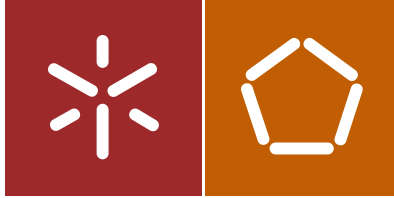




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alda Susana Vieira Teixeira

Análise integrada dos impactes ambientais
e do desempenho energético de cenários de
reabilitação energética de edifícios



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alda Susana Vieira Teixeira

Análise integrada dos impactes ambientais
e do desempenho energético de cenários de
reabilitação energética de edifícios

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

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

AGRADECIMENTOS

A realização da presente dissertação não teria sido possível sem a colaboração de algumas pessoas, que permitiram de uma forma ou de outra que mais esta etapa fosse concluída, atingindo-se assim o fim de um longo percurso de cinco anos.

Quero agradecer aos orientadores Professor Doutor Ricardo Mateus e Professora Doutora Manuela Almeida por todo o apoio, orientação, paciência e disponibilidade demonstrada. Deixo um grande agradecimento também ao Arquitecto Marco Ferreira por ter estado presente também durante estes longos meses e ter-se mostrado sempre disponível e pronto a ajudar.

Agradeço à minha família, em particular à minha mãe e aos meus padrinhos por tudo o que fizeram por mim durante este cinco anos, por todos os sacrifícios, por toda a força e por todo o apoio que sempre me demonstram e que me levaram a nunca desistir mesmo nos momentos mais difíceis.

Por último quero agradecer ao Bruno por toda a paciência e compreensão que sempre teve, por todo o apoio que deu e por ter acreditado sempre em mim, nunca me deixando desistir.

A todos deixo o meu muito obrigado.

RESUMO

O setor da construção é responsável por grande parte da extração de materiais, além de contribuir de forma muito significativa para os impactes ambientais que afetam o planeta. Cada vez mais o termo construção sustentável é utilizado e o desempenho energético dos edifícios torna-se um dos aspetos fundamentais quer na construção nova como na reabilitação.

É neste contexto que surge a necessidade de uma metodologia que permita determinar desde as fases mais preliminares de projeto, não só as necessidades energéticas associadas a um edifício, mas também os impactes ambientais.

Com base nessa metodologia surge a presente dissertação, que pretendeu numa primeira fase verificar a fiabilidade de uma metodologia desenvolvida num trabalho de investigação anterior e designada por “Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios”. Numa segunda fase aplicou-se a mesma a um caso de estudo por forma a relacionar o potencial de aquecimento global e a energia durante a fase de utilização em diferentes cenários de reabilitação. Esta análise tem como objetivo determinar, para diferentes tipos de materiais de isolamento e equipamentos de climatização e preparação de águas quentes sanitárias, o cenário que otimiza a relação entre as emissões de gases de efeito de estufa e o consumo energético durante a fase de utilização. De modo a verificar a influência do contexto climático nos resultados obtidos, admitiu-se que o edifício estaria implantado em quatro cidades distintas de Portugal, tentando assim abranger todas as combinações de zonas climáticas possíveis.

Este estudo surge na sequência do que foi descrito acima e tendo em conta que até ao momento nenhum estudo do género se havia ainda realizado, apenas estudos semelhantes mas a relacionar o custo com a energia.

Palavras-chaves - Metodologia, Impacte ambiental, desempenho energético, reabilitação, potencial de aquecimento global

ABSTRACT

The construction sector is responsible for much of the extraction of materials, while contributing very significantly to the environmental impacts affecting the planet. Therefore the concept sustainable construction is gaining importance and the energy efficiency in buildings become one of the fundamental aspects either in new construction or in buildings' rehabilitation.

It is in this context there is a the need for a methodology that allows assessing both the energy needs of a building and the related environmental impacts, since the most preliminary stages of design.

Based in a methodology called "Methodology for the integrated analysis of environmental impacts and the energy performance of energy rehabilitation scenarios of buildings", previously developed in a research work, this thesis is aimed at: i) verifying the reliability of the methodology previously developed through its application to a case study located in different climate locations; ii) to study the relation between the global warming potential and the operational energy consumption for various rehabilitation scenarios. This analysis is aimed at assessing, for different insulation materials and acclimatization and hot water preparation equipment, the rehabilitation scenario that optimizes the relation between global warming potential emission and operational energy consumption. In order to assess the influence of the climate context in the results, it is considered that the case study building is located in four different Portuguese cities, covering all areas of possible climate combinations.

This study follows the studies developed before in the research center and until now there are no studied published in the same field. There are only similar studies that relate the cost of different rehabilitation scenario with life-cycle energy consumption.

Keywords - Methodology, environmental impact, energy efficiency, rehabilitation, global warming potential

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e metodologia adotada.....	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
CAPÍTULO II.....	5
2. ESTADO DE ARTE.....	5
2.1 Desenvolvimento Sustentável.....	5
2.1.1 Objetivos da estratégia 2020.....	5
2.1.2 Situação do plano 20-20-20 em 2011.....	5
2.2 Situação energética em Portugal até 2007.....	6
2.2.1 Medidas implementadas em Portugal além da meta dos 20-20-20.....	6
2.3 Planos Nacionais que promovem a sustentabilidade.....	7
2.3.1 Plano Nacional de Ação para a eficiência energética 2016.....	7
2.3.2 Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis.....	8
2.4 Metodologia.....	8
2.4.1 Annex 56.....	8
2.4.2 Tabula.....	9
2.5 Estudos que relacionam a energia primária com o custo.....	9
CAPÍTULO III.....	13
3. METODOLOGIA.....	13
CAPÍTULO IV.....	21
4. CASO DE ESTUDO.....	21
4.1 Características geométricas e físicas do edifício.....	22
CAPÍTULO V.....	27

5. VERIFICAÇÃO DA FIABILIDADE DA METODOLOGIA	27
5.1 Identificação das divergências entre a metodologia desenvolvida e a folha de cálculo do REH	27
5.1.1 Aquecimento	28
5.1.2 Arrefecimento.....	34
5.1.3 Águas Quentes Sanitárias.....	39
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	45
6.1 Enquadramento	45
6.2 Beja	45
6.2.1 Combinação de equipamentos C1	46
6.2.2 Combinação de equipamentos C2.....	47
6.2.3 Combinação de equipamentos C3.....	48
6.2.4 Combinação de equipamentos C4.....	50
6.2.5 Combinação de equipamentos C5.....	51
6.2.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação.....	52
6.3 Lisboa.....	54
6.3.1 Combinação de equipamentos C1	54
6.3.2 Combinação de equipamentos C2.....	55
6.3.3 Combinação de equipamentos C3.....	56
6.3.4 Combinação de equipamentos C4.....	57
6.3.5 Combinação de equipamentos C5.....	59
6.3.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação.....	60
6.4 Porto.....	61
6.4.1 Combinação de equipamentos C1	62
6.4.2 Combinação de equipamentos C2.....	63
6.4.3 Combinação de equipamentos C3.....	64
6.4.4 Combinação de equipamentos C4.....	65
6.4.5 Combinação de equipamentos C5.....	66

6.4.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação.....	67
6.5 Vila Real	68
6.5.1 Combinação de equipamentos C1	69
6.5.2 Combinação de equipamentos C2	70
6.5.3 Combinação de equipamentos C3	71
6.5.4 Combinação de equipamentos C4	72
6.5.5 Combinação de equipamentos C5	73
6.5.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação.....	74
CAPÍTULO VII.....	77
7. CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Índice de emissão de gases de efeito de estufa e respetivo objetivo (Fonte- EUROSTAT, 2009).....	6
Figura 2- Custo ótimo (Fonte: Artigo científico “ <i>Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960</i> ”).....	10
Figura 3- Avaliação otimizada de custos para zero utilização de energia não renovável (Fonte: Artigo científico “ <i>Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960</i> ”).....	11
Figura 4- Curvas de custos ótimos para as paredes exteriores para cada um dos três sistemas considerado (Fonte: Artigo Científico “ <i>Cost optimal levels for envelope components in residential building renovation – Rainha Dona Leonor neighbourhood case study</i> ”).	12
Figura 5- Nº de edifícios tendo em conta a dimensão de alojamentos (Fonte: INE, Censos 2011)	21
Figura 6- Nº de edifícios segundo necessidade de reparação por época de construção (Fonte: INE, Censos 2011)	22
Figura 7- Nº de edifícios segundo o revestimento exterior das paredes (Fonte: INE, Censos 2011)	23
Figura 8- Nº de edifícios segundo o tipo de cobertura (Fonte: INE, Censos 2011)	23
Figura 9- Nº de edifícios segundo o revestimento da cobertura inclinada (Fonte: INE, Censos 2011)	24
Figura 10- Gráfico com as necessidades energéticas relativas a Beja.....	41
Figura 11- Gráfico com as necessidades energéticas relativas a Lisboa	42
Figura 12- Gráfico com as necessidades energéticas relativas ao Porto	43
Figura 13- Gráfico com as necessidades energéticas relativas a Vila Real.....	43
Figura 14- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos em Beja.....	46
Figura 15- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos em Beja.....	47
Figura 16- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos em Beja.....	49

Figura 17- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Beja.....	50
Figura 18- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 5ª combinação de equipamentos em Beja.....	51
Figura 19- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos em Lisboa	54
Figura 20- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos em Lisboa	55
Figura 21- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos em Lisboa	56
Figura 22- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Lisboa	58
Figura 23- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 5ª combinação de equipamentos em Lisboa	59
Figura 24- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos no Porto	62
Figura 25- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos no Porto	63
Figura 26- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos no Porto	64
Figura 27- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos no Porto	65
Figura 28- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 5ª combinação de equipamentos no Porto	66
Figura 29- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos em Vila Real.....	69
Figura 30- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos em Vila Real.....	70
Figura 31- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos em Vila Real.....	71
Figura 32- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Vila Real.....	72
Figura 33- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Vila Real.....	73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Contribuição de energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020	7
Tabela 2- Importância relativa dos parâmetros ambientais segundo estudo da EPA (EPA, 1990 e 2000)	13
Tabela 3- Valores dos impactes ambientais e energia incorporada dos vetores energéticos utilizados	14
Tabela 4- Valores dos impactes ambientais e energia incorporada dos equipamentos utilizados.....	15
Tabela 5- Valores dos impactes ambientais e energia incorporada dos isolamentos utilizados e respetivo transporte	16
Tabela 6- Cenários de reabilitação utilizados na análise (continua)	17
Tabela 6- Cenários de reabilitação utilizados na análise (continuação).....	17
Tabela 7- Combinação de equipamentos utilizados para a análise	19
Tabela 8- Valores das resistências térmicas Rse e Rsi.....	25
Tabela 9- Descrição dos elementos construtivos constituintes do edifício	25
Tabela 10- Descrição dos vãos envidraçados constituintes do edifício em estudo.....	26
Tabela 11- Valores das necessidades de energia para aquecimento.....	28
Tabela 12- Comparação dos valores devolvidos pela metodologia e pelo REH referentes à fórmula de cálculo das necessidades de energia par aquecimento	33
Tabela 13- Valores das necessidades de energia para aquecimento após substituição de dados climáticos pelos do REH	34
Tabela 14-Valores das necessidades de energia para arrefecimento	34
Tabela 15- Comparação dos valores devolvidos pela metodologia e pelo REH referentes à fórmula de cálculo das necessidades de energia para arrefecimento	35
Tabela 16-Valores das necessidades de energia para arrefecimento após substituição de dados climáticos pelos do REH	38
Tabela 17-Valores das necessidades de energia para arrefecimento após substituição de dados climáticos e do fator de utilização de ganhos pelos do REH	39
Tabela 18-Valores das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias	39
Tabela 19- Resultados dos pontos ótimos para o EPS em Beja	52

Tabela 20- Resultados dos pontos ótimos para o XPS em Beja.....	52
Tabela 21- Resultados dos pontos ótimos para o ICB em Beja.....	53
Tabela 22- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha em Beja.....	53
Tabela 23- Resultados dos pontos ótimos para o EPS em Lisboa.....	60
Tabela 24- Resultados dos pontos ótimos para o XPS em Lisboa	60
Tabela 25- Resultados dos pontos ótimos para o ICB em Lisboa.....	60
Tabela 26- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha em Lisboa	61
Tabela 27- Resultados dos pontos ótimos para o EPS no Porto.....	67
Tabela 28- Resultados dos pontos ótimos para o XPS no Porto	67
Tabela 29- Resultados dos pontos ótimos para o ICB no Porto	68
Tabela 30- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha no Porto	68
Tabela 31- Resultados dos pontos ótimos para o EPS em Vila Real	74
Tabela 32- Resultados dos pontos ótimos para o XPS em Vila Real	74
Tabela 33- Resultados dos pontos ótimos para o ICB em Vila Real.....	75
Tabela 34- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha em Vila Real	75

LISTA DE ABREVIATURAS

ADENE - Agência para a energia

ANNEX 56 - Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation Project

AQS - Água Quente Sanitária

EPS – Poliestireno Expandido

GWP- Potencial de Aquecimento Global

ICB - Aglomerado de Cortiça Expandida

ITEcons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

LCA - Life Cycle Analysis

REH - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios

XPS - Poliestireno Extrudido

MW - Lã de Rocha

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A presente dissertação foi desenvolvida no contexto do projeto internacional de investigação denominado *Annex 56 – Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation*, que tem como objetivo o desenvolvimento de uma nova metodologia que apoie os projetistas na conceção de operações de reabilitação mais sustentáveis.

Com a crescente evolução da população e conseqüente degradação do património histórico surgiu a preocupação com a reabilitação, principalmente no momento de estagnação em que a construção nova se encontra. Desponta também cada vez mais a preocupação com o meio ambiente, através da construção de edifícios mais sustentáveis e procurando alcançar o equilíbrio entre eficiência energética, redução de impactes ambientais e custo.

As cidades portuguesas encontram-se em progressiva degradação. A reabilitação torna-se urgente e imprescindível para se manter o património construído e é o caminho a seguir dada a escassez de trabalho em que se encontra o sector da construção civil, decorrente da crise económica e do excesso de construção.

A crescente preocupação, a nível internacional, com o ambiente, acrescida com facto do setor da construção ser responsável por grande parte da extração de materiais e ser o que gera mais resíduos, cerca de 450 milhões de toneladas, leva a que cada vez mais a palavra sustentabilidade faça parte do vocabulário deste sector (Comissão Europeia, 2007). Construir de forma sustentável é construir com racionalidade, minimizando os impactes ambientais. Segundo Charles Kibert (1994), a construção sustentável pode-se ainda definir como a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos.

É neste contexto que surgiu a necessidade de se criar uma nova metodologia que privilegie a reabilitação, contrariando a tendência de valorizar a construção nova em detrimento da reabilitação. Esta metodologia tem a particularidade de ter em consideração os impactes ambientais decorrentes da utilização dos diversos materiais ao longo da sua vida útil, a eficiência energética passiva, que resulta das características das soluções construtivas, e a eficiência energética ativa decorrente dos equipamentos selecionados.

A metodologia desenvolvida por Fonte (2014) no contexto da dissertação “Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios”, será então validada, com o intuito de se verificar a sua fiabilidade e aplicada a um edifício-tipo português em diferentes zonas climáticas, procurando alcançar o cenário ótimo de reabilitação, tendo em conta a minimização das emissões de dióxido de carbono. Optou-se pela escolha do potencial de aquecimento global em detrimento de outro impacte, dado ser o impacte com maior importância.

Em conclusão pretende-se determinar o cenário ótimo de reabilitação que leva à minimização do potencial de aquecimento global e minimização da energia durante a fase de utilização. Na otimização do potencial de aquecimento tem-se em conta o GWP dos equipamentos utilizados para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes, o GWP referente ao isolamento utilizado e respetivo transporte e ainda o GWP referente ao vetor energético utilizado pelos equipamentos. Na otimização da energia durante a fase de utilização procura-se alcançar o melhor desempenho energético, tendo em conta a eficiência dos equipamentos a utilizar para aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias.

1.2 Objetivos e metodologia adotada

O objetivo desta dissertação consiste numa primeira fase em testar a metodologia desenvolvida por Fonte (2014) no contexto da dissertação “Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios”, por forma a verificar se a mesma se encontra apta para ser inserida no mercado.

Esta metodologia permite aos seus utilizadores determinarem qual a melhor solução construtiva ou material a aplicar na reabilitação de edifícios, desde as fases mais preliminares de projeto. Esta será aplicada a um caso de estudo, optou-se pelo edifício unifamiliar tipo português e será testada em várias zonas do país, abrangendo todas as zonas climáticas de Portugal, nomeadamente I1, I2 e I3 correspondente ao inverno e V1, V2 e V3 correspondente ao verão. Os valores obtidos na metodologia serão posteriormente comparados com os valores obtidos através do método de previsão do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), permitindo validar a mesma e garantido a sua fiabilidade quando aplicada em diferentes realidades climáticas.

Posteriormente e utilizando a mesma metodologia serão testados diversos cenários de reabilitação por forma a efetuar um estudo entre a energia durante a fase de utilização e o impacto ambiental, mais concretamente o potencial de aquecimento global, que é o que tem maior peso em relação aos outros impactos. Este estudo será efetuado para 4 tipos de isolamentos em 5 combinações distintas de equipamentos para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias que serão testados nas mesmas zonas para as quais se efetuou a verificação da metodologia, permitindo assim perceber qual a influência da localização climática na definição do cenário otimizado de reabilitação.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos, nomeadamente introdução, estado da arte, metodologias, caso de estudo, avaliação da fiabilidade da metodologia, resultados e conclusões.

O primeiro capítulo está dividido em 3 subcapítulos, o enquadramento, onde se apresenta o tema e se realça a importância do mesmo no contexto da sociedade atual, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo corresponde ao estado de arte onde se mostra a informação que existe até ao momento acerca do tema em estudo, nomeadamente relativa ao projeto em

que se insere, a importância da sustentabilidade no contexto atual e o que está a ser feito no sentido de alcançar um ambiente mais sustentável e ainda estudos posteriores que têm por base a reabilitação mas numa perspetiva de custo ótimo.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia que se seguiu para a elaboração da respetiva dissertação. Inicialmente e utilizando a metodologia que deu origem à dissertação e o método de previsão do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) verificou-se a fiabilidade do programa e posteriormente considerando uma série de cenários de reabilitação que contemplavam diferentes tipos e espessuras de isolantes térmicos determinou-se o ponto ótimo em que as emissões de CO₂ são minimizadas.

No quarto capítulo é apresentado o caso de estudo que será utilizado tanto para testar a metodologia, como para a definição dos cenários ótimos de reabilitação, sendo apresentadas todas as características.

Posteriormente no quinto capítulo são apresentadas as comparações efetuadas entre o REH e a metodologia para as diferentes cidades que permitirão testar a fiabilidade da mesma.

O sexto capítulo corresponde aos resultados e é onde se apresentam os gráficos que relacionam o impacto ambiental e a energia durante a fase de utilização e ainda a respetiva discussão de resultados.

Por fim no sétimo e último capítulo são apresentadas todas as conclusões que a elaboração da dissertação permitiu obter, principalmente no que diz respeito aos impactes ambientais e energia durante a fase de utilização para os vários isolamentos, nas conjugações de equipamentos diferentes para as diferentes zonas climáticas.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DE ARTE

2.1 Desenvolvimento Sustentável

As preocupações com o meio-ambiente estão cada vez mais presentes na sociedade atual, sendo correntemente utilizado o termo desenvolvimento sustentável.

Desenvolvimento sustentável define-se como o “desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações” (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1983). As alterações climáticas, a escassez de água e outros recursos e a degradação do meio ambiente levaram a que a Comissão Europeia tomasse um conjunto de medidas por forma a permitir alcançar esse desenvolvimento e contrariar a tendência atual.

2.1.1 Objetivos da estratégia 2020

O plano foi lançado em 2010, para os 10 anos seguintes, e possui as seguintes metas, em relação às alterações climáticas e sustentabilidade energética:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20% (ou em 30%, se forem reunidas as condições necessárias) relativamente aos níveis registados em 1990;
- Obter 20% da energia a partir de fontes renováveis;
- Aumentar em 20% a eficiência energética.

2.1.2 Situação do plano 20-20-20 em 2011

No que diz respeito às emissões de gases de efeito de estufa verificou-se que as mesmas reduziram 16% em relação ao ano de 1990.

No que concerne ao segundo objetivo verificou-se que a energia obtida a partir de fontes renováveis se encontrava no ano de 2011 em 13%.

Por fim, constatou-se que o terceiro objetivo apenas decresceu muito ligeiramente devido à crise económica instalada, à eficácia das políticas em vigor e à diminuição da intensidade energética da indústria da União Europeia (Comissão Europeia, 2013).

2.2 Situação energética em Portugal até 2007

Em 2006 Portugal apresentava uma dependência energética bastante elevada, importava cerca de 82% da energia, apresentando uma baixa eficiência energética. Outros dos problemas é ainda a elevada intensidade carbónica como se pode comprovar na Figura 1.

