18,64	24,63	8,62	0,00	89,14%	64,08%
VAR359	32,46	4,43	2,59	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	9,77	24,63	15,53	0,00	94,31%	80,43%
VAR360	31,09	4,43	2,91	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	9,20	24,63	15,53	0,00	94,64%	81,36%
VAR361	29,22	4,43	3,00	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	8,21	24,63	15,53	0,00	95,22%	83,03%
VAR362	28,47	4,43	2,97	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	7,76	24,63	15,53	0,00	95,48%	83,80%
VAR363	26,34	4,43	3,18	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	6,70	24,63	15,53	0,00	96,10%	85,71%
VAR364	40,12	4,43	1,99	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	13,71	24,63	15,53	0,00	92,02%	74,56%
VAR365	41,11	4,43	1,98	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	14,26	24,63	15,53	0,00	91,69%	73,80%
VAR366	40,14	4,43	1,99	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	13,72	24,63	15,53	0,00	92,01%	74,54%
VAR367	26,61	4,43	3,92	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	7,33	24,63	15,53	0,00	95,73%	84,57%
VAR368	27,51	4,43	3,51	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	7,57	24,63	15,53	0,00	95,59%	84,14%
VAR369	26,55	4,43	3,72	3,88	29,61	0,94	2,5	2,5	1	7,16	24,63	15,53	0,00	95,83%	84,86%
VAR370	32,46	4,3	2,59	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	8,14	24,63	15,53	0,00	95,26%	83,15%
VAR371	31,09	4,3	2,91	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	7,58	24,63	15,53	0,00	95,58%	84,12%
VAR372	29,22	4,3	3,00	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	6,56	24,63	15,53	0,00	96,18%	85,96%
VAR373	28,47	4,3	2,97	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	6,10	24,63	15,53	0,00	96,45%	86,81%
VAR374	26,34	4,3	3,18	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	5,02	24,63	15,53	0,00	97,08%	88,90%
VAR375	40,12	4,3	1,99	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	12,15	24,63	15,53	0,00	92,92%	76,77%

Tabela IX. 20 – Necessidades de energia associadas a cada medida de reabilitação (continuação)

Solução	Nic (kWh/m ² .a)		Nvc (kWh/m ² .a)		Nac (kWh/m ² .a)		Fatores de conversão			Ntc (kWh/m ² .a)	Renováveis			Redução Ntc em relação à base	% Renováveis
	Total	η	Total	η	Total	η	Ni	Nv	Na	Total	TS	FV	BM		
VAR376	41,11	4,3	1,98	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	12,72	24,63	15,53	0,00	92,59%	75,95%
VAR377	40,14	4,3	1,99	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	12,16	24,63	15,53	0,00	92,91%	76,75%
VAR378	26,61	4,3	3,92	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	5,72	24,63	15,53	0,00	96,67%	87,54%
VAR379	27,51	4,3	3,51	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	5,94	24,63	15,53	0,00	96,54%	87,12%
VAR380	26,55	4,3	3,72	3,4	29,61	4,3	2,5	2,5	2,5	5,53	24,63	15,53	0,00	96,78%	87,89%
VAR381	32,46	3,75	2,59	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	14,81	24,63	15,53	0,00	91,37%	73,06%
VAR382	31,09	3,75	2,91	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	14,14	24,63	15,53	0,00	91,76%	73,97%
VAR383	29,22	3,75	3,00	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	12,96	24,63	15,53	0,00	92,45%	75,61%
VAR384	28,47	3,75	2,97	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	12,43	24,63	15,53	0,00	92,76%	76,36%
VAR385	26,34	3,75	3,18	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	11,17	24,63	15,53	0,00	93,49%	78,23%
VAR386	40,12	3,75	1,99	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	19,46	24,63	15,53	0,00	88,67%	67,36%
VAR387	41,11	3,75	1,98	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	20,11	24,63	15,53	0,00	88,29%	66,64%
VAR388	40,14	3,75	1,99	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	19,47	24,63	15,53	0,00	88,66%	67,35%
VAR389	26,61	3,75	3,92	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	11,92	24,63	15,53	0,00	93,06%	77,12%
VAR390	27,51	3,75	3,51	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	12,21	24,63	15,53	0,00	92,89%	76,69%
VAR391	26,55	3,75	3,72	3,29	29,61	0,74	2,5	2,5	1	11,72	24,63	15,53	0,00	93,17%	77,40%