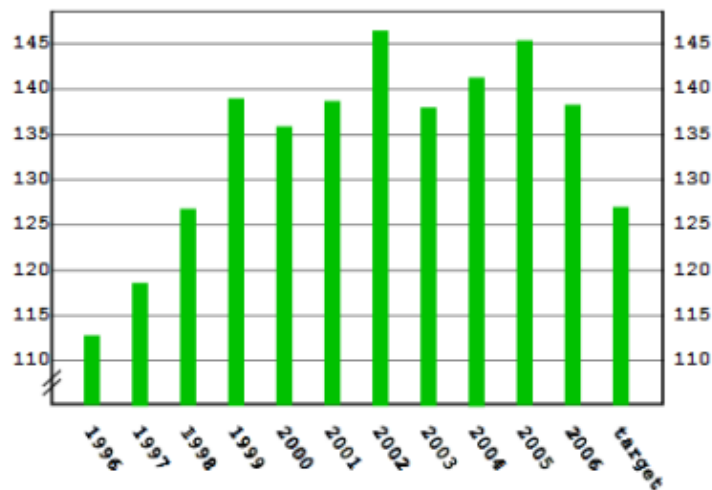


Figura 1- Índice de emissão de gases de efeito de estufa e respetivo objetivo (Fonte- EUROSTAT, 2009)

2.2.1 Medidas implementadas em Portugal além da meta dos 20-20-20

Em Portugal com o intuito de melhorar a eficiência energética do país, aumentar o uso de energias renováveis e também por forma a cumprir as metas do plano 20-20-20 pretende-se que sejam alcançados os seguintes objetivos:

- Aumentar o consumo energético com base em energias renováveis para 45%;
- Aumentar a meta de 5,75% para 10% na utilização de biocombustíveis nos transportes e substituir 5 a 10% do carvão utilizado nas centrais de Sines e do Pego por biomassa ou resíduos;

- Implementar medidas de eficiência energética equivalentes a 10% do consumo até 2015.

2.3 Planos Nacionais que promovem a sustentabilidade

A política energética portuguesa assenta em dois pontos fundamentais, a racionalidade económica e a sustentabilidade, recorrendo para isso ao plano nacional de ação para a eficiência energética e plano nacional de ação para as energias renováveis. São objetivos desta política:

- Reduzir significativamente as emissões de gases de efeito de estufa;
- Reforçar a diversificação das fontes de energia primária;
- Aumentar a eficiência energética da economia, contribuindo para a redução da despesa pública e uso eficiente de recursos;

2.3.1 Plano Nacional de Ação para a eficiência energética 2016

O PNAEE 2016 prevê uma poupança energética de 8,2 %, próxima da meta definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016. Abrange seis áreas específicas, nomeadamente, transportes, residencial e serviços, indústria, estado, comportamentos e agricultura.

Tendo em conta as metas propostas pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016, bem como a redução de 20% dos consumos de energia primária até ao ano de 2020, na Tabela 1 é possível verificar até ao ano de 2013 os resultados da implementação do PNAEE 2016.

Tabela 1- Contribuição de energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020

Programa	Meta 2016 (tep)	Execução	Meta 2020 (tep)	Execução
Total PNAEE	1.773.231	60%	2.394.064	44%

2.3.2 Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

O PNAER 2020 abrange três áreas, eletricidade, transporte e aquecimento e arrefecimento, um dos grandes objetivos deste plano é que a cota de eletricidade com base em energias renováveis seja superior a 60%.

A área mais relevante para o estudo que se pretende realizar é o aquecimento e arrefecimento, nessa vertente pretende-se reforçar medidas de apoio ao solar térmico, promover a utilização de biomassa para aquecimento e prever incentivos à instalação de bombas de calor de alta eficiência.

2.4 Metodologia

A metodologia utilizada para a realização da presente dissertação, está integrada no projeto internacional “*Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation*”, denominado por Annex 56 que surge integrado nos objetivos estabelecidos pela Agência Internacional de Energia (IEA) relativamente à implementação de conservação energética em edifícios.

2.4.1 Annex 56

O grande objetivo do projeto Annex 56 foi a criação de uma nova metodologia que permite determinar o custo de reabilitação de um edifício tendo em conta as medidas de conservação e eficiência energética e as medidas e tecnologias que promovam o uso de energias renováveis. Esta metodologia permite estabelecer metas para as emissões de gases de efeito de estufa e custo, além de permitir efetuar diferentes combinações de medidas que promovam a eficiência energética incentivando a utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

Esta metodologia é para ser usada por entidades privadas interessadas, ajudando-as nas suas decisões de reabilitação, bem como por agências governamentais que podem utilizá-lo para a definição de regulamentação e sua implementação. (Annex, 56)

O seu principal objetivo é encontrar o ponto de equilíbrio entre medidas de eficiência energética e formas de redução de emissões de carbono.

2.4.2 Tabula

O programa “Tabula” está inserido no projeto internacional internacional “*Intelligent Energy Europe*”, no qual 13 países se encontram integrados. Permite determinar o consumo de energia para aquecimento de espaços e Água Quente Sanitária de edifícios residenciais e é também com base neste projeto que surge a metodologia utilizada.

Por forma a determinar as necessidades energéticas é necessário conhecer elementos, como a área do edifício, o sistema de aquecimento e os elementos de construção.

2.5 Estudos que relacionam a energia primária com o custo

Apesar de a preocupação com o meio ambiente e com os impactos resultantes da construção ou reabilitação de edifícios ser crescente, até então todos os estudos desenvolvidos tiveram sempre em ênfase o custo e a energia primária, daí o trabalho desenvolvido ser completamente inovador e enquadrar-se perfeitamente no objetivo de construção sustentável.

Como estudos relacionados desenvolvidos até ao momento pode-se citar o estudo desenvolvido pela Professora Doutora Manuela Almeida, Arquiteto Marco Ferreira e orientando Micael Pereira, que se encontra no artigo “*Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960*” que utiliza o mesmo caso de estudo que será utilizado no contexto desta dissertação, testando várias medidas de reabilitação, com o objetivo de obter o custo ótimo para a reabilitação do edifício, tendo em conta as necessidades energéticas, o custo para implementar as medidas de reabilitação e as despesas que advêm do funcionamento do edifício durante o tempo de via útil.

Calculados os cenários de reabilitação, foi possível construir uma curva de custos, como demonstrado na Figura 2, com os pontos mais baixos da curva indicando os cenário de reabilitação com os menores custos globais considerando o investimento, os custos e as despesas de funcionamento ao longo de todo o ciclo de vida do edifício.

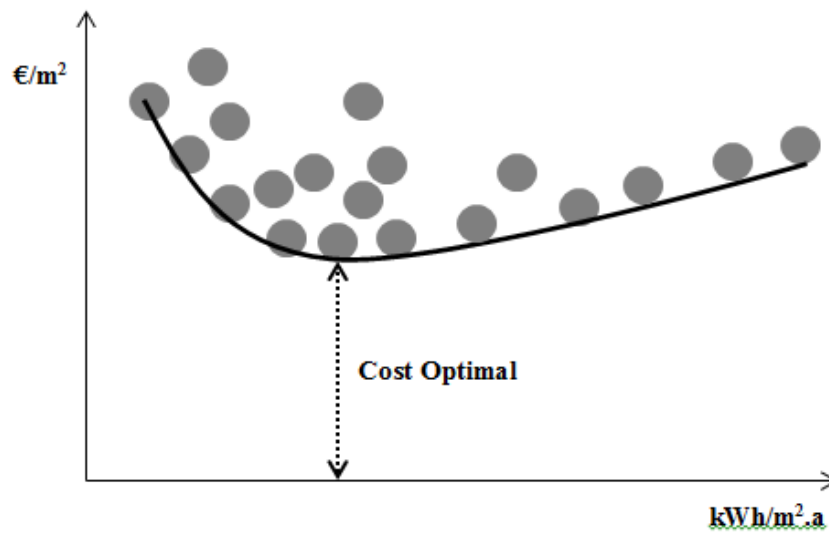


Figura 2- Custo ótimo (Fonte: Artigo científico “*Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960*”)

Na Figura 3 são demonstrados os custos globais e da energia primária não renovável associados a cada cenário de reabilitação. Cada marca representa um cenário de reabilitação diferente.

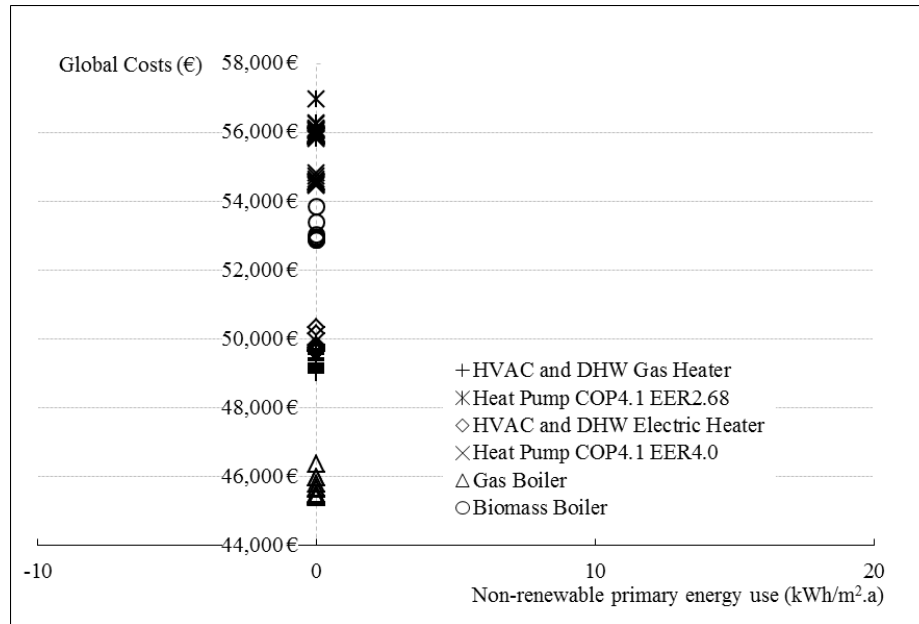


Figura 3- Avaliação otimizada de custos para zero utilização de energia não renovável (Fonte: Artigo científico “*Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960*”)

Outros dos estudos relacionados tendo o conta o desempenho energético dos edifícios também com orientação da Professora Doutora Manuela Almeida Arquiteto Marco Ferreira e orientada Ana Rodrigues, foi o artigo “*Cost optimal levels for envelope components in residential building renovation – Rainha Dona Leonor neighbourhood case study*”.

Este estudo pretende encontrar o custo ótimo à semelhança do anterior, contudo fá-lo analisando separadamente os diferentes elementos constituintes do edifício como se pode observar na Figura 4.

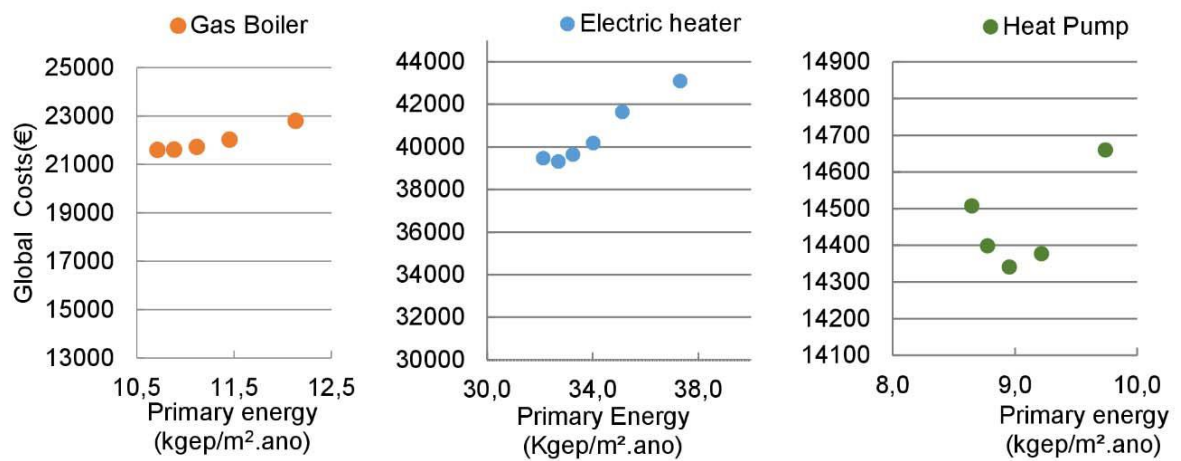


Figura 4- Curvas de custos ótimos para as paredes exteriores para cada um dos três sistemas considerado (Fonte: Artigo Científico “*Cost optimal levels for envelope components in residential building renovation – Rainha Dona Leonor neighbourhood case study*”).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

Esta dissertação como o título demonstra “Análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios“ está vocacionada para a sustentabilidade do ambiente e com o objetivo de demonstrar que não é só o custo que importa quando se faz uma reabilitação de um edifício, mas que também existem outros parâmetros que devem ser levados em consideração.

Como tal esta análise foi elaborada através de gráficos que relacionam a energia durante a fase de utilização com o potencial de aquecimento global dos equipamentos, vetores energéticos, materiais e respetivo transporte para vários cenários de reabilitação, por forma a encontrar o cenário ótimo tendo em conta a minimização da emissão de gases de efeito de estufa. Optou-se por escolher o impacte ambiental GWP, por ser o que tem maior importância segundo estudo da EPA dentro dos impactes que se enquadram no setor da construção, como se pode ver na Tabela 2.

Tabela 2- Importância relativa dos parâmetros ambientais segundo estudo da EPA (EPA, 1990 e 2000)

Tipo de impacte	Peso (%)
Aquecimento global (GWP)	16
Acidificação (AP)	5
Eutrofização (EP)	5
Esgotamento de recursos energéticos não renováveis (FFDP)	5
Qualidade do ar interior (IAQ)	11
Alteração dos habitats (HÁ)	16
Água incorporada (WI)	3
Emissões de gases poluentes (CAP)	6
Oxidação fotoquímica – smog (POCP)	6
Toxicidade sobre a ecologia	11
Destruição da camada de ozono (OD)	5
Saúde Humana (UH)	11

Admitiu-se uma vida útil de 30 anos para o edifício, tendo em conta que é a vida útil de referência considerada no Annex 56, e dividiu-se o valor do impacte dos materiais e transporte por esse valor, de modo a obter o impacte em m².ano.

Relativamente aos equipamentos admitiu-se que durante a vida útil do edifício os mesmos teriam de ser trocados, por esse facto considerou-se o valor do impacte ambiental duas vezes e mais uma vez se dividiu o valor do impacte pela vida útil do edifício, por forma a obter o impacte em m².ano.

Nas Tabelas 3 e 4 encontram-se os valores unitários dos impactes ambientais e energia incorporada relativos aos vetores energéticos e equipamentos.

Tabela 3- Valores dos impactes ambientais e energia incorporada dos vetores energéticos utilizados

Energia	Categorias de impacte ambiental de LCA Cradle-to-gate						Energia Incorporada Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Eletricidade	1,25E-03	1,65E-01	9,87E-09	1,49E-03	5,57E-05	2,58E-04	2,36E+00	4,23E-01
Gás Natural	1,74E-04	2,10E-02	2,76E-09	1,84E-05	2,27E-06	3,87E-06	3,58E-01	1,26E-03
Biomassa – Madeira Pellets	2,78E-05	4,25E-03	2,68E-10	3,24E-05	1,97E-06	1,59E-05	8,22E-02	3,71E-01

Os impactes ambientais dos equipamentos para aquecimento e preparação de AQS foram retirados da base de dados *Ecoinvent*. Como se pode verificar na Tabela 4 alguns equipamentos possuem valor nulo de impacte ambiental.

Relativamente ao ar condicionado, deve-se ao facto de a *Ecoinvent* não contemplar sistemas de arrefecimento por ser de origem nórdica e, estes países não necessitam de arrefecimento. No que diz respeito ao termoacumulador e à resistência elétrica, os mesmos não contam na base de dados da *Ecoinvent*.

Tabela 4- Valores dos impactes ambientais e energia incorporada dos equipamentos utilizados

Equipamentos	Categorias de impacte ambiental de LCA Cradle-to-gate						Energia Incorporada Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC- 11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Ar condicionado	0	0	0	0	0	0	0	0
Bomba de calor	1E+01	4,75E+0 3	8,72 E-02	1,34E+0 1	7,05E-01	1,25E+0 1	2,31E+0 4	1,29E+0 3
Caldeira	2,95E+0 0	3,78E+0 2	2,46 E-05	2,18E+0 0	1,68E-01	1,61E+0 0	6,32E+0 3	5,19E+0 2
Solar térmico	1,95E+0 1	2,74E+0 3	3,52 E-04	1,98E+0 1	1,34E+0 00	1,39E+0 1	4,3E+04	5,29E+0 3
Resistência elétrica	0	0	0	0	0	0	0	0
Termoacumula dor	0	0	0	0	0	0	0	0

Selecionaram-se quatro tipos de isolamentos nomeadamente o poliestireno expandido, poliestireno extrudido, aglomerado de cortiça expandida e lã de rocha, que são os mais correntemente utilizados e assim poder-se-á perceber a influência das características do isolamento no impacte ambiental de ciclo de vida de cada cenário de reabilitação. Na

Tabela 5 são apresentados os impactos unitários e respetiva energia incorporada referente a cada isolamento.

Tabela 5- Valores dos impactes ambientais e energia incorporada dos isolamentos utilizados e respetivo transporte

Isolamento	Categorias do impacte ambiental de LCA Cradle-to-gate					Energia Incorporada Cradle-to-gate		
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC- 11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EPS	4,17E-02	3,32E+00	0,00E+00	1,12E-02	6,70E-04	1,10E-03	8,50E+01	3,76E-01
XPS	4,35E-02	1,05E+01	1,64E-04	1,67E-02	1,28E-03	3,43E-03	9,93E+01	1,35E+00
ICB	1,03E-02	1,15E+00	9,24E-08	5,35E-03	4,46E-04	2,71E-03	2,48E+01	2,73E+01
Lã de rocha	9,39E-03	1,08E+00	4,59E-08	8,19E-03	4,32E-04	1,78E-03	1,89E+01	8,40E-01
Transporte	1,83E-03	2,57E-01	4,02E-08	1,35E-03	4,24E-05	3,26E-04	4,38	8,63E-02

Por forma a verificar a relação entre a energia durante a fase de utilização de um edifício e o GWP total aplicaram-se diversas medidas de melhoria a 5 combinações distintas de equipamentos. Variam-se as medidas de melhoria a partir de um certo ponto de 5 em 5 cm, tendo em conta que a partir de uma determinada espessura a diminuição das necessidades energéticas deixa de ser tão significativa e em intervalos mais pequenos as diferenças são pouco notórias.

Para a elaboração dos gráficos utilizou-se, como já foi referido, o programa desenvolvido por Fonte (2014) cujas equações que estão por detrás dos valores do mesmo, assim como os passos que levaram à sua elaboração se podem consultar na dissertação de mestrado intitulada “Metodologia para a análise integrada dos impactes

ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios”.

Nas Tabelas 6 e 7 apresentam-se as combinações de isolamentos e equipamentos utilizados em cada cenário de reabilitação, respetivamente. Na definição dos cenários de reabilitação as paredes e cobertura atingem uma espessura de isolamento superior à do pavimento, as mesmas vão até 30 cm de isolamento enquanto que o pavimento apenas até 20 cm, tal facto ocorre tendo em conta que anteriormente se aumentou a espessura de isolamento de cada elemento construtivo isoladamente, verificando-se que no pavimento o cenário ótimo de reabilitação era atingido para espessuras mais pequenas relativamente às paredes e à cobertura. De salientar ainda que além das combinações demonstradas na Tabela 6, quando se atingiu o ponto ótimo em algumas combinações efetuaram-se combinações intermédias, variando a espessura dos isolamentos em intervalos mais pequenos (3 em 3 cm ou 2 em 3 cm) por forma a garantir que realmente o ponto alcançado foi mesmo o ótimo.

Tabela 6- Cenários de reabilitação utilizados na análise (continua)

Solução	Material de Isolamento	Paredes (cm)	Cobertura (cm)	Pavimentos (cm)	Janelas
M0	NA	NA	NA	NA	NA
M1	NA	NA	NA	NA	troca de janelas para caixilharia de PVC com vidro duplo (U=2,4)
M2	EPS	2cm	2cm	2cm	“
M3	EPS	4cm	2cm	2cm	“
M4	EPS	4cm	4cm	2cm	“
M5	EPS	6cm	6cm	4cm	“
M6	EPS	8cm	10cm	6cm	“
M7	EPS	10cm	10cm	6cm	“
M8	EPS	10cm	15cm	6cm	“
M9	EPS	15cm	15cm	8cm	“
M10	EPS	15cm	20cm	10cm	“
M11	EPS	20cm	20cm	10cm	“
M12	EPS	25cm	20cm	10cm	“
M13	EPS	25cm	25cm	10cm	“
M14	EPS	25cm	25cm	15cm	“
M15	EPS	30cm	25cm	15cm	“
M16	EPS	30cm	30cm	15cm	“
M17	EPS	30cm	30cm	20cm	“
M18	XPS	2cm	2cm	2cm	“
M19	XPS	4cm	2cm	2cm	“
M20	XPS	4cm	4cm	2cm	“
M21	XPS	6cm	6cm	4cm	“

Tabela 6- Cenários de reabilitação utilizados na análise (continuação)

Solução	Material de Isolamento	Paredes (cm)	Cobertura (cm)	Pavimentos (cm)	Janelas
M22	XPS	8cm	10cm	6cm	“
M23	XPS	10cm	10cm	6cm	“
M24	XPS	10cm	15cm	6cm	“
M25	XPS	15cm	15cm	8cm	“
M26	XPS	15cm	20cm	10cm	“
M27	XPS	20cm	20cm	10cm	“
M28	XPS	25cm	20cm	10cm	“
M29	XPS	25cm	25cm	10cm	“
M30	XPS	25cm	25cm	15cm	“
M31	XPS	30cm	25cm	15cm	“
M32	XPS	30cm	30cm	15cm	“
M33	XPS	30cm	30cm	20cm	“
M34	ICB	2cm	2cm	2cm	“
M35	ICB	4cm	2cm	2cm	“
M36	ICB	4cm	4cm	2cm	“
M38	ICB	8cm	10cm	6cm	“
M39	ICB	10cm	10cm	6cm	“
M40	ICB	10cm	15cm	6cm	“
M41	ICB	15cm	15cm	8cm	“
M42	ICB	15cm	20cm	10cm	“
M43	ICB	20cm	20cm	10cm	“
M44	ICB	25cm	20cm	10cm	“
M45	ICB	25cm	25cm	10cm	“
M46	ICB	25cm	25cm	15cm	“
M47	ICB	30cm	25cm	15cm	“
M48	ICB	30cm	30cm	15cm	“
M49	ICB	30cm	30cm	20cm	“
M50	RW	2cm	2cm	2cm	“
M51	RW	4cm	2cm	4cm	“
M52	RW	4cm	4cm	2cm	“
M53	RW	6cm	6cm	4cm	“
M54	RW	8cm	10cm	6cm	“
M55	RW	10cm	10cm	6cm	“
M56	RW	10cm	15cm	6cm	“
M57	RW	15cm	15cm	8cm	“
M58	RW	15cm	20cm	10cm	“
M59	RW	20cm	20cm	10cm	“
M60	RW	25cm	20cm	10cm	“
M61	RW	25cm	25cm	10cm	“
M62	RW	25cm	25cm	15cm	“
M63	RW	30cm	25cm	15cm	“
M64	RW	30cm	30cm	15cm	“
M65	RW	30cm	30cm	20cm	“
M66	RW	35cm	30cm	20cm	“
M67	RW	35cm	35cm	20cm	“

Tabela 7- Combinação de equipamentos utilizados para a análise

Combinação	Aquecimento	Arrefecimento	Águas quentes sanitárias
C1	Resistência elétrica com rendimento 100%	Ar condicionado EER 3,5	Termoacumulador com rendimento 80%
C2	Caldeira a gás natural com rendimento 92%	Ar condicionado EER 3,5	Caldeira a gás natural com rendimento 92%
C3	Ar condicionado COP 4,1	Ar condicionado EER 3,5	Solar térmico apoiado por termoacumulador com rendimento 80%
C4	Bomba de calor COP 3,9	Bomba de calor EER 3,5	Bomba de calor COP 3,9
C5	Caldeira a biomassa com rendimento 92%	Ar condicionado EER 3,5	Caldeira a biomassa com rendimento 92%

CAPÍTULO IV

4. CASO DE ESTUDO

O edifício escolhido como caso de estudo foi um edifício unifamiliar, que como se pode verificar na Figura 5 é o edifício mais recorrente em Portugal. Trata-se de um edifício de tipologia T2, com uma área de construção de 80 m², com um pé direito de 2,7 m, construído em Portugal antes da década de 60. As características deste edifício foram obtidas tendo em conta as características dos edifícios construídos em Portugal antes da década de 60, segundo dados da ADENE.

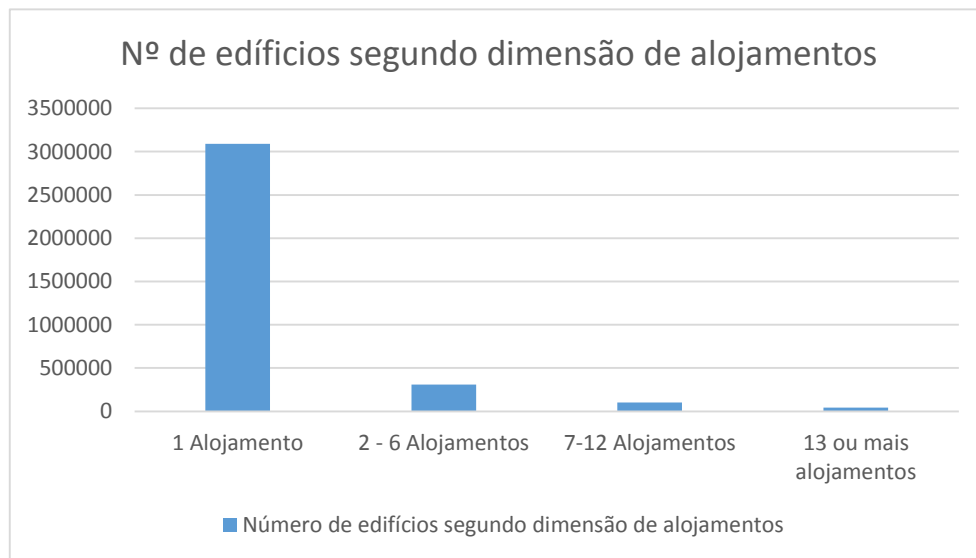


Figura 5- Nº de edifícios tendo em conta a dimensão de alojamentos (Fonte: INE, Censos 2011)

A escolha sobre este caso de estudo recai pelo facto de se tratar do edifício tipo construído em Portugal antes da década de 60, cujas características se baseiam numa média das características presentes nesses mesmos edifícios, segundo dados da ADENE. A opção pela década de 60 ocorre por esta representar maior capacidade de reabilitação, dado tratarem-se de edifícios com grandes défices em termos energéticos, visto aquando da sua construção a preocupação com esses fatores ainda não era um aspeto muito relevante nos projetos e a maioria dos edifícios não apresentam sequer qualquer tipo de isolamento.

Como se pode observar na Figura 6 os edifícios construídos antes da década de 60, correspondentes às três primeiras barras do gráfico são os que se apresentam maiores necessidades de reparação.

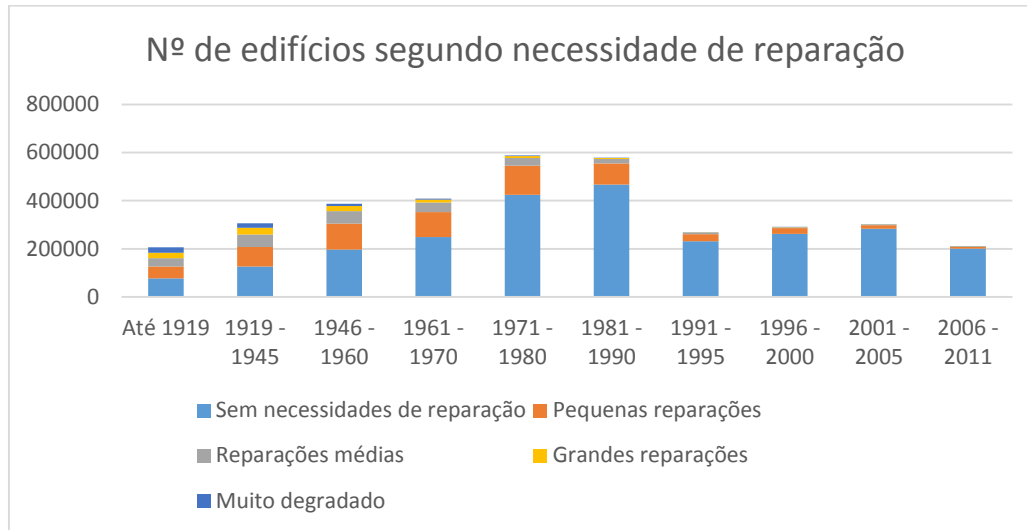


Figura 6- Nº de edifícios segundo necessidade de reparação por época de construção (Fonte: INE, Censos 2011)

4.1 Características geométricas e físicas do edifício

Como se pode verificar na Figura 7 o revestimento exterior mais utilizado para as paredes é o reboco tradicional. Tendo em conta esse facto definiram-se as paredes de alvenaria ordinária de pedra, rebocada em ambas as faces com uma espessura total de 50 cm. Estas possuem uma área de 21,14 m² cada, totalizando um total de 84,56 m².

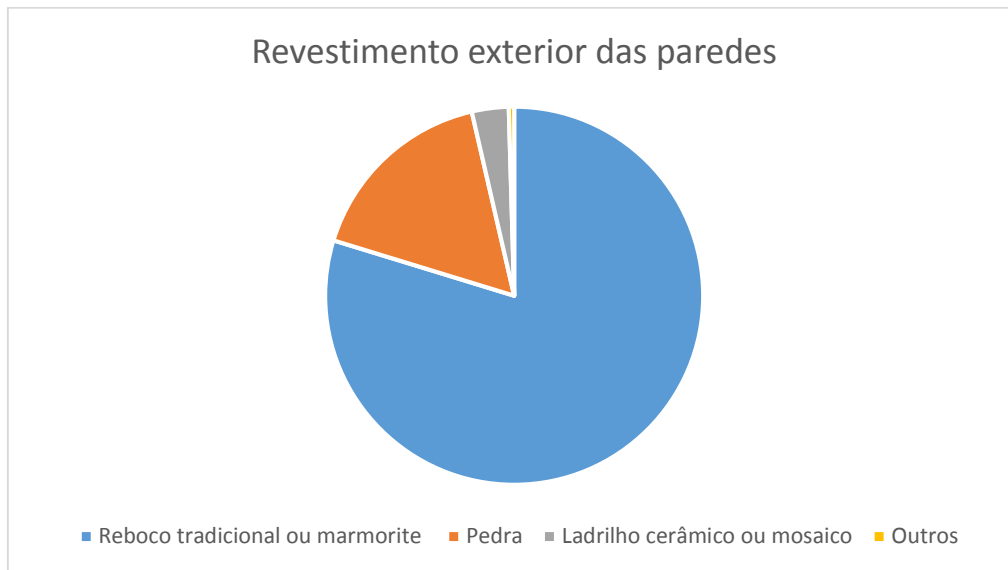


Figura 7- Nº de edifícios segundo o revestimento exterior das paredes (Fonte: INE, Censos 2011)

Pela observação da Figura 8 pode-se verificar que a cobertura mais utilizada em Portugal é a cobertura inclinada, estando presente em mais de 96% dos edifícios.



Figura 8- Nº de edifícios segundo o tipo de cobertura (Fonte: INE, Censos 2011)

Dentro da cobertura inclinada o revestimento mais comum são as telhas de cerâmica ou de betão como se pode verificar pela Figura 9.

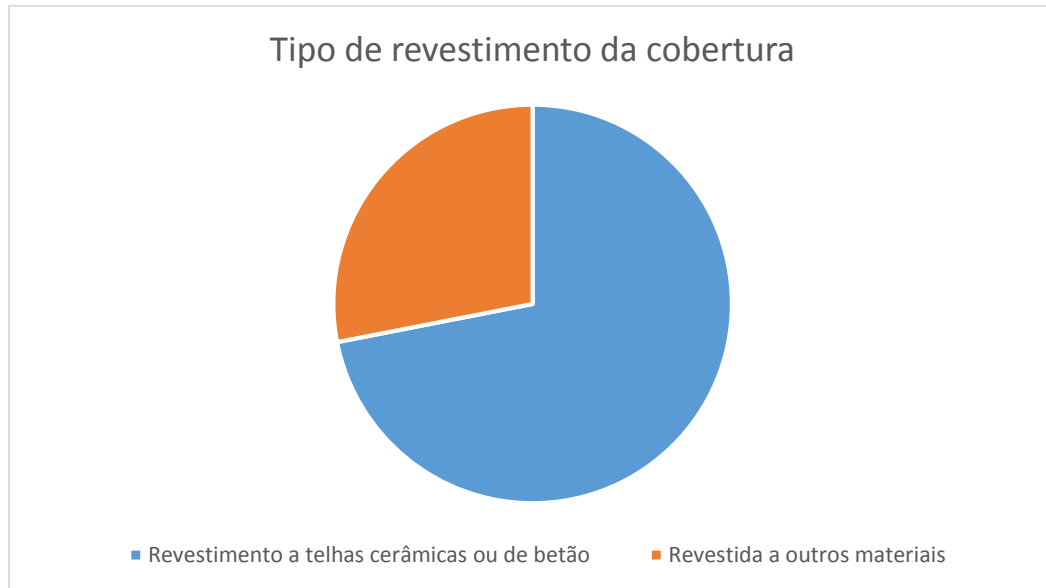


Figura 9- Nº de edifícios segundo o revestimento da cobertura inclinada (Fonte: INE, Censos 2011)

Tendo em conta as Figuras 8 e 9 definiu-se a cobertura como inclinada composta por laje aligeirada de blocos cerâmicos com espessura de 15 cm, telhas cerâmicas e revestimento do teto com 2 cm de estuque, com uma área de 80 m².

Relativamente ao pavimento este é revestido em ladrilho, composto por laje aligeirada de 15 cm, 4 cm de betonilha e revestimento do teto em reboco de 2 cm e possui uma área de 80 m².

Por fim os envidraçados são de caixilharia de madeira, com vidro simples e cortinas transparentes claras, com um coeficiente de transmissão térmica de 5,1 [W/(m².°C)] e uma área de 3 m², que totaliza uma área de 12 m².

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as descrições dos elementos construtivos, nomeadamente, paredes exteriores, cobertura, pavimento e vãos envidraçados. O valor de coeficiente de transmissão térmica foi obtido tendo em conta os materiais e espessuras que constituem os elementos construtivos, tendo em conta a Equação (1).

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

Sendo que:

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, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$].

O valor da resistência térmica exterior e interior é obtido tendo em conta a Tabela 8.

Tabela 8- Valores das resistências térmicas R_{se} e R_{si}

Sentido do Fluxo de Calor		Resistência térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

O valor da resistência térmica da camada é obtido tendo em conta a Equação (2).

$$R_j = \frac{d_i}{\lambda} \quad (2)$$

Em que:

d_i - espessura da camada em metros ;

λ – Condutibilidade térmica, expressa em [$W/m^\circ C$].

Tabela 9- Descrição dos elementos construtivos constituintes do edifício

Descrição dos elementos construtivos	Orientação	Cor	Área (m^2)	U ($W/m^2 \cdot C$)
Parede exterior 1	Sul	Clara	21,14	2,793
Parede exterior 2	Norte	Clara	21,14	2,793
Parede exterior 3	Este	Clara	21,14	2,793
Parede exterior 4	Oeste	Clara	21,14	2,793
Cobertura	Horizontal		80	2,297
Pavimento	Horizontal		80	2,238

Tabela 10- Descrição dos vãos envidraçados constituintes do edifício em estudo

Descrição dos vãos envidraçados	Orientação	Área (m ²)	U (W/m ² .C)	Tipo de vidro
Vão envidraçado 1	Sul	3	5,1	Simples
Vão envidraçado 2	Norte	3	5,1	Simples
Vão envidraçado 3	Este	3	5,1	Simples
Vão envidraçado 4	Oeste	3	5,1	Simples

Na sua fase inicial o edifício está dotado de um esquentador com uma eficiência nominal de 0,675 para preparação das águas quentes sanitárias, uma resistência elétrica com um rendimento de 90% para o aquecimento e um ar condicionado com uma eficiência nominal de 2,37 para arrefecimento.

CAPÍTULO V

5. VERIFICAÇÃO DA FIABILIDADE DA METODOLOGIA

Neste capítulo aplicou-se a metodologia previamente desenvolvida Fonte, (2014) no âmbito da dissertação “Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios” em 2014, a um caso de estudo, de modo a se poder verificar a sua fiabilidade.

O edifício foi testado na sua condição inicial em 4 cidades portuguesas, nomeadamente Beja, Lisboa, Porto e Vila Real. O regulamento considera três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) e três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e a escolha por estas localidades recai pelo facto de se procurarem testar diferentes combinações possíveis: I1V2, que corresponde, por exemplo, a Lisboa; I1V3 que corresponde, por exemplo, a Beja; I2V2 que é a combinação que caracteriza, por exemplo, o contexto climático do Porto para uma altitude superior a 200 metros; e I3V2 que corresponde, por exemplo, à localização da cidade de Vila Real.

Além de testado na sua condição inicial, o edifício será também avaliado para diferentes cenários de reabilitação, procurando-se relacionar o impacte ambiental com a energia necessária para garantir uma situação de conforto, que se caracteriza por 18°C no inverno e 25°C no verão, de acordo com a regulamentação energética atualmente em vigor em Portugal. Pretende-se ainda percorrer novamente o edifício pelas cidades citadas acima por forma a avaliar a influência da localidade, mas esse assunto será abordado no Capítulo 6.

5.1 Identificação das divergências entre a metodologia desenvolvida e a folha de cálculo do REH

De forma a avaliar a fiabilidade dos resultados devolvidos pela metodologia, verificando se a abordagem simplificada conduz aos mesmos resultados da regulamentação térmica em vigor, procedeu-se à comparação entre os resultados obtidos através da utilização da mesma e os resultados da folha de cálculo do ITECONS.

5.1.1 Aquecimento

No que diz respeito às necessidades de energia para aquecimento os resultados obtidos foram os que constam na Tabela 11.

Tabela 11- Valores das necessidades de energia para aquecimento

Cidade	Metodologia	REH	Diferença
Beja	129,5	152,85	-23,35
Lisboa	90,1	164,37	-74,27
Vila Real	242,9	162,52	+80,38
Porto	154,7	201,02	-46,5

Analisando a Tabela 11 verifica-se que há uma discrepância significativa nos valores, que se realça principalmente em Lisboa e Vila Real, sendo esta a única das três cidades analisadas onde a diferença é por excesso.

Estas diferenças colocam a possibilidade de existir algum erro na metodologia, tornando-se assim necessário efetuar uma comparação entre todas as equações e parâmetros utilizados por esta e pelo REH para se depreender onde se encontra a maior diferença de valores e poder assim identificar o problema.

Na metodologia, as necessidades nominais de energia útil para aquecimento são calculadas através da Equação (3).

$$Q_{H,n} = Q_{ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{H,gn} \text{ [kWh /ano]} \quad (3)$$

Sendo que:

Q_{ht} - Transferência de calor total para o aquecimento [kWh /ano];

$Q_{H,gn}$ - Ganhos de calor totais para o aquecimento [kWh /ano];

$\eta_{H,gn}$ - Fator de utilização de ganhos.

Por sua vez segundo o REH:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p \text{ [kWh /m}^2\text{.ano]} \quad (4)$$

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 envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes; [kWh]

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

As equações apesar de escritas com outras siglas e de maneira distinta acabam por relacionar parâmetros comuns, sendo os principais envolvidos a transferência de calor por transmissão e transferência de calor por ventilação, que na metodologia aparece como um só valor e por esse motivo se irá comparar a soma total e ganhos de calor totais, divididos em ganho internos e ganhos solares. Como tal, reuniram-se na Tabela 12 os valores desses mesmos parâmetros para se poder determinar o que provoca as diferenças.

Tabela 12- Comparação dos valores devolvidos pela metodologia e pelo REH referentes à equação de cálculo das necessidades de energia para aquecimento

Cidade	Qtr + Qve (kWh/ano)		Qint (kWh/ano)		Qsol (kWh/ano)	
	Metodologia	REH	Metodologia	REH	Metodologia	REH
Beja	12842	15557,09	1620	1152	1465	2227,49
Lisboa	9390	16589,52	1559	1214,90	1300	2273,34
Porto	15276	19793,66	1928	1431,24	1669	2321,08
Vila Real	22579	17181,95	2035	1589,76	1632	2677,3

Observando a Tabela 12 verifica-se que existe uma diferença entre todos os parâmetros que entram na equação das necessidades de aquecimento, embora esta se acentue muito significativamente na soma da transferência de calor por transmissão com a transferência de calor por ventilação. Nos restantes parâmetros o máximo de discrepância que se encontra é de cerca de 1000 kWh/ano, enquanto que nessa soma as diferenças chegam a ser superiores aos 5000 kWh/ano, como se verifica em Lisboa. O principal fator que estará a provocar a diferença de valores é provavelmente a soma da

transferência de calor por transmissão com a transferência de calor por ventilação, dado que Vila Real era a única cidade onde a diferença se dava por excesso e é também a única que possui essa soma na metodologia superior à devolvida pelo REH. Denota-se que os ganhos internos são superiores em todas e mesmo assim as necessidades energéticas para aquecimento do programa nas restantes cidades continuam a ser inferiores às calculadas pelo REH.

A transferência de calor por transmissão considera parâmetros diferentes no REH e no programa que serão analisados.

Na folha de cálculo do REH esta é calculada pela Equação 5:

$$Q_{tr,i} = 0,024 * GD * H_{tr,i} [kWh/ano] \quad (5)$$

Em que:

GD – Número de graus dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [°C * dia]. Encontram-se no REH valores de referência para este parâmetro consoante a região que se está a analisar, contudo o valor varia consoante a altitude do lugar através da Equação (6):

$$X = X_{ref} + a (Z - Z_{ref}) \quad (6)$$

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão [W/°C].

Segundo a metodologia a transferência de calor por transmissão calcula-se considerando a Equação (7):

$$Q_{ht,tr} = 0,024 * H_{tr} * F_{nu} * (\theta_{int} - \theta_{ext}) * dhs [kWh/ano] \quad (7)$$

Em que :

F_{nu} - Fator de correção adimensional para aquecimento não uniforme tendo em conta os desvios sistemáticos da temperatura nominal e da temperatura média real;

θ_{int} - Temperatura no interior do edifício ou construção, expressa em °C que em Portugal se considera 18 °C ;

θ_{ext} - Temperatura do ambiente exterior (valor médio durante o período de aquecimento) expressa em °C ;

$$\overline{\theta_{e,hs}} = \frac{\sum_{i=1}^{365} \theta_{e,i}}{dhs} \text{ para } \overline{\theta_{e,t}} \leq \theta_b \quad (8)$$

Onde:

$\overline{\theta_{e,t}}$ - Temperatura do ambiente externo, valor médio para o respetivo dia, expressa em °C;

θ_b - Temperatura base de aquecimento, em Portugal assume-se 18 °C;

dhs - Duração da estação de aquecimento expresso em dias por ano

Analisando as duas equações encontramos dois aspetos em comum, a constante e o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, verificando-se que o que está a causar a divergência é o facto de o REH considerar os graus dias como um valor fixo para cada cidade, enquanto que a metodologia relaciona os dias de aquecimento com as temperaturas.

No que diz respeito aos ganhos de calor internos são obtidos no REH pela Equação (9):

$$Q_{int,i} = 0,72 * q_{int} * M * Ap \text{ [kWh]} \quad (9)$$

Em que:

q_{int} - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m²;

M - Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês];

Ap - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

Por sua vez na metodologia estes são obtidos através da Equação (10):

$$Q_{int} = 0,024 * \Psi_{int} * dhs * Ac,ref \text{ [kWh/ano]} \quad (10)$$

Em que:

Ψ_{int} - Saída térmica média de fontes de calor internas. O projeto “TABULA” assume um valor padrão de 3 W/m², mas por forma a ficar coincidente com o REH admitiu-se 4 W/m²;

dhs - Duração da estação de aquecimento (d/a);

Ac,ref - Área do edifício (m²).

Analisando as duas equações verifica-se que a duração da estação não está na mesma unidade, no REH encontra-se em meses e na metodologia em dias, o que invalida uma comparação. Ao multiplicar a constante 0,024 pelos 30 dias para se obter na metodologia a duração da estação em meses, de modo a efetuar uma comparação, obtém-se a constante de 0,72.

Como foi possível deprender a equação é exatamente igual, o que leva a concluir que o está a levar à discrepância no resultado são os meses de aquecimento que não se estão a considerar iguais em ambos os programas.

Em relação aos ganhos solares são obtidos no REH pela Equação (11):

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum [X_j \times \sum_n F_{S,inj} \times A_{S,inj}] \times M \text{ [kWh]} \quad (11)$$

Sendo que:

G_{sul} – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/m².mês];

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições;

$F_{S,inj}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento;

$A_{S,inj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j, [m²];

M – Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês].

Na metodologia estes são obtidos pela Equação (12):

$$Q_{sol} = F_{sh} \times (1 - F_F) \times F_W \times g_{gl,n} \times \sum_j A_{window,j} \times I_{sol,j} \quad (12)$$

$I_{sol,j}$ [kWh/ano]

Em que:

F_{sh} – Fator de obstrução do vão envidraçado na estação de aquecimento;

F_F – Fração envidraçada do vão envidraçado;

F_W – Fator de seletividade angular;

$g_{gl,n}$ – Fator solar de inverno;

$A_{window,j}$ – Área de todos os envidraçados com orientação j [m²];

$I_{sol,j}$ – Energia solar média global durante a estação de aquecimento, em superfícies com orientação j [m²].

Observando as duas equações verifica-se que relacionam parâmetros distintos, enquanto que o REH considera o G_{sul} que apenas considera a radiação numa superfície orientada a sul, a metodologia considera o I_{sol} tendo em conta a energia incidente em todas as orientações, além disso o REH considera o valor da fração envidraçada e a metodologia considera o inverso desse valor, por isso é normal que os resultados sejam diferentes, o que significa que não existe nenhum erro no programa relativo aos ganhos solares, dado que os parâmetros que coincidem possuem resultado igual.

Efetuada todas as comparações conclui-se que as discrepâncias encontradas se devem aos dados climáticos considerados, que por serem distintos levam a resultados diferentes, estando assim a metodologia a funcionar corretamente no que diz respeito às necessidades energéticas de aquecimento. Para comprovar este facto substituiu-se no programa os dados climáticos pelos do REH e chegaram-se aos resultados que constam na Tabela 13.

Tabela 13- Valores das necessidades de energia para aquecimento após substituição de dados climáticos pelos do REH

Cidade	Metodologia	REH	Diferença
Beja	160,5	152,85	+ 7,65
Lisboa	173,7	164,37	+ 9,33
Porto	206,4	201,02	+5,38
Vila Real	174,3	162,56	+ 11,74

Como se pode observar as diferenças diminuíram bastante, já não sendo muito relevantes, estando assim comprovado que realmente são os dados climáticos que estão a influenciar os resultados.

5.1.2 Arrefecimento

No que diz respeito às necessidades de energia para arrefecimento os resultados obtidos foram os que constam na Tabela 14.

Tabela 14-Valores das necessidades de energia para arrefecimento

Cidade	Metodologia	REH	Diferença
Beja	43,5	68,94	-25,44
Lisboa	0	19,88	-19,88
Porto	0	13,14	-13,14
Vila Real	0	88,03	-88,03

Observando a Tabela 14 verifica-se que, à semelhança do que acontece nas necessidades de aquecimento, existe uma discrepância de valores entre os dois métodos de previsão, que se acentua mais significativamente na região climática de Vila Real.

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento são calculadas tendo em conta a Equação (13) na metodologia.

$$Q_{C,nd} = (1 - \eta_{C,G}) \times (Q_{sol} + Q_{int})[\text{kWh/ano}] \quad (13)$$

Sendo que:

$\eta_{C,G}$ – Fator de utilização de perdas para o arrefecimento;

Q_{sol} – Ganhos solares e ganhos da superfície da opaca para o arrefecimento [kWh/a];

Q_{int} – Ganhos de calor internos para o arrefecimento (kWh/a).

Por sua vez segundo o REH:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \times Q_{g,v} / A_p \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (14)$$

Em que:

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

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

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

Analisando as equações estas relacionam exatamente os mesmos parâmetros: fator de utilização de ganhos, ganhos internos e ganhos solares. Por esse motivo compilaram-se os resultados desses mesmos parâmetros na Tabela 15, para se perceber se a diferença terá resultado nos dados climáticos relacionados com as necessidades de arrefecimento ou em algum erro da metodologia.

Tabela 15- Comparação dos valores devolvidos pela metodologia e pelo REH referentes à fórmula de cálculo das necessidades de energia para arrefecimento

Cidade	η_v		Qint(kWh/ano)		Qsol (kWh/ano)	
	Metodologia	REH	Metodologia	REH	Metodologia	REH
Beja	0,39	0,1	449	936,96	5287	5165,04
Lisboa	0	0,74	0	936,96	4684	5104,1
Porto	0	0,82	0	936,96	6046	4376,60
Vila Real	0	-0,19	0	936,96	6024	4980,23

Observando a Tabela 15 verifica-se que quer o fator de utilização de ganhos, quer os ganhos internos se encontram nulos praticamente em todas as cidades o que explica que as necessidades de arrefecimento sejam por conseguinte nulas.

Em relação aos ganhos internos, Qint, as equações são as mesmas que para o cálculo das necessidades de aquecimento, Equação 9 e 10 e por isso como se viu anteriormente aquando da análise das necessidades de aquecimento a diferença ocorre devido aos dados climáticos, a metodologia está a considerar que não existem dias em que seja necessário arrefecimento, o que está a provocar que os ganhos internos sejam nulos.

No que diz respeito ao fator de utilização dos ganhos solares na metodologia este é calculado através da Equação (15):

$$\eta_{c,gn} = \frac{1 - \gamma_{c,gn}^{-ac}}{1 - \gamma_{c,gn}^{-ac+1}} \quad (15)$$

Sendo que:

$\gamma_{c,gn}$ – Relação de equilíbrio de calor para o arrefecimento (kWh/a);

$$\gamma_{c,gn} = \frac{Q_{c,gn}}{Q_{ct}} \quad (16)$$

Em que:

$Q_{c,gn}$ – Ganhos de calor totais que resultam do somatório dos ganhos solares, opacos e internos (kWh/a);

Q_{ct} – Transferência de calor total que resulta da soma das perdas por transmissão e ventilação (kWh/a).

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}} \quad (17)$$

$a_{c,0}$ - Parâmetro numérico constante que segundo a ISO 13790 (2008) assume o valor fixo de 0,8 para o método sazonal que é o caso em questão;

τ - Inércia térmica do edifício.

$$\tau = \frac{c_m * A_{c,ref}}{H_{tr} + H_{ve}} \quad (18)$$

Sendo:

c_m – Capacidade de calor interno por m² de área de referência onde neste caso e tal como no projeto “TABULA”, a metodologia assume um valor padrão de 45 Wh/(m²°C) que se traduz segundo o REH (2013) numa inércia térmica média (Wh/m²°C);

$A_{c,ref}$ – Área do edifício;

H_{tr} – Coeficiente de transferência de calor total por transmissão (W/°C);

H_{ve} Coeficiente de transferência de calor total por ventilação (W/°C).

$\tau_{c,0}$ – Trata-se de um parâmetro constante que de acordo com a ISO 13790 (2008) assume o valor fixo de 30h para o método sazonal.

No REH este parâmetro depende diretamente de γ ;

- Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (19)$$

- Se $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad (20)$$

- Se $\gamma < 0$

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad (21)$$

Sendo que:

$$\gamma = \frac{Qg}{Qtr + Qve} \quad (22)$$

Qg – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh];

Qtr – Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, na estação de arrefecimento [kWh];

Qve – Transferência de calor por ventilação na estação em estudo [kWh];

O parâmetro a depende da classe de inércia do edifício sendo igual a um dos seguintes valores:

- ✓ 1,8 para edifícios com inércia térmica fraca;
- ✓ 2,6 para edifícios com inércia térmica média;
- ✓ 4,2 para edifícios com inércia térmica alta;

O edifício em análise trata-se de um edifício com inércia média e por isso o valor a atribuir ao parâmetro a é 2,6. Optou-se por considerar o edifício com inércia média tendo em conta que é a inércia mais predominante nos edifícios construídos em Portugal antes da década de 60.

As equações relacionam os mesmos parâmetros e mais uma vez o que está a provocar que o fator de utilização dos ganhos seja nulos são os dados climáticos. Como já se

referiu nos ganhos internos, a metodologia para a maioria das cidades está a admitir que não existem dias de arrefecimento. O fator de utilização de ganhos depende de forma indireta da transferência de calor por transmissão, que à semelhança da Equação (7) no aquecimento, varia em função dos dias de arrefecimento, ora dias de arrefecimento nulos levaram a que a transferência de calor por transmissão seja nula, o que provoca que a relação de equilíbrio de calor para o arrefecimento seja nula e por conseguinte as necessidades nulas.

Contudo e além dos dados climáticos distintos as equações de cálculo divergem, enquanto que na metodologia a relação de equilíbrio de calor é elevado ao negativo do parâmetro a , no REH esse valor é elevado ao parâmetro a , o que a leva a que utilizando os mesmos valores para os parâmetros de cálculo, por exemplo para Vila Real se obtenha um fator de utilização dos ganhos de -0,19 no REH e na metodologia de 0,25.

Alterando os dados climáticos para os do REH chegam-se aos resultados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16-Valores das necessidades de energia para arrefecimento após substituição de dados climáticos pelos do REH

Cidade	Metodologia	REH	Diferença
Beja	58,1	68,94	-10,84
Lisboa	52,4	19,88	+32,52
Porto	63,3	13,14	+50,16
Vila Real	65,7	88,03	-22,33

Observando os valores denota-se que não seria de todo vantajoso alterar os dados, visto que agrava muito as discrepâncias em Lisboa e no Porto, o que permite também constatar que neste caso não são só os dados climáticos que estão a ter influência significativa.

Tabela 17-Valores das necessidades de energia para arrefecimento após substituição de dados climáticos e do fator de utilização de ganhos pelos do REH

Cidade	Metodologia	REH	Diferença
Beja	70	68,94	1,06
Lisboa	18,3	19,88	-1,58
Porto	15,7	13,14	2,56
Vila Real	103,5	88,03	15,47

Observando a Tabela 17 verifica-se que as discrepâncias se acentuaram bastante, em Beja, Lisboa e Porto as diferenças são mínimas e mesmo em Vila Real alterou para menos de um quarto do valor inicial, o que comprova que além da diferença nos dados climáticos que provoca necessidades de arrefecimento nulos em algumas cidades, também a forma como o fator de utilização de ganhos é calculado tem muita relevância.

5.1.3 Águas Quentes Sanitárias

Em relação às necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias os resultados obtidos foram os que constam na Tabela 18.

Tabela 18-Valores das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias

Cidade	Metodologia	REH	Diferença
Beja	1634,29	1783,2	-148,91
Lisboa	1634,29	1783,2	-148,91
Porto	1634,29	1783,2	-148,91
Vila Real	1634,29	1783,2	-148,91

Analisando a tabela 18 verifica-se que as diferenças relativas às necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias não é muito significativa e que deverá resultar da diferença existente na metodologia de cálculo.

No que diz respeito às necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias na metodologia são obtidas pela Equação (23).

$$Q_W = 4,182 \times V_{w,day} \times (\theta_{W,del} - \theta_{W,0}) \text{ [Mj/dia]} \quad (23)$$

Sendo que:

$V_{w,day}$ – Volume de Água Quente Sanitária (AQS) necessária por dia em temperaturas especificadas, (m³/dia) obtido pela Equação (24).

$$V_{w,day} = \frac{V_{w,f,day} \times f}{1000} \text{ [m}^3\text{/dia]} \quad (24)$$

Em que:

$V_{w,f,day}$ – Litros de AQS gastos por unidade por dia;

f – Número de unidades a serem tidas em conta.

Segundo a norma EN 15316-3-1 (2007) dependem de:

- Tipo de edifício;
- Tipo de atividade realizada no interior da construção;
- Existência de uma zona dentro de um edifício onde é realizada mais do que uma atividade;
- Padrão ou classe de atividade, como a categoria de um hotel (número de estrelas) ou a classe de restauração do estabelecimento.

$\theta_{W,del}$ – Assume um valor padrão de 60°C;

$\theta_{W,0}$ – Assume um valor padrão de 13,5 °C;

No REH as necessidades energéticas para aquecimento de águas quentes sanitárias são calculadas de acordo com a Equação (25):

$$N_{AQS} = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta t \times n^o \text{ de dias de consumo}}{3600000 \times A_p} \text{ [kWh/ano.m}^2\text{]} \quad (25)$$

Sendo que:

M_{AQS} – Consumo de AQS, expresso em litros e obtido pela Equação (26).

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f \quad (26)$$

Em que:

n - número convencional de ocupantes de cada fração;

f - fator de eficiência hídrica;

Δt – Aumento de temperatura, expresso em °C;

A_p - Área útil de pavimento do edifício medida pelo interior, expressa em m².

As equações de cálculo são distintas enquanto que no REH o consumo de AQS varia em função do número de ocupantes e do fator de eficiência hídrica, na metodologia o mesmo assume um valor fixo tendo em conta o tipo de edifício. Além disso no REH o aumento de temperatura necessário para a preparação de águas quentes sanitárias assume um valor fixo de 35°C, por sua vez na metodologia o mesmo resulta da diferença entre a temperatura da água de distribuição e da água fria que resulta num valor de 46,5°C.

Como resumo final pode-se observar os gráficos relativos às três necessidades energéticas para cada uma das cidades analisadas para que se possa visualizar graficamente as diferenças.

Na Figura 10 encontram-se as diferenças entre as necessidades energéticas relativas à cidade de Beja, que como se pode observar são mais notórias no aquecimento e arrefecimento, sendo a diferença nas necessidades energéticas de arrefecimento apenas ligeiramente superior à diferença verificada nas necessidades de aquecimento.

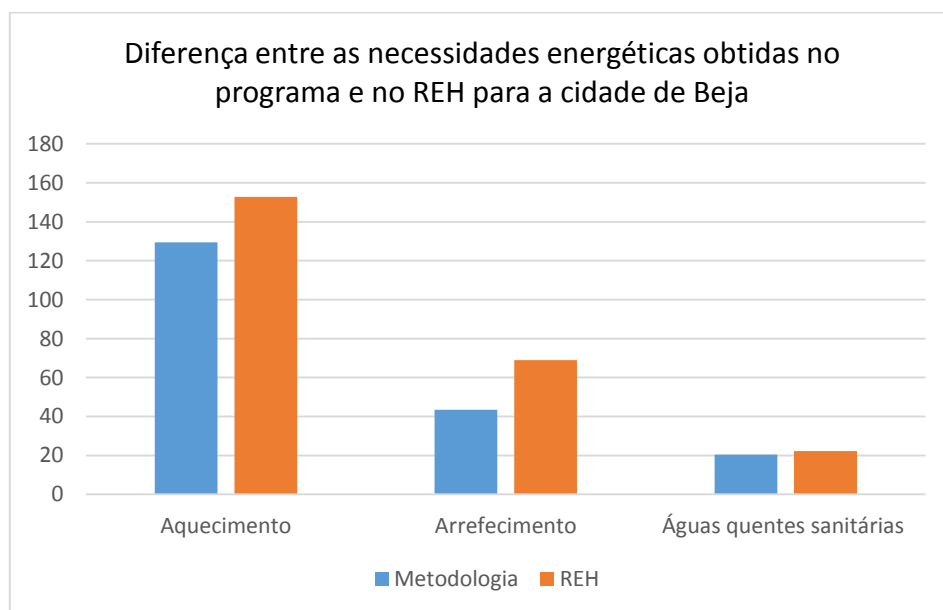


Figura 10- Gráfico com as necessidades energéticas relativas a Beja

Na Figura 11 encontram-se as necessidades energéticas relativamente à cidade de Lisboa. Como se pode verificar existe uma discrepância bastante significativa nas necessidades de aquecimento, no REH dão quase o dobro do valor devolvido pela metodologia. No que diz respeito às necessidades de arrefecimento e apesar de a metodologia considerar necessidades nulas, a diferença já não é muito significativa.

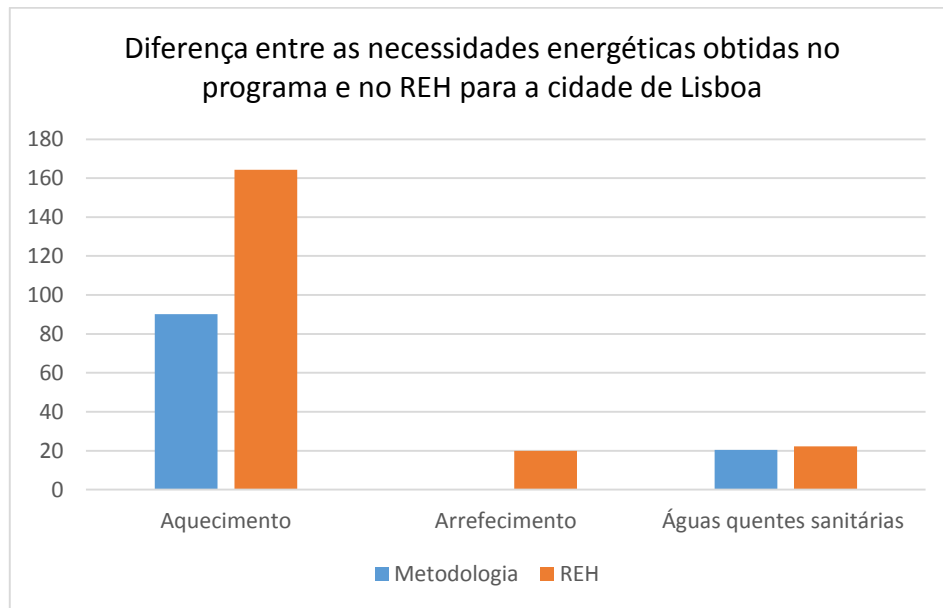


Figura 11- Gráfico com as necessidades energéticas relativas a Lisboa

Na Figura 12 encontram – se representadas as diferenças relativamente às necessidades energéticas do Porto, que como se pode constatar é mais relevante no aquecimento.

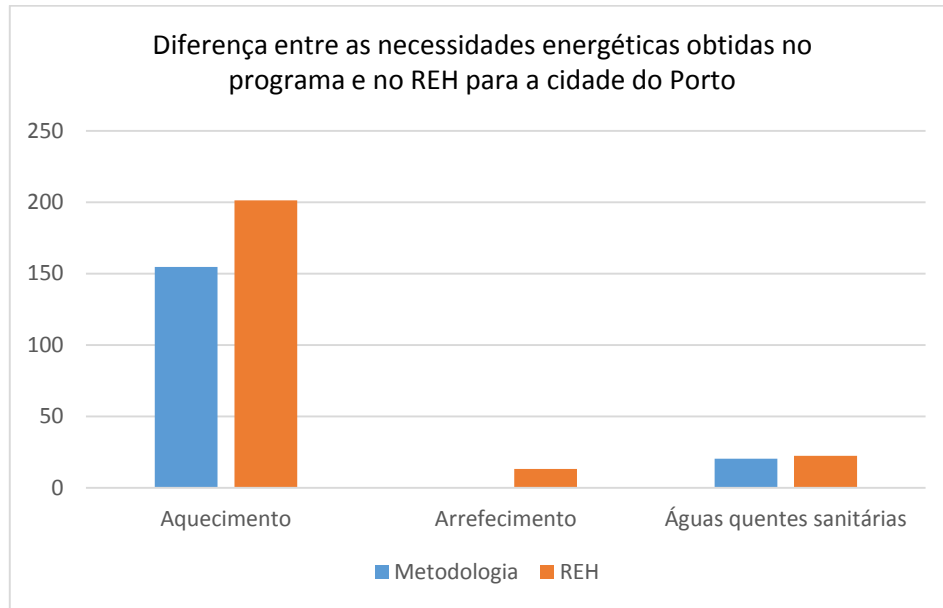


Figura 12- Gráfico com as necessidades energéticas relativas ao Porto

A Figura 13 representa as necessidades energéticas relativas à cidade de Vila Real, onde as diferenças relativamente às necessidades de arrefecimento já são bastante notórias, superando até a diferença entre as necessidades de aquecimento.

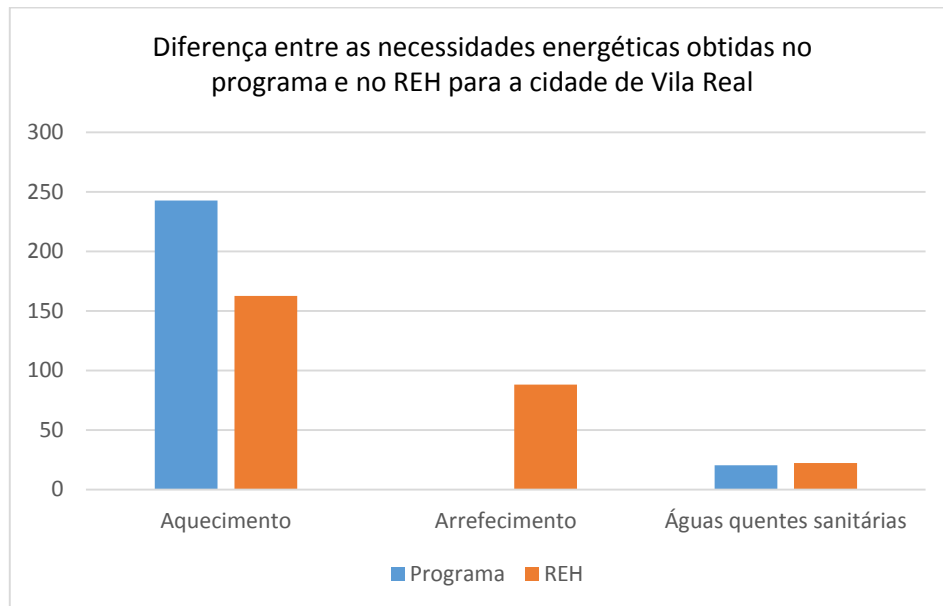


Figura 13- Gráfico com as necessidades energéticas relativas a Vila Real

CAPÍTULO VI

6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

6.1 Enquadramento

Neste capítulo e após se ter verificado que a metodologia permite obter valores fiáveis relativamente às necessidades de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias foi realizado um estudo com o objetivo de determinar o cenário de reabilitação ótimo.

Para tal utilizou-se a metodologia que permite além de determinar as necessidades de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias, determinar ainda o impacto ambiental associado a cada cenário de reabilitação, tendo em consideração o impacto incorporado e o impacto resultante da quantidade de energia utilizada.

A metodologia utiliza a base de dados LCI (Inventário de Ciclo de Vida) onde se encontram todos os materiais e respetivos impactos ambientais e é possível determinar o impacto de determinada solução construtiva tendo em conta os materiais utilizados e respetivas quantidades, assim como os transportes. Foram aplicados dois métodos de análise de ciclo de vida: o *CML 2 baseline 2000* para a determinação do potencial de aquecimento global referente aos materiais, transporte, equipamentos e energia e o *Cumulative Energy Demand* para a determinação da energia incorporada renovável e não renovável. Estes métodos permitem converter os fluxos de materiais e respetivos valores de inventário de ciclo de vida em impactos ambientais.

6.2 Beja

Trata-se de uma cidade como já se referiu I1- V3, que se caracteriza por um clima mediterrâneo com temperaturas médias anuais elevadas, que como se pode depreender pelo zoneamento climático as exigências de verão têm importância superior às de inverno. Para o edifício em estudo é uma região que apresenta desde o início dos cenários de reabilitação necessidades de aquecimento e de arrefecimento.

6.2.1 Combinação de equipamentos C1

A primeira combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma resistência elétrica com um rendimento de 100% para aquecimento, um ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 para o arrefecimento e para a preparação de águas quentes sanitárias recorreu-se a um termoacumulador com um rendimento de 80%.

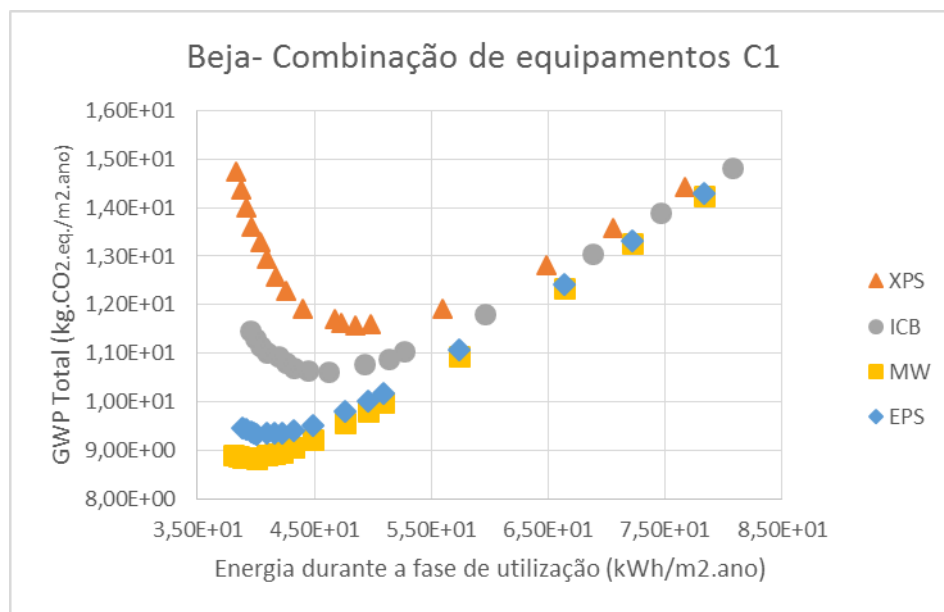


Figura 14- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos em Beja

Pela observação da Figura 14 pode-se verificar que entre os quatro tipos de isolamentos, o que permite obter melhores resultados é a lã de rocha. Para esta combinação de equipamentos o cenário ótimo de reabilitação corresponde a uma situação onde se utiliza uma espessura de 25 cm de isolamento nas paredes, 25 cm na cobertura e 15 cm no pavimento. No entanto, a partir da espessura de 8 cm de isolamento nas paredes, 10 cm na cobertura e 6 cm no pavimento, a diminuição com o aumento da espessura começa a ser cada vez menos significativa. Verifica-se ainda que o EPS segue uma tendência muito idêntica, atingindo o seu ponto ótimo exatamente para o mesmo cenário de reabilitação, mas com valores de impacto ambiental ligeiramente superiores.

O aglomerado de cortiça expandida é o material que leva a um maior consumo de energia, quando comparado com os restantes e para os mesmos centímetros de isolamento, trata-se do material que possui maior condutibilidade térmica e por isso é

menos eficiente em termos energéticos, pois necessita de uma espessura superior de isolamento para atingir os resultados energéticos dos restantes.

Com o XPS verifica-se exatamente o contrário do que acontece com a cortiça, pois é o material com melhor desempenho energético. Verifica-se que para a mesma espessura de isolamento é o que permite obter menor consumo de energia, mas por outro lado o potencial de aquecimento global que provoca é mais elevado pelo que, a partir de uma espessura menor que a dos outros materiais, a diminuição do consumo de energia deixa de ser significativa.

6.2.2 Combinação de equipamentos C2

A segunda combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma caldeira a gás natural com rendimento de 92% quer para aquecimento, quer para preparação de águas quentes sanitárias. Para arrefecimento manteve-se o equipamento usado na primeira combinação: um aparelho de ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5.

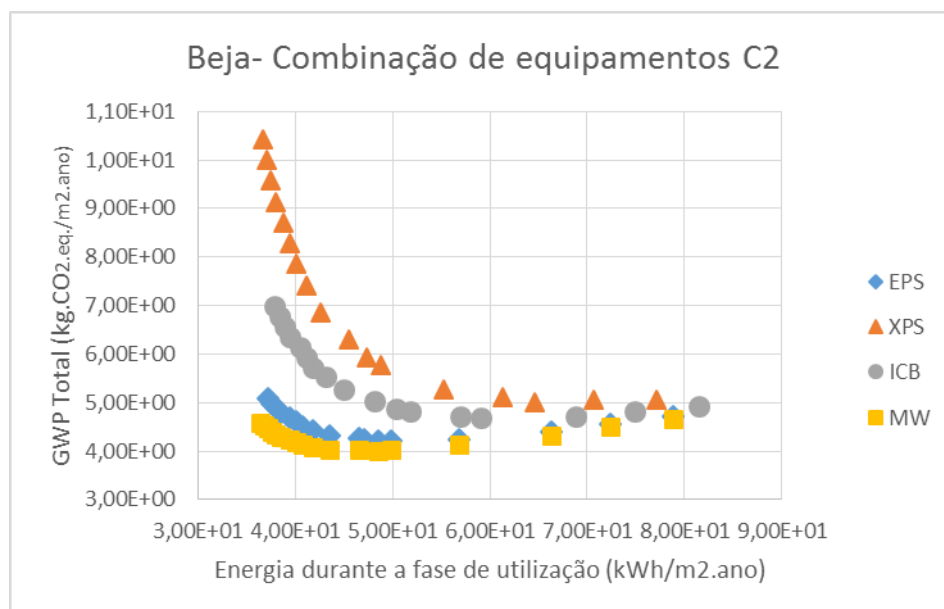


Figura 15- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos em Beja

Para a segunda combinação de equipamentos como se pode comprovar pela observação da Figura 15, a lã de rocha continua a ser o isolamento com melhores resultados, atingindo o ponto ótimo em termos de impacto ambiental para uma espessura bastante

mais pequena do que na primeira combinação de equipamentos e o poliestireno expandido extrudido continua a ser o que leva a piores resultados.

Verifica-se uma pequena diminuição da energia durante a fase de utilização em relação à combinação C1. A partir do cenário de reabilitação de 6 cm na cobertura, 6 cm nas paredes e 4 cm no pavimento, quando a diminuição das necessidades de aquecimento deixa de ser tão significativa, o aumento da eficiência da caldeira utilizada para preparação de águas quentes sanitárias em relação ao termoacumulador, acaba por compensar a diminuição da eficiência da caldeira utilizada para aquecimento em relação à resistência elétrica.

No que diz respeito ao GWP em relação à primeira combinação de equipamentos e para a mesma espessura de isolamento o seu valor é bastante inferior. Tal facto deve-se à alteração do vetor energético utilizado para o aquecimento e preparação das águas quentes sanitárias, que passou de eletricidade para gás natural. O gás natural possui um potencial de aquecimento global muito mais baixo que a eletricidade e apesar da alteração dos equipamentos para aquecimento e preparação das águas quentes sanitárias ter um peso negativo, dado a caldeira ter um GWP muito superior à resistência e ao termoacumulador, acaba por ser compensando pela mudança do vetor energético.

6.2.3 Combinação de equipamentos C3

No que diz respeito à terceira combinação de equipamentos para a determinação do cenário ótimo de reabilitação a ideia inicial era utilizar para aquecimento um ar condicionado com um coeficiente de desempenho de 4,1, que por não existir na base de dados da metodologia para o aquecimento teve de se optar por utilizar uma bomba de calor com a mesma eficiência. Para o arrefecimento continuou a manter-se o ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 e para preparação de águas quentes sanitárias optou-se por solar térmico apoiado por um termoacumulador com um rendimento de 80%.

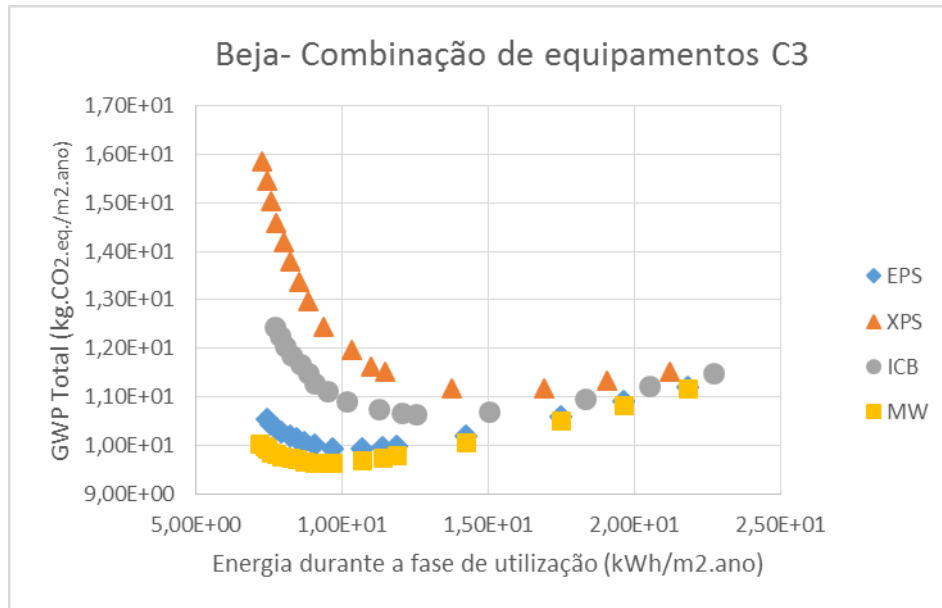


Figura 16-Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos em Beja

Em relação à combinação de equipamentos C3, como se pode depreender pela Figura 16 a otimização do cenário de reabilitação é atingido para a lã de rocha com uma espessura de 15 cm nas paredes, 20 cm na cobertura e 10 cm no pavimento. O EPS segue uma tendência muito idêntica atingido o seu ponto ótimo ligeiramente para uma espessura de 15 cm nas paredes e cobertura e 8cm no pavimento.

No que diz respeito ao potencial de aquecimento global verifica-se um aumento bastante significativo em comparação com a combinação C2 e um ligeiro aumento em relação a C3.

No que diz respeito ao potencial de aquecimento global verifica-se um aumento em relação à combinação C1. Tendo em conta que as combinações possuem o mesmo vetor energético, o que está a provocar o aumento são os equipamentos utilizados. A bomba de calor e o solar térmico são dos equipamentos utilizados os que possuem maior potencial de aquecimento global incorporado.

No que concerne à diferença em relação à combinação C2, tal ocorre como já se verificou na análise da combinação C2, devido à troca do vetor energético.

Em termos de energia durante a fase de utilização esta é a combinação que leva a melhores resultados. Tal facto deve-se à utilização da bomba de calor para aquecimento que possui maior eficiência que a resistência elétrica e a caldeira a gás e ainda à utilização do solar térmico.

6.2.4 Combinação de equipamentos C4

No que concerne à quarta combinação de equipamentos optou-se por considerar uma bomba de calor para as três necessidades energéticas. Assim considerou-se uma bomba de calor com um coeficiente de desempenho de 3,9 para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias e uma bomba de calor para o arrefecimento com um índice de desempenho energético de 3,5.

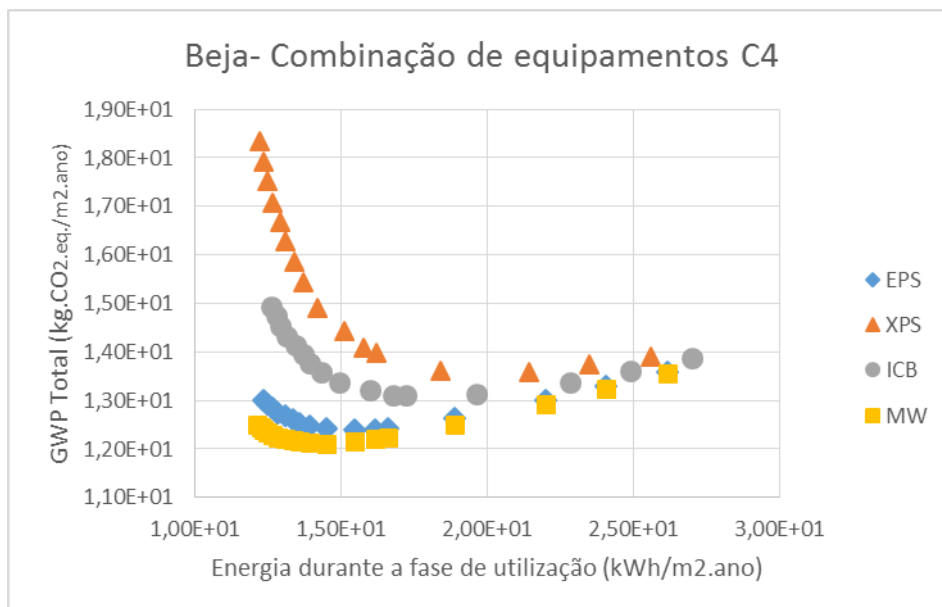


Figura 17- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Beja

Observando a Figura 17 verifica-se que o cenário ótimo de reabilitação é atingido para a lã de rocha com uma espessura de 15 cm nas paredes, 20 cm na cobertura e 10 cm no pavimento. De salientar que a partir da espessura de 8 cm nas paredes, 10 cm na cobertura e 6 cm no pavimento a diminuição da energia durante a fase de utilização começa a ser cada menos significativa.

Em relação à combinação de equipamentos C4 pode-se constatar e como já seria de esperar dado os equipamentos utilizados e vetor energético que é a combinação com

valores de potencial de aquecimento global mais elevados. A bomba de calor é o equipamento que apresenta maior potencial de aquecimento global.

No que diz respeito à energia durante a fase de utilização apresenta valores bastantes mais baixos que a combinação C1 e C2. Quando comparado com a combinação C3 os valores são ligeiramente superiores, o que se deve principalmente ao equipamento utilizado na preparação de águas quentes sanitárias.

6.2.5 Combinação de equipamentos C5

Na quinta combinação de equipamentos voltou a optar-se por um ar condicionado para arrefecimento com índice de eficiência energética de 3,5 e à semelhança da segunda combinação optou-se por uma caldeira com rendimento de 92% para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias, contudo desta vez optou pela biomassa – *pellets* de madeira em vez do gás natural.

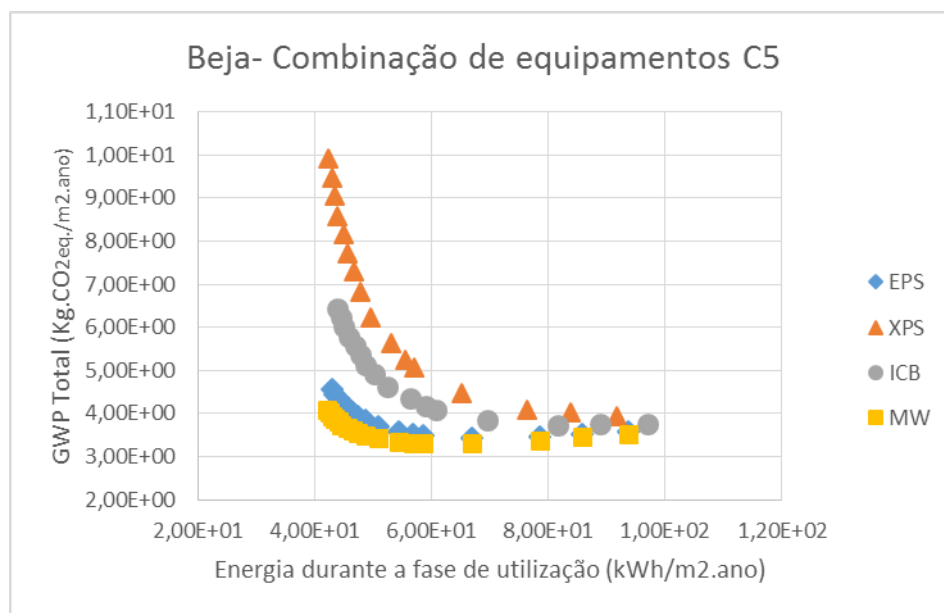


Figura 18- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 5ª combinação de equipamentos em Beja

Tendo em conta a Figura 18 verifica-se que o cenário ótimo de reabilitação é atingido para o isolamento de lã de rocha para uma espessura de 8 cm nas paredes, 10 cm na cobertura e 6 cm no pavimento.

Comparando com as restantes combinações de equipamentos verifica-se que existe um decréscimo bastante acentuado em relação à combinação C1, C3 e C4 em termos de

potencial de aquecimento global. Quando comparada com a combinação C2 e apesar de continuar a existir um decréscimo o mesmo já não é tão notório. Estas diferenças devem-se aos vetores energéticos utilizados em ambos os equipamentos, sendo que a biomassa utilizada - *pellets* de madeira é o vetor energético com menor potencial de aquecimento global.

Em termos de energia durante a fase de utilização é a combinação que leva a um maior gasto de energia. O correto seria gastar a mesma energia que a combinação C2, dado a eficiência dos equipamentos ser a mesma, contudo no programa não existia caldeira a biomassa com a eficiência pretendida, o que fez com que se utilizasse a eficiência mais próxima, um rendimento de cerca de 76% para aquecimento e um rendimento de cerca de 80,5 % para preparação de águas quentes sanitárias.

6.2.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação

O objetivo do estudo efetuado acima era definir o cenário ótimo de reabilitação, que conduz a menor potencial de aquecimento global, associado a uma menor energia durante a fase de utilização.

Este cenário foi definido para cada uma das cinco combinações distintas de equipamentos e tipo de material de isolamento. Nas Tabelas 19, 20, 21 e 22 são apresentados os cenários ótimos de reabilitação para cada tipo de isolamento.

Tabela 19- Resultados dos pontos ótimos para o EPS em Beja

Beja	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	25 + 25 + 15	9,33	40,1
Combinação C2	10 + 10 + 6	4,21	48,5
Combinação C3	15 + 15 + 8	9,94	9,68
Combinação C4	10 + 15 + 6	12,4	15,4
Combinação C5	6 + 6 + 4	3,43	66,9

Tabela 20- Resultados dos pontos ótimos para o XPS em Beja

Beja	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	10 + 10 + 6	11,6	48,5
Combinação C2	4 + 4 + 2	5,02	64,6
Combinação C3	4 + 4 + 2	11,2	16,9
Combinação C4	4 + 4 + 2	13,6	21,4
Combinação C5	2 + 2 + 2	3,95	91,7

Tabela 21- Resultados dos pontos ótimos para o ICB em Beja

Beja	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	15 + 15 + 8	10,6	46,2
Combinação C2	8 + 10 + 6	4,69	59,1
Combinação C3	8 + 10 + 6	10,6	12,5
Combinação C4	8 + 10 + 6	13,1	17,2
Combinação C5	4 + 4 + 2	3,73	81,6

Tabela 22- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha em Beja

Beja	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	25 + 25 + 15	8,83	40,1
Combinação C2	10 + 15 + 6	4,02	46,5
Combinação C3	15 + 20 + 10	9,65	9,07
Combinação C4	15 + 20 + 10	12,1	13,9
Combinação C5	8 + 10 + 6	3,31	58,5

Analisando todos os resultados conclui-se que em termos ambientais e numa perspetiva de otimização do potencial de aquecimento global, a melhor opção seria a combinação C5 com o isolamento de lã de rocha.

Por outro lado e numa perspetiva do melhor cenário de reabilitação em termos de menor gasto de energia durante a fase de utilização a combinação a escolher seria a C3.

Analisando os resultados e procurando um ponto de equilíbrio entre a otimização do GWP e a otimização da energia durante a fase de utilização a melhor opção seria a

combinação C3 onde o valor mais elevado do GWP acaba por ser compensando por um baixo consumo de energia, o que também afeta o ambiente.

6.3 Lisboa

É uma cidade com zoneamento climático I1- V2, que se caracteriza por um clima temperado. À semelhança de Beja deve-se tomar especial atenção na reabilitação ou construção de um edifício às exigências de verão.

Para o edifício em questão Lisboa possui necessidades de arrefecimento quando se coloca isolamento, contudo bastante inferiores quando comparadas com as necessidades de aquecimento.

6.3.1 Combinação de equipamentos C1

A primeira combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma resistência elétrica com um rendimento de 100% para aquecimento, um ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 para o arrefecimento e para a preparação de águas quentes sanitárias recorreu-se a um termoacumulador com um rendimento de 80%.

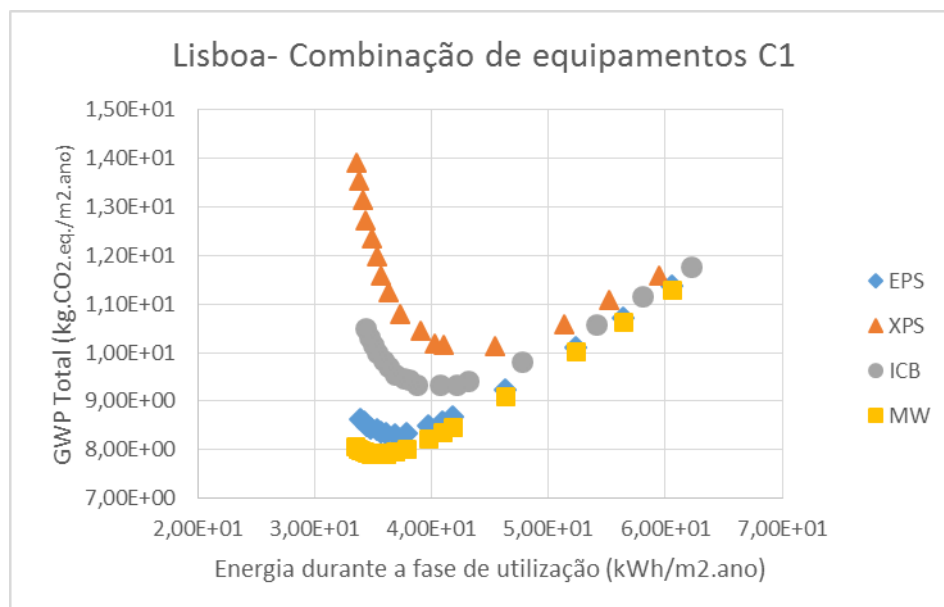


Figura 19- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos em Lisboa

À semelhança do que acontece com Beja, o isolamento que permite obter melhores resultados é a lã de rocha, o que é justificável tendo em conta que o principal fator que influencia o desempenho de um isolamento em relação a outro é a condutibilidade térmica e o seu potencial de aquecimento global e isso não altera com a localização. A lã de rocha para esta combinação atinge o seu ponto ótimo mais cedo que em Beja para 20 cm de isolamento nas paredes, 20 na cobertura e 10 no pavimento com um valor de GWP mais baixo o que se deve essencialmente ao facto de as necessidades energéticas de aquecimento serem inferiores.

O XPS continua a ser o isolamento que leva a piores resultados atingindo o seu ponto ótimo para uma espessura de 6 cm nas paredes, 6 cm na cobertura e 4 cm no pavimento, bastante inferior à espessura do cenário de reabilitação ótimo para a lã de rocha.

6.3.2 Combinação de equipamentos C2

A segunda combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma caldeira a gás natural com rendimento de 92% quer para aquecimento, quer para preparação de águas quentes sanitárias. Para arrefecimento manteve-se o equipamento usado na primeira combinação: um aparelho de ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5.

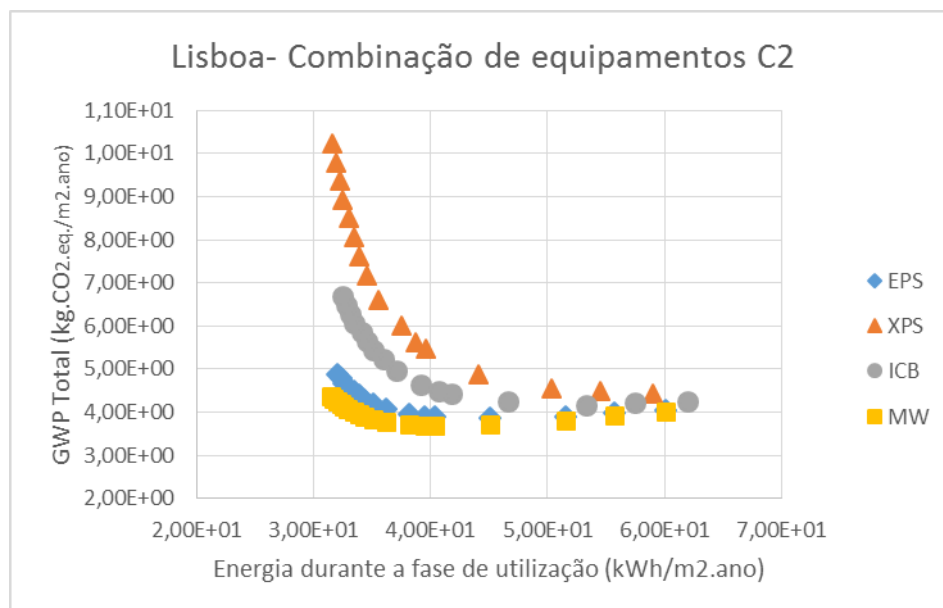


Figura 20- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos em Lisboa

Como se pode ver pela observação da Figura 20 para esta combinação de equipamentos o ponto ótimo é atingido para espessuras menores de isolamento, no XPS é logo o primeiro ponto o ótimo e a lã de rocha atinge o seu melhor resultado com 10 cm nas paredes, 10 na cobertura e 6 no pavimento. De realçar ainda que a partir do quinto cenário de reabilitação correspondente a 10 cm na cobertura, 8 nas paredes e 6 no pavimento a diminuição quer do GWP, quer da energia começa a ser cada vez menor.

Em relação à combinação C1, com a alteração dos equipamentos verifica-se um uma diminuição quer do GWP, quer da energia durante a fase de utilização, à semelhança do que aconteceu em Beja.

6.3.3 Combinação de equipamentos C3

No que diz respeito à terceira combinação de equipamentos para a determinação do cenário ótimo de reabilitação a ideia inicial era utilizar para aquecimento um ar condicionado com um coeficiente de desempenho de 4,1, que por não existir na base de dados da metodologia para o aquecimento teve de se optar por utilizar uma bomba de calor com a mesma eficiência. Para o arrefecimento continuou a manter-se o ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 e para preparação de águas quentes sanitárias optou-se por solar térmico apoiado por um termoacumulador com um rendimento de 80%.

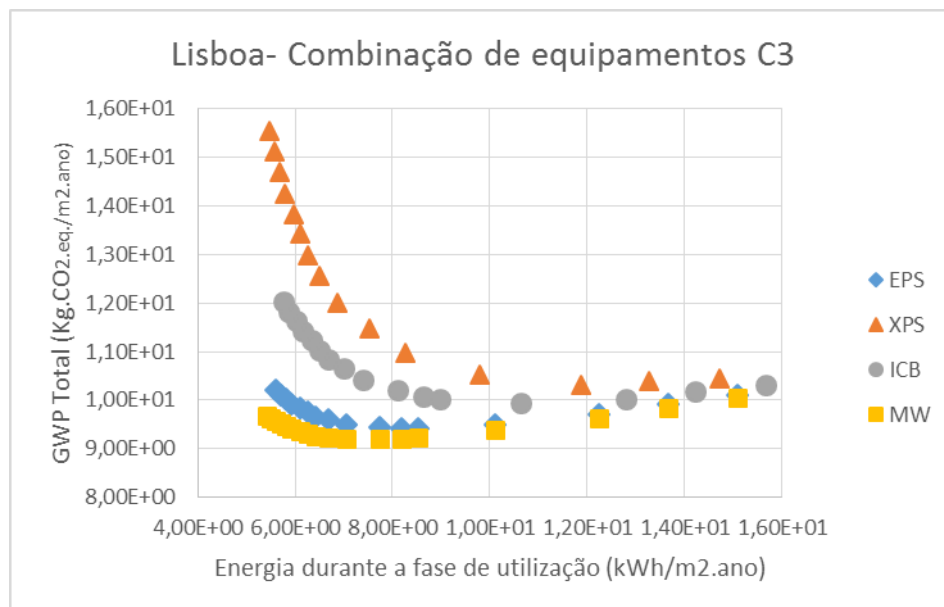


Figura 21- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos em Lisboa

Relativamente à combinação de equipamentos C3 e como se pode verificar pela Figura 21 o isolamento que leva a uma otimização do cenário de reabilitação é novamente a lã de rocha, atingindo o seu ponto ótimo para 15 cm nas paredes e cobertura e 8 cm no pavimento. Em comparação com a combinação C1 o seu ponto ótimo é atingido para espessuras mais baixas de isolamento, enquanto que em comparação com a combinação C2 é atingido para uma espessura superior de isolamento.

Em termos de potencial de aquecimento global é superior ao das outras combinações, sobe de valores na ordem dos 3,7 kg.CO₂eq/m².ano para valores na ordem dos 9,2 kg.CO₂eq/m².ano, o que acaba por ser compensado pela baixa energia durante a fase de utilização que desce de valores na ordem dos 30 a 40 kWh/m².ano para valores na ordem dos 7 a 10 kWh/m².ano.

Tal como já foi referido quando se analisou a cidade de Beja, o vetor energético contribui muito significativamente para o potencial de aquecimento global e além disso tanto a bomba de calor como o solar térmico apresentam na sua condição inicial um valor elevado de potencial de aquecimento global.

6.3.4 Combinação de equipamentos C4

No que concerne à quarta combinação de equipamentos optou-se por considerar uma bomba de calor para as três necessidades energéticas. Assim considerou-se uma bomba de calor com um coeficiente de desempenho de 3,9 para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias e uma bomba de calor para o arrefecimento com um índice de desempenho energético de 3,5.

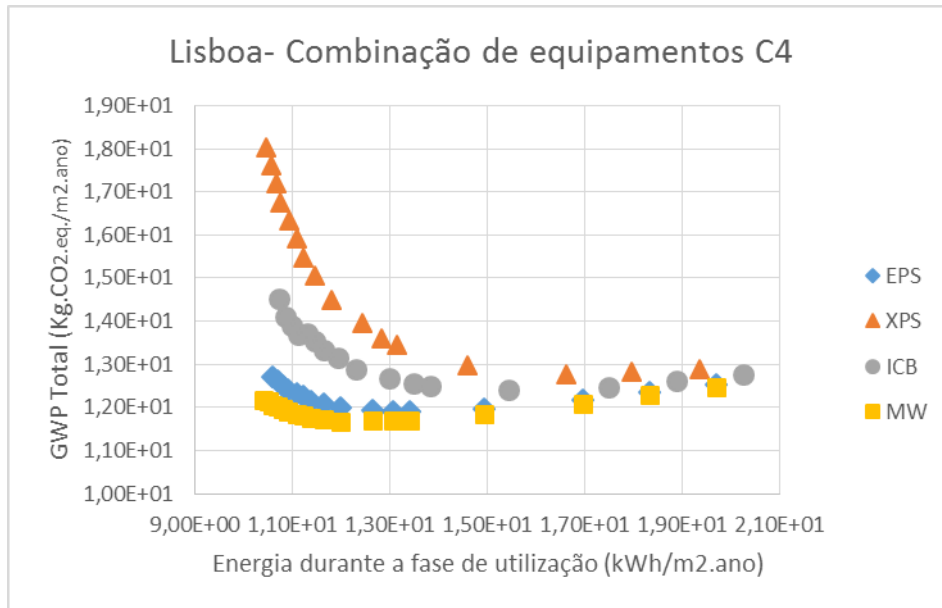


Figura 22- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Lisboa

Analisando o gráfico da Figura 22 pode-se verificar que os resultados não variam muito em relação à combinação C3. Tal facto é facilmente explicado tendo em conta que o vetor energético é o mesmo, além disso os equipamentos também não variam muito, a diferença mais notória é no equipamento utilizado para preparação de águas quentes sanitárias que altera de um solar térmico apoiado por termoacumulador para uma bomba de calor.

A otimização do cenário de reabilitação é atingida para a lã de rocha para uma espessura de 15 cm nas paredes e cobertura e 8 cm no pavimento.

O valor do GWP ótimo é ligeiramente superior à terceira combinação, o que se explica dado que a bomba de calor possui maior potencial de aquecimento global que o solar térmico e o termoacumulador juntos. O valor da energia durante a fase de utilização é também ligeiramente superior dado que, apesar de a bomba de calor ser um equipamento muito eficiente o solar térmico visto que utiliza a energia solar é ainda mais.

6.3.5 Combinação de equipamentos C5

Na quinta combinação de equipamentos voltou a optar-se por um ar condicionado para arrefecimento com índice de eficiência energética de 3,5 e à semelhança da segunda combinação optou-se por uma caldeira com rendimento de 92% para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias, contudo desta vez optou pela biomassa – *pellets* de madeira em vez do gás natural.

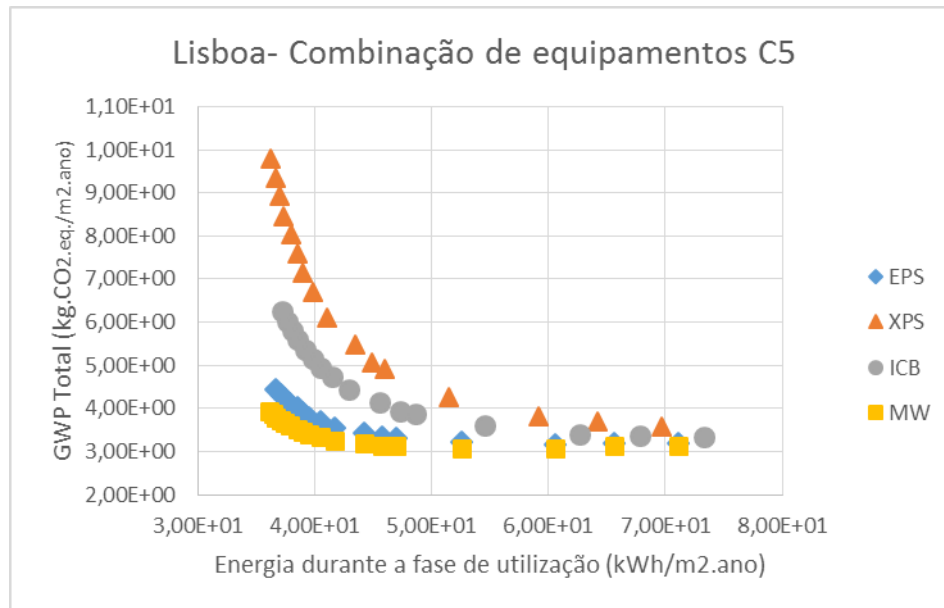


Figura 23- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 5ª combinação de equipamentos em Lisboa

Na combinação de equipamentos C5 o ponto ótimo de reabilitação é atingido para espessuras de isolamentos mais pequenas que nas restantes combinações de equipamentos como se pode observar pela Figura 23.

Para a lã de rocha que é o isolamento que leva a melhores resultados o ponto ótimo é atingido para a espessura de 6 cm nas paredes, 6 cm na cobertura e 4 cm no pavimento, o que vai de encontro às espessuras normalmente utilizadas em Portugal. Os bons resultados para esta combinação de equipamentos em termos de GWP devem-se sobretudo à biomassa que possui um potencial de aquecimento global muito baixo, assim como uma energia incorporada também baixa, realçando-se ainda o facto de que a maior dessa energia é energia renovável.

Em termos de energia durante a fase de utilização é a combinação que leva a piores resultados, o que é justificável, tendo em conta a eficiência dos equipamentos utilizados

para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias ser inferior à eficiência dos equipamentos utilizados nas restantes combinações.

6.3.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação

O objetivo do estudo efetuado era definir o cenário ótimo de reabilitação, que conduz a menor potencial de aquecimento global, associado a uma menor energia durante a fase de utilização.

Este cenário foi definido para cada uma das cinco combinações distintas de equipamentos e tipo de material de isolamento. Nas Tabelas 23, 24, 25 e 26 são apresentados os cenários ótimos e reabilitação para cada isolamento.

Tabela 23- Resultados dos pontos ótimos para o EPS em Lisboa

Lisboa	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	20 + 20 + 10	8,32	36,1
Combinação C2	6 + 6 + 4	3,85	45
Combinação C3	10 + 10 + 6	9,41	8,19
Combinação C4	10 + 10 + 6	11,9	13,1
Combinação C5	4+ 4 + 2	3,16	60,5

Tabela 24- Resultados dos pontos ótimos para o XPS em Lisboa

Lisboa	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	6 + 6 + 4	10,1	15,4
Combinação C2	2 + 2 + 2	4,42	59
Combinação C3	4 + 4 + 2	10,3	11,9
Combinação C4	4 + 4 + 2	12,8	16,6
Combinação C5	2 + 2 + 2	3,57	69,7

Tabela 25- Resultados dos pontos ótimos para o ICB em Lisboa

Lisboa	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	15 + 15 + 8	9,33	38,7
Combinação C2	4 + 4 + 2	4,17	53,3
Combinação C3	6 + 6 + 4	9,95	10,6
Combinação C4	6 + 6 + 4	12,4	15,4
Combinação C5	2 + 2 + 2	3,35	73,3

Tabela 26- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha em Lisboa

Lisboa	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	20 + 20 + 10	7,91	36,1
Combinação C2	10 + 10 + 6	3,70	39,4
Combinação C3	15 + 15 + 8	9,2	7,06
Combinação C4	15 + 15 + 8	11,7	12
Combinação C5	6 + 6 + 4	3,08	52,6

Analisando os resultados obtidos verifica que o cenário ótimo de reabilitação é obtido com o isolamento em lã de rocha para a combinação C5 tendo em conta a otimização do potencial de aquecimento global. A otimização da energia de utilização é obtida igualmente com o isolamento de lã de rocha, mas para a terceira combinação de equipamentos.

Um fator a ter em conta e que também é importante não só numa perspetiva de otimização de custos, mas também de geração de resíduos é a espessura de isolamento para a qual se atinge o cenário de reabilitação ótimo e que pode ser um fator determinante na escolha da quinta combinação de equipamentos.

6.4 Porto

O zoneamento climático do Porto é I2-V1, caracteriza-se por um clima misto entre o clima mediterrâneo e o clima temperado oceânico, tendo um inverno mais exigente que o verão.

No edifício em estudo o Porto apresenta como seria de esperar dado o seu clima, apenas necessidades de aquecimento. As necessidades de arrefecimento só começam a existir para espessuras de isolamento bastantes elevadas, muito além do que se costuma aplicar.

6.4.1 Combinação de equipamentos C1

A primeira combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma resistência elétrica com um rendimento de 100% para aquecimento, um ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 para o arrefecimento e para a preparação de águas quentes sanitárias recorreu-se a um termoacumulador com um rendimento de 80%.

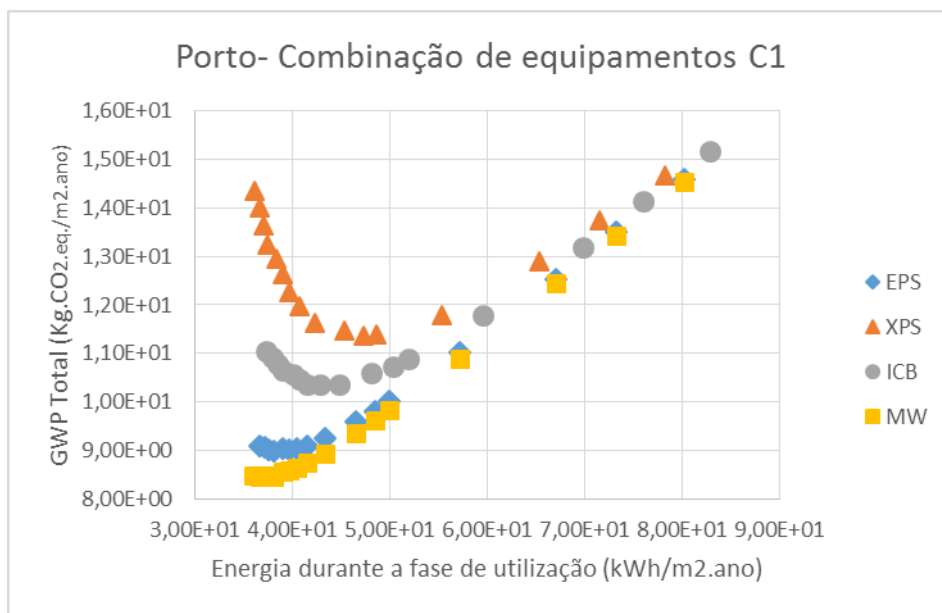


Figura 24- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos no Porto

Analisando a Figura 24 conclui-se que o isolamento que leva a uma otimização do cenário de reabilitação é a lã de rocha, atingindo a otimização do potencial de aquecimento global para uma espessura de isolamento elevada, 30 cm nas paredes, 25 cm na cobertura e 15 cm no pavimento. Verifica-se ainda que a partir do quinto cenário de reabilitação tanto a diminuição de energia como do GWP começa a ser menos significativa.

Pela observação do gráfico percebe-se ainda que o XPS é o isolamento que atinge a otimização da reabilitação para espessuras mais pequenas, contudo para valores de energia superiores.

6.4.2 Combinação de equipamentos C2

A segunda combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma caldeira a gás natural com rendimento de 92% quer para aquecimento, quer para preparação de águas quentes sanitárias. Para arrefecimento manteve-se o equipamento usado na primeira combinação: um aparelho de ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5.

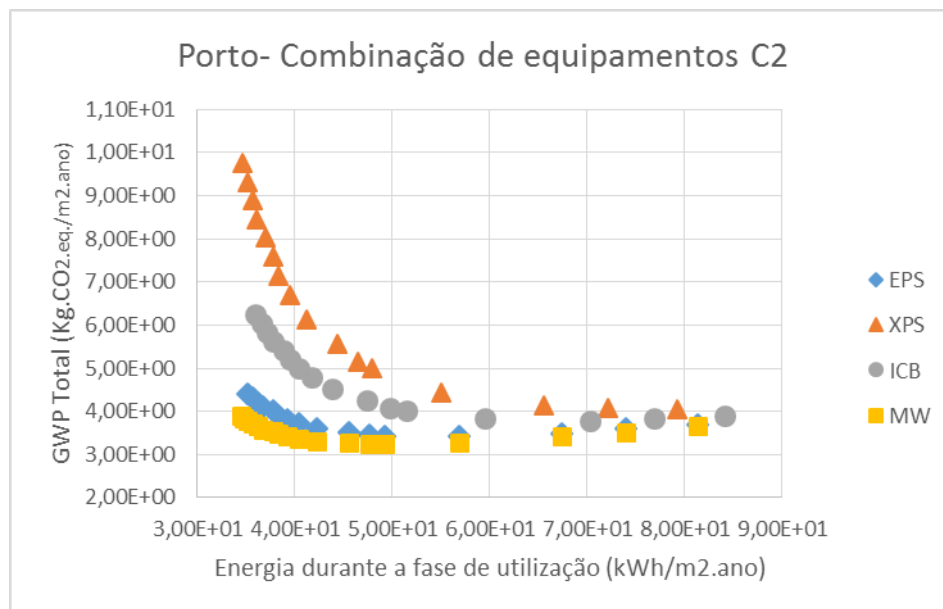


Figura 25- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos no Porto

O Porto não possui necessidades de arrefecimento, por esse motivo apenas o aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias têm influência nos resultados.

Atendendo à Figura 25 verifica-se que se atinge o cenário ótimo de reabilitação para espessuras baixas. A lã de rocha é o isolamento que permite atingir melhores resultados, sendo o cenário ótimo de reabilitação 10 cm nas paredes e cobertura e 6 cm no pavimento.

No que concerne à energia durante a fase de utilização, comparando com as cidades analisadas anteriormente verifica-se que a mesma é superior em relação a Lisboa e Beja, o que se deve às necessidades energéticas de aquecimento no Porto serem superiores.

Relativamente ao potencial de aquecimento global e apesar da diferença nas necessidades energéticas, o Porto é o que apresenta menores resultados para esta combinação de equipamentos, dado que como não apresenta necessidades de arrefecimento não tem em conta o impacto da eletricidade que é elevado em relação ao gás natural.

6.4.3 Combinação de equipamentos C3

No que diz respeito à terceira combinação de equipamentos para a determinação do cenário ótimo de reabilitação a ideia inicial era utilizar para aquecimento um ar condicionado com um coeficiente de desempenho de 4,1, que por não existir na base de dados da metodologia para o aquecimento teve de se optar por utilizar uma bomba de calor com a mesma eficiência. Para o arrefecimento continuou a manter-se o ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 e para preparação de águas quentes sanitárias optou-se por solar térmico apoiado por um termoacumulador com um rendimento de 80%.

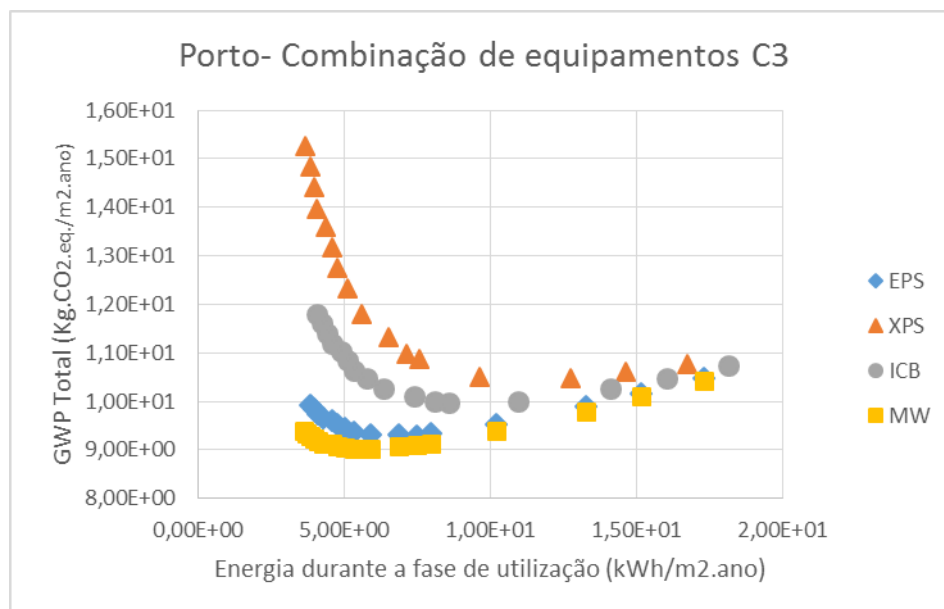


Figura 26- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos no Porto

Pela observação da Figura 26 pode-se constatar facilmente que a lã de rocha é o isolamento que leva a melhores resultados, atingindo o ponto ótimo para uma espessura de 15 cm nas paredes e cobertura e 8 cm no pavimento. Conclui-se ainda que o cenário de reabilitação ótimo é atingido para espessuras de isolamento baixas no XPS e no ICB e que o EPS atinge o seu cenário de reabilitação ótimo pouco antes da lã de rocha.

Comparativamente com as restantes cidades os valores quer do GWP, quer da energia durante a fase de utilização não sofrem grande alteração, variando apenas consoante as necessidades energéticas.

6.4.4 Combinação de equipamentos C4

No que concerne à quarta combinação de equipamentos optou-se por considerar uma bomba de calor para as três necessidades energéticas. Assim considerou-se uma bomba de calor com um coeficiente de desempenho de 3,9 para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias e uma bomba de calor para o arrefecimento com um índice de desempenho energético de 3,5.

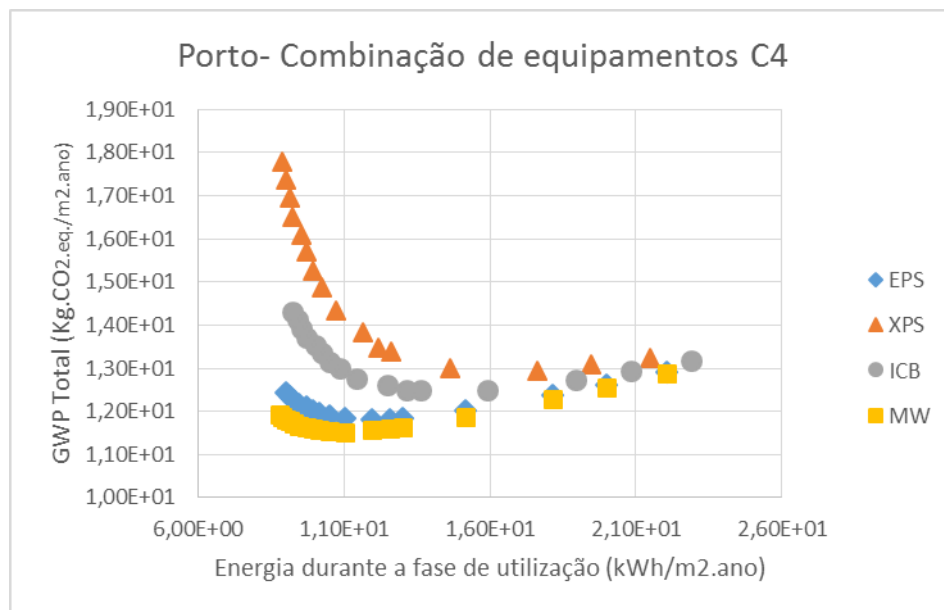


Figura 27- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos no Porto

Como se pode observar pela Figura 27, a quarta combinação de equipamentos leva a resultados muito semelhantes à terceira combinação de equipamentos. A otimização do cenário de reabilitação é obtido para as mesmas espessuras de isolamento, contudo para valores quer de GWP, quer de energia superiores.

A energia durante a fase de utilização na combinação C4 é cerca de 11 kWh/m².ano enquanto que na combinação C3 é cerca de metade, 5,92 kWh/m².ano, o que se justifica pela eficiência do painel solar em comparação com a eficiência da bomba de calor para a preparação das águas quentes sanitárias.

No que diz respeito ao potencial de aquecimento global sobe de 9,01 na combinação C3 para 11,5 na combinação C4, o que é justificável também pela eficiência dos equipamentos e ainda pelo GWP da bomba de calor que é bastante superior ao do solar térmico.

6.4.5 Combinação de equipamentos C5

Na quinta combinação de equipamentos voltou a optar-se por um ar condicionado para arrefecimento com índice de eficiência energética de 3,5 e à semelhança da segunda combinação optou-se por uma caldeira com rendimento de 92% para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias, contudo desta vez optou pela biomassa – *pellets* de madeira em vez do gás natural.

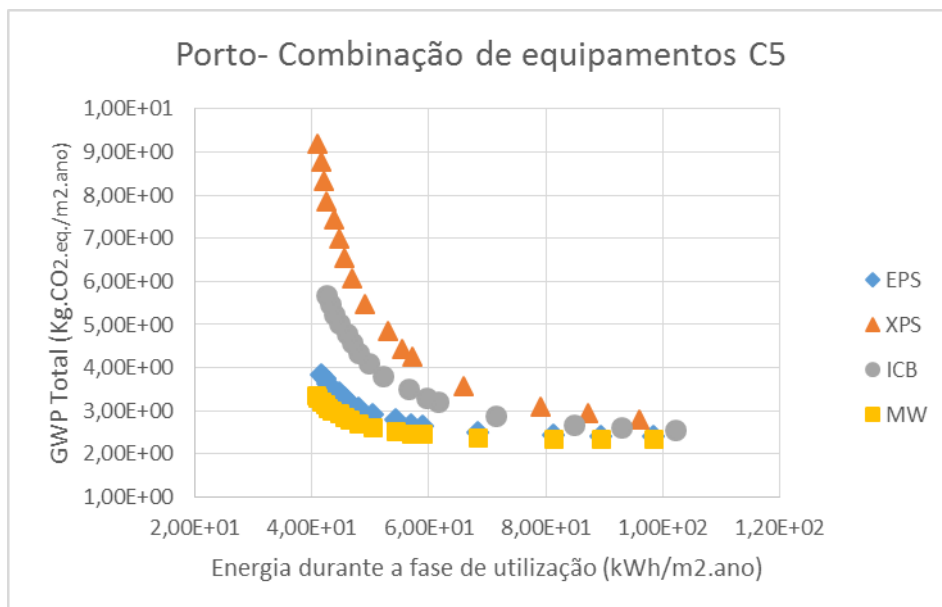


Figura 28- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 5^a combinação de equipamentos no Porto

A quinta combinação de equipamentos é a que permite obter melhores resultados em termos de potencial de aquecimento global, além de que se atinge o cenário de

reabilitação ótimo para espessuras mais pequenas. Como se pode ver pela Figura 28 quer no EPS, quer no XPS e ICB este é alcançado logo no primeiro ponto para uma espessura de 2 cm nas paredes, cobertura e pavimento e mesmo na lã de rocha, onde se alcançam os melhores resultados, o seu ponto é atingido para uma espessura de 4 cm nas paredes e cobertura e 2 cm no pavimento.

6.4.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação

O objetivo do estudo efetuado era definir o cenário ótimo de reabilitação, que conduz a menor potencial de aquecimento global, associado a uma menor energia durante a fase de utilização.

Este cenário foi definido para cada uma das cinco combinações distintas de equipamentos e tipo de material de isolamento. Nas Tabelas 27, 28, 29 e 30 encontram-se os cenários ótimos de isolamento para cada isolamento.

Tabela 27- Resultados dos pontos ótimos para o EPS no Porto

Porto	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	25 + 25 + 15	8,98	38,1
Combinação C2	6 + 6 + 4	3,41	56,9
Combinação C3	10 + 10 + 6	9,3	7,5
Combinação C4	10 + 10 + 6	11,8	12,6
Combinação C5	4 + 4 + 2	2,41	98,5

Tabela 28- Resultados dos pontos ótimos para o XPS no Porto

Porto	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	10 + 10 + 6	11,4	47,3
Combinação C2	2 + 2 + 2	4,06	79,3
Combinação C3	4 + 4 + 2	10,5	12,7
Combinação C4	4 + 4 + 2	13	17,6
Combinação C5	2 + 2 + 2	2,8	96

Tabela 29- Resultados dos pontos ótimos para o ICB no Porto

Porto	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	15 + 20 + 10	10,3	42,9
Combinação C2	4 + 4 + 2	3,79	70,3
Combinação C3	8 + 10 + 6	9,98	8,59
Combinação C4	8 + 10 + 6	12,5	13,6
Combinação C5	2 + 2 + 2	2,35	81,4

Tabela 30- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha no Porto

Porto	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	30 + 25 + 15	8,46	37,6
Combinação C2	10 + 10 + 6	3,24	47,7
Combinação C3	15 + 15 + 8	9,01	5,92
Combinação C4	15 + 15 + 8	11,5	11
Combinação C5	4 + 4 + 2	2,35	81,4

Pela observação das tabelas o cenário de reabilitação ótimo é alcançado utilizando a lã de rocha na combinação de equipamentos C5. Como se pode verificar o valor do GWP é realmente baixo. Contudo se formos observar em comparação com a discrepância de valores em termos de energia é superior do que a discrepância em relação aos valores do GWP, o que leva a concluir que o melhor seria optar pela combinação C3.

6.5 Vila Real

Trata-se de uma cidade I3-V2, que se caracteriza por temperaturas muito baixas no Inverno e um clima seco e quente no Verão.

Para o edifício em análise e como era expectável é a cidade que apresenta maiores necessidades de aquecimento, apresentando necessidades de arrefecimento para espessuras de isolamento ainda relativamente baixas, tendo em conta a quantidade que foi analisada.

6.5.1 Combinação de equipamentos C1

A primeira combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma resistência elétrica com um rendimento de 100% para aquecimento, um ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 para o arrefecimento e para a preparação de águas quentes sanitárias recorreu-se a um termoacumulador com um rendimento de 80%.

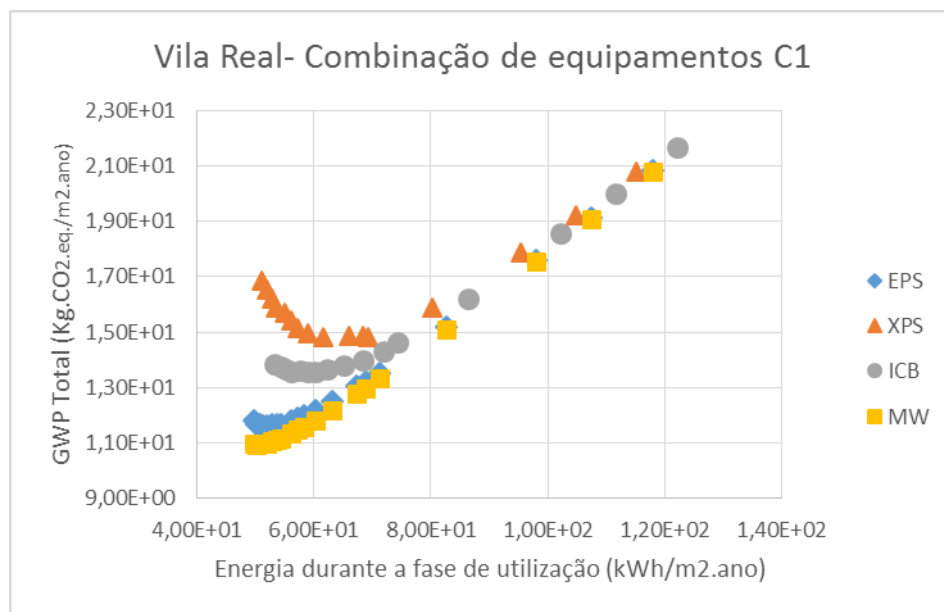


Figura 29- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 1ª combinação de equipamentos em Vila Real

À semelhança do que acontece com as outras cidades, também em Vila Real como se pode observar pela Figura 29 é a lã de rocha que permite obter melhores resultados, atingindo o seu ponto ótimo já para espessuras bastante elevadas, 35 cm nas paredes, 35 cm na cobertura e 25 cm no pavimento. Contudo a partir da espessura de 6 cm nas paredes, 6 na cobertura e 4 no pavimento, que vai de acordo com o que é correntemente utilizado, verifica-se que a diminuição de energia deixa de ser tão significativa.

No que diz respeito ao potencial de aquecimento global e energia durante a fase de utilização comparando com restantes cidades analisadas constata-se que é a cidade que apresenta o valor mais elevado, tal facto deve-se às elevadas necessidades de aquecimento.

6.5.2 Combinação de equipamentos C2

A segunda combinação de equipamentos utilizada para a determinação do cenário ótimo de reabilitação foi uma caldeira a gás natural com rendimento de 92% quer para aquecimento, quer para preparação de águas quentes sanitárias. Para arrefecimento manteve-se o equipamento usado na primeira combinação: um aparelho de ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5.

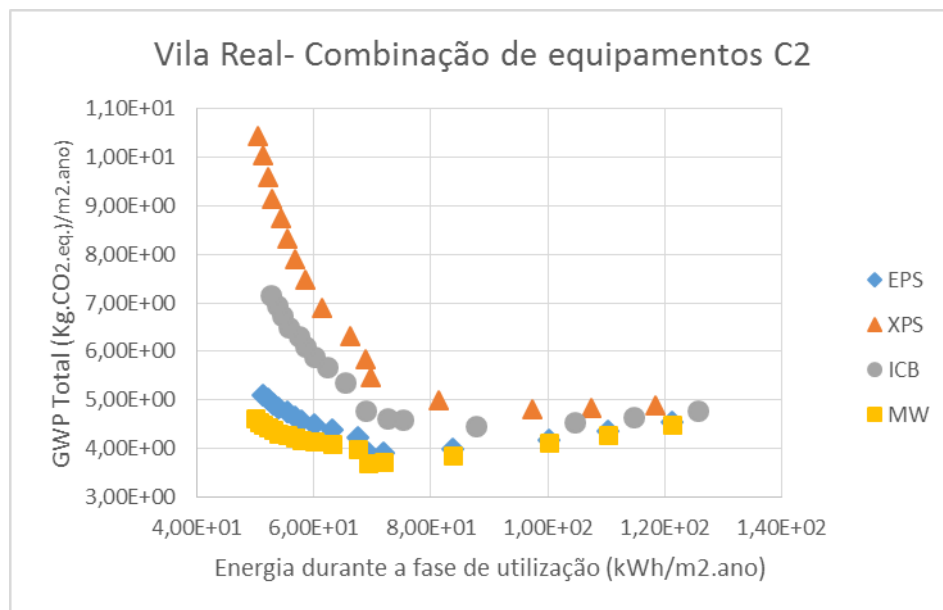


Figura 30- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 2ª combinação de equipamentos em Vila Real

Vila Real é das quatro cidades analisadas a mais particular devido ao seu clima e como tal enquanto que nas restantes as curvas dos gráficos são idênticas, mudando praticamente apenas a espessura para a qual se atinge os melhores resultados, em Vila Real isso é completamente diferente. Como se pode verificar pela Figura 30 existe uma quebra na curva referente a cada isolamento. Essa quebra ocorre devido à introdução das necessidades de arrefecimento, a partir de uma determinada espessura o coeficiente de transmissão térmica dos diversos elementos fica de tal forma baixo que as perdas são muito baixas, comparativamente com os ganhos, o que leva a que a temperatura interior comece a ser superior à temperatura exterior, levando a que haja necessidade de arrefecimento para se manter a situação de conforto.

A introdução das necessidades energéticas de arrefecimento leva a um aumento do GWP, não pelo valor das necessidades, mas devido ao vetor energético. A eletricidade como já se referiu possui um valor do potencial de aquecimento global superior ao gás natural e dado o vetor energético ser o parâmetro com mais influência no GWP, leva a que ocorre essa diferença.

6.5.3 Combinação de equipamentos C3

No que diz respeito à terceira combinação de equipamentos para a determinação do cenário ótimo de reabilitação a ideia inicial era utilizar para aquecimento um ar condicionado com um coeficiente de desempenho de 4,1, que por não existir na base de dados da metodologia para o aquecimento teve de se optar por utilizar uma bomba de calor com a mesma eficiência. Para o arrefecimento continuou a manter-se o ar condicionado com um índice de eficiência energética de 3,5 e para preparação de águas quentes sanitárias optou-se por solar térmico apoiado por um termoacumulador com um rendimento de 80%.

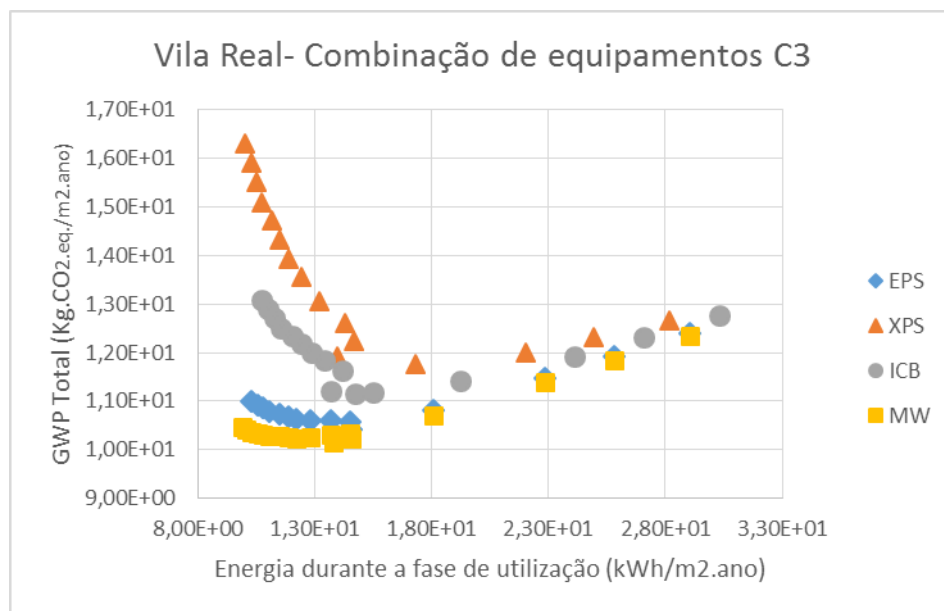


Figura 31- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 3ª combinação de equipamentos em Vila Real

Para a combinação de equipamentos C3 e dada a particularidade da cidade mais uma vez se verifica a quebra na tendência da curva devido às necessidades de arrefecimento. Neste caso e tendo em conta que as necessidades de preparação de águas quentes sanitárias não estão a ser contabilizadas, visto se admitir que as necessidades são supridas pelo solar térmico, apenas se considera as necessidades de aquecimento e

arrefecimento. Apesar do valor das necessidades de arrefecimento ser baixo, quando ocorrem levam a um aumento da energia durante a fase de utilização que depois volta novamente a descer, como se pode ver no gráfico, mais notoriamente na cortiça.

O isolamento que leva a melhores resultados continua a ser a lã de rocha atingindo o seu ponto ótimo para o cenário de reabilitação correspondente à espessura de 10 cm nas paredes e cobertura e 6 cm no pavimento.

6.5.4 Combinação de equipamentos C4

No que concerne à quarta combinação de equipamentos optou-se por considerar uma bomba de calor para as três necessidades energéticas. Assim considerou-se uma bomba de calor com um coeficiente de desempenho de 3,9 para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias e uma bomba de calor para o arrefecimento com um índice de desempenho energético de 3,5.

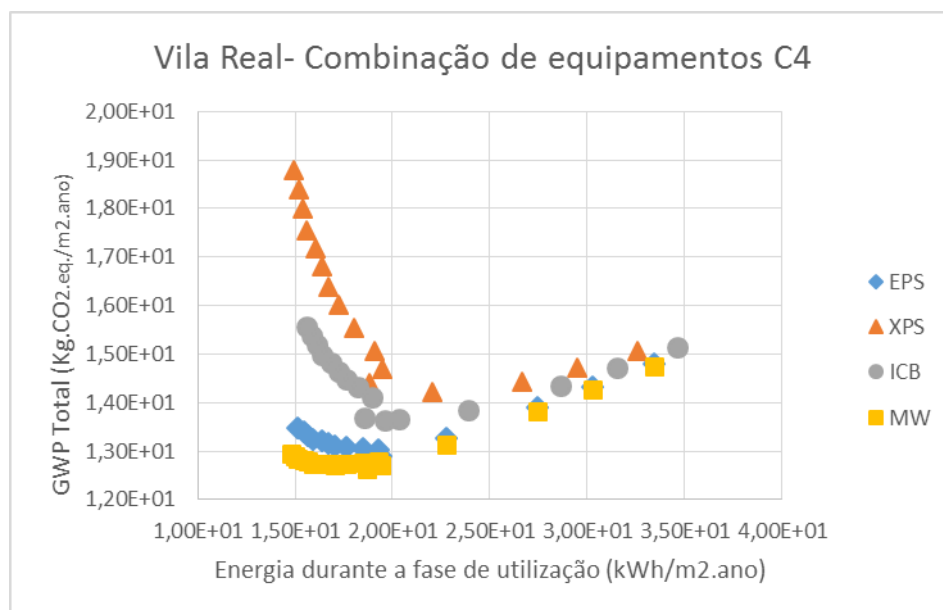


Figura 32- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Vila Real

Como já se referiu quando se efetuou a análise em Lisboa, os resultados obtidos para as combinações de equipamentos 3 e 4 são muito semelhantes, atingindo-se os cenários de reabilitação ótimos para as mesmas espessuras.

O ponto ótimo da lã de rocha é atingido para uma espessura de 10 cm nas paredes, 10 cm nas coberturas e 6 cm no pavimento, enquanto que para os restantes isolamentos é atingido para uma espessura de 6 cm nas paredes, 6 cm na cobertura e 4 cm no pavimento. Verifica-se ainda pela observação da Figura 32 que a partir do quinto cenário de reabilitação que corresponde a 8 cm nas paredes, 10 cm na cobertura e 6 cm no pavimento a diminuição quer do potencial de aquecimento global, quer da energia durante a fase de utilização é cada vez menos significativa.

6.5.5 Combinação de equipamentos C5

Na quinta combinação de equipamentos voltou a optar-se por um ar condicionado para arrefecimento com índice de eficiência energética de 3,5 e à semelhança da segunda combinação optou-se por uma caldeira com rendimento de 92% para aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias, contudo desta vez optou pela biomassa – *pellets* de madeira em vez do gás natural.

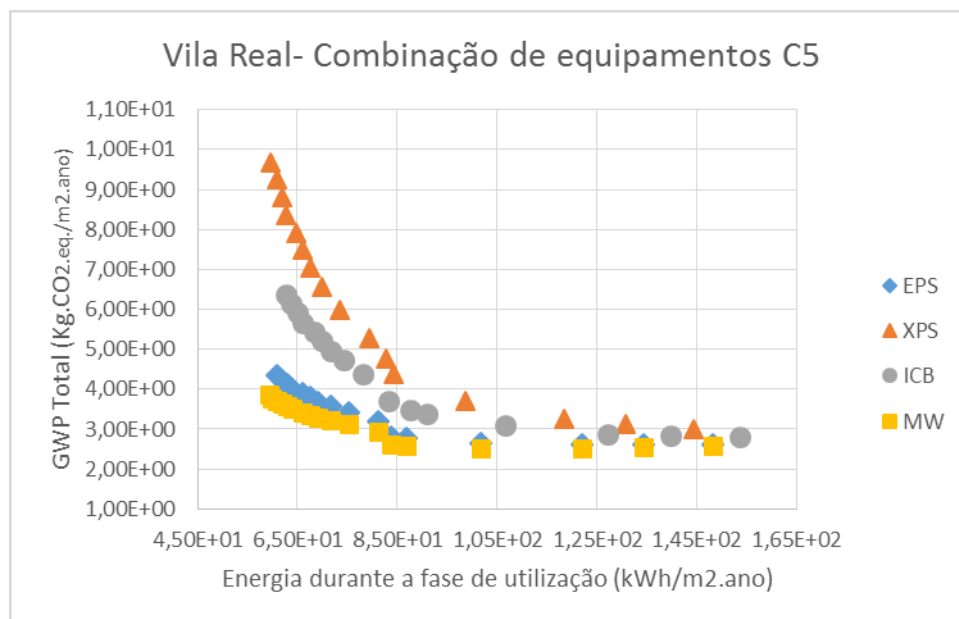


Figura 33- Relação entre a energia durante a fase de utilização e o GWP para a 4ª combinação de equipamentos em Vila Real

Para a quinta combinação de equipamentos o ponto ótimo é atingido para uma espessura de isolamento que está de acordo com o correntemente utilizado em Portugal, 4cm nas paredes, 4 cm na cobertura e 2 cm no pavimento para a lã de rocha. Como se pode verificar na Figura 33 os valores para o poliestireno expandido são muito semelhantes, existindo apenas uma mínima diferença em relação ao potencial de aquecimento global

que na lã de rocha é 2,52 Kg.CO₂.eq/m².ano enquanto no poliestireno expandido é de 2,6 Kg.CO₂.eq/m².ano.

6.5.6 Definição do cenário ótimo de reabilitação

O objetivo do estudo efetuado era definir o cenário ótimo de reabilitação, que conduz a menor potencial de aquecimento global, associado a uma menor energia durante a fase de utilização.

Este cenário foi definido para cada uma das cinco combinações distintas de equipamentos e tipo de material de isolamento. Nas Tabelas 31, 32, 33 e 34 são apresentados os cenários de reabilitação ótimos referentes a cada isolamento.

Tabela 31- Resultados dos pontos ótimos para o EPS em Vila Real

Vila Real	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	30 + 30 + 20	11,6	51,9
Combinação C2	10 + 10 + 6	3,9	69,3
Combinação C3	10 + 10 + 6	10,3	13,8
Combinação C4	10 + 10 + 6	12,8	18,7
Combinação C5	4 + 4 + 2	2,6	122

Tabela 32- Resultados dos pontos ótimos para o XPS em Vila Real

Vila Real	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	8 + 10 + 6	14,8	69,3
Combinação C2	4 + 4 + 2	4,8	97,3
Combinação C3	6 + 6 + 4	11,8	17,3
Combinação C4	6 + 6 + 4	14,2	22,1
Combinação C5	2 + 2 + 2	3,01	144

Tabela 33- Resultados dos pontos ótimos para o ICB em Vila Real

Vila Real	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	20 + 20 + 10	13,6	60,3
Combinação C2	6 + 6 + 4	4,47	87,8
Combinação C3	10 + 10 + 6	11,2	14,8
Combinação C4	10 + 10 + 6	13,6	19,6
Combinação C5	2 + 2 + 2	2,8	153

Tabela 34- Resultados dos pontos ótimos para a lã de rocha em Vila Real

Vila Real	Espessura (Par+Cob+Pav) cm	GWP	Energia
Combinação C1	35 + 35 + 25	10,9	50,2
Combinação C2	10 + 10 + 6	3,7	69,3
Combinação C3	10 + 10 + 6	10,1	13,8
Combinação C4	10 + 10 + 6	12,6	18,7
Combinação C5	4 + 4 + 2	2,52	122

Tendo em conta os resultados que contam nas tabelas 31, 32, 33 e 34 o cenário ótimo de reabilitação é obtido para a combinação C5 utilizando como isolamento a lã de rocha, para a otimização do potencial de aquecimento global.

O cenário que leva à otimização da energia durante a fase de utilização é a combinação C3 com 10 cm nas paredes, 10 cm na cobertura e 6 cm no pavimento. Analisando os gráficos conclui-se que é a escolha mais acertada, dado o decréscimo de energia em comparação às outras combinações compensar o aumento do GWP em relação C2 e C5.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta dissertação passou essencialmente por dois pontos fundamentais, avaliar a fiabilidade da metodologia comparando os valores obtidos com os do REH e efetuar um estudo por forma a determinar qual o melhor cenário de reabilitação tendo em conta o GWP ótimo.

Através da introdução das características e dos materiais utilizados na fase inicial de um edifício e respetiva reabilitação, a metodologia permite quantificar as necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias, energia global primária e respetivos impactes ambientais associados desde as fases mais preliminares de projeto.

Foram assim desenvolvidas as seguintes etapas:

- ✓ Aplicação da metodologia a um caso de estudo;
- ✓ Introdução do mesmo caso de estudo no programa do REH;
- ✓ Comparação entre os valores obtidos em ambos os programas;
- ✓ Introdução de todas as soluções e equipamentos utilizados na reabilitação do edifício na metodologia;
- ✓ Aplicação dessas mesmas soluções e equipamentos a quatro cidades distintas de Portugal.

No que diz respeito à comparação efetuada entre os resultados devolvidos pela metodologia e pelo REH verificaram-se algumas diferenças, que se devem sobretudo aos dados climáticos considerados, que por serem distintos levam a resultados diferentes, que se realçam principalmente em Vila Real. Assim se considera que a metodologia é fiável, que se encontra em condições de ser inserida no mercado de trabalho e é uma ferramenta muito útil para ser utilizada desde as fases mais preliminares de projeto, pois como já foi referido permite além de determinar as necessidades energéticas, determinar ainda os impactes ambientais decorrentes da construção ou reabilitação de um edifício, que é um aspeto fundamental tendo em conta

a preocupação atual com a emissão de gases de efeito de estufa e com o desempenho energético dos edifícios.

Relativamente ao caso de estudo optou-se pelo edifício unifamiliar com tipologia T2 construído antes da década de 60, uma vez que caracteriza o edifício tipo português e dado o estudo abranger quatro cidades portuguesas e num contexto de reabilitação faz todo o sentido que se opte por esse edifício e dessa época, além de que o seu potencial de reabilitação energético é elevado.

No que concerne ao estudo realizado na segunda parte desta dissertação e o aspeto mais importante da mesma pode concluir-se que independente da localização a escolha do vetor energético para aquecimento, arrefecimento e preparação de aquecimento de águas quentes sanitárias é o fator mais influência no valor do potencial de aquecimento global. Como se pode verificar em Vila Real para combinação de equipamentos C2, que utiliza gás natural para o aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias, a partir do momento em que começa a ser necessário arrefecer o edifício, que utiliza eletricidade como vetor energético para esse fim, o valor do GWP sobe bastante. Tendo em conta essa análise o vetor energético a escolher numa perspetiva de menor potencial de aquecimento global seria a biomassa *–pellets* de madeira ou então o gás natural.

De entre os quatros isolamentos utilizados a cortiça é o isolamento que leva um maior potencial de aquecimento global e maior energia durante a fase de utilização dado ser o material com maior condutibilidade térmica, o que leva a um coeficiente de transmissão térmica mais elevado e por sua vez o valor das necessidades energéticas será também mais elevado do que com os outros isolamentos. Por sua vez o XPS é o isolamento que leva a um menor consumo de energia, tendo em conta que é o isolamento com menor condutibilidade térmica. Em termos de menor energia de utilização associada a menor valor do potencial de aquecimento global o isolamento mais adequado é a lã de rocha, que como se viu em todas as combinações analisadas é o isolamento que leva a melhores resultados, seguindo o EPS uma tendência muito idêntica.

No que concerne ao desempenho energético do edifício conclui-se, como já seria esperado que quanto maior a eficiência energética de um equipamento melhor o seu desempenho e menor a energia consumida durante fase de utilização de um edifício. De entre os equipamentos utilizados os que permitem obter um melhor desempenho

energético são o solar térmico, as bombas de calor e o ar condicionado, que possuem grande eficiência comparando com as caldeiras ou mesmo os termoacumuladores. Como se pode verificar na análise de resultados as combinações de equipamentos que possuem estes equipamentos, C3 e C4 são as que utilizam menor energia durante a fase de utilização, sendo as diferenças bastante notórias quando comparadas com C1, C2 e C5.

O aquecimento é o fator que mais influencia a energia consumida durante a fase de utilização, tendo em conta que é a necessidade energética presente em todas as localidades que apresenta valores mais elevados, pelo que a aposta num equipamento eficiente para este fim é fundamental. De salientar ainda a preparação das águas quentes sanitárias, que à exceção de Beja para os primeiros cenários de reabilitação, é a segunda necessidade com mais peso na energia consumida durante a fase de utilização.

Em suma pode concluir-se que a localização do edifício não afetou de forma direta os resultados. A otimização do potencial de aquecimento global ocorre sempre para a mesma combinação de equipamentos, assim como a otimização da energia durante a fase de utilização. Os valores sofrem apenas pequenas oscilações consoante o aumento ou a diminuição das necessidades de aquecimento e arrefecimento de cidade para cidade.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS PROPOSTOS

O trabalho desenvolvido teve em conta o desempenho energético dos edifícios e sobretudo a redução do potencial de aquecimento global. São dois aspetos cada vez mais importantes, contudo para a maioria das pessoas o que continua a influenciar na hora de escolher uma solução construtiva em detrimento de outra continua a ser o custo. Tendo em conta este facto seria interessante incluir o custo no estudo efetuado, verificando qual a relação do mesmo com os cenários ótimos de reabilitação atingidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Manuela; Ferreira, Marco; Guedes de Rodrigues, Ana. 2013. *Artigo Científico: Cost optimality and nZEB target in the renovation of Portuguese building stock - Rainha Dona Leonor neighborhood case study*

Almeida, Manuela; Ferreira, Marco; Pereira, Micael. 2013. *Artigo Científico: Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960.*

Bragança, L; Mateus, R. 2011. *Avaliação do ciclo de vida dos edifícios-impacte ambiental de soluções construtivas.* iiSBE Portugal.

Bragança, L Mateus, Ricardo Gouveia, M, 2011. *Construção sustentável: o novo paradigma do sector da construção.* Portugal: Universidade do Minho.

EN 15316. 2006. *Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies.* CEN/TC 228.

EN 15316-3-1. 2007. *Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 3-1: Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements).* CEN–European Committee for Standardization.

Fonte, Raquel. 2014. *Dissertação de mestrado: Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios.* Universidade do Minho, Guimarães.

ISO 13790. 2008. *Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.* CEN – European Committee for Standardization.

prEN 15603. 2007. *Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings.* CEN – European Committee for Standardization.

Torgal, Fernando Pacheco; Jalali, Said. *A sustentabilidade dos materiais de construção*. 2.ed. Portugal: Tec Minho, 2010.

ANNEX 56. 2012. *Annex 56 homepage (online)*. Disponível em <http://www.iea-annex56.org/>

[Acedido em 23 de Fevereiro de 2014].

Agência portuguesa do ambiente. Disponível em <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=140> [Acedido em 29/10/2015]

Estratégia nacional para a energia. Disponível em https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572580233/Bruno%20Sa_David%20Figueiredo_Estrategia%20energetica%20nacional.pdf [Acedido em 11/11/2015]

Plano nacional para a eficiência energética Disponível em <http://www.adene.pt/programa/pnaee-2016-plano-nacional-de-acao-para-eficiencia-energetica-2016> [Acedido em 18/11/2015]

ADENE Disponível em <http://www.adene.pt/> [Acedido em 19/11/2015]

INE, Censos 2011 Disponível em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE [Acedido em 23/11/2015]