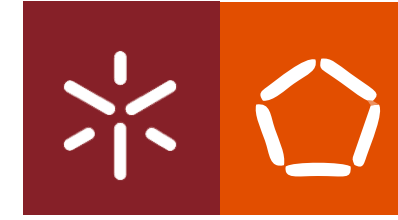




Ana Isabel Dias Silva

**Avaliação dos benefícios de ciclo de vida
resultantes da integração de sistemas
solares térmicos nos edifícios**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Isabel Dias Silva

**Avaliação dos benefícios de ciclo de vida
resultantes da integração de sistemas
solares térmicos nos edifícios**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho elaborado sob a orientação do
Professor Doutor Ricardo Mateus

setembro de 2017

Declaração

Nome: Ana Isabel Dias Silva

Endereço eletrónico: a61839@alunos.uminho.pt Telefone: 918454894 /253882046

Número de Bilhete de identidade: 14005303

Titulo dissertação /tese

Avaliação dos benefícios de ciclo de vida resultantes da integração de sistemas solares térmicos nos edifícios.

Orientador(es):

Professor Ricardo Mateus Ano de conclusão: 2017

Designação do Mestrado ou Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Mestrado integrado em Engenharia Civil

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, n.º máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, , MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

3. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, ____ / ____ / ____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Esta dissertação de mestrado é o culminar de uma longa caminhada cheia de alegria, tristezas e algumas vezes, indecisões, dedicação e realização do objetivo pessoal. É o fim de uma etapa que abre as portas a novos desafios e com eles bem o receio, a incerteza e a curiosidade, mesmo assim a parte que mais custa é despedir desta fase e das pessoas que se encontrou e que acabaram por fazer parte desta longa caminhada. E a todas estas pessoas deixo aqui o meu muito obrigada por me terem ajudado nesta fase e acima de tudo a crescer como pessoa.

O meu obrigado ao Professor Ricardo Mateus pela ajuda, contributo e cooperação o que me permitiu a realização deste trabalho. Quero também agradecer ao Arquiteto Jorge Fernandes pelo apoio e ajuda na utilização do software bem com a Professora Sandra Silva.

A toda a minha família, em especial aos meus pais e aos meus irmãos agradeço a motivação e o apoio. Muito obrigada ao meu namorado e a todos os meus amigos que fazem parte da minha vida e estão comigo em todos momentos, sorrisos e lágrimas e fazem de nós o que somos hoje.

Resumo

Atualmente, fala-se muito do aproveitamento de fontes de energia renovável bem com da instalação de sistemas solares térmicos para a preparação das águas quentes sanitárias (AQS), de forma a reduzir a quantidade de energia não renovável consumida para esse efeito. As metas propostas para se cumprir os objetivos do Horizonte 2020 levam a que seja necessária a avaliação dos benefícios associados à colocação de sistemas solares térmicos nos edifícios.

Neste sentido, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar os benefícios de ciclo de vida da colocação de sistemas solares térmicos. Foram analisados os benefícios associados à integração de diferentes sistemas solares térmicos, nomeadamente do sistema solar térmico padrão e de um sistema alternativo em desenvolvimento - o sistema solar térmico integrado em caleiras (H2OSS) – num edifício tipo das décadas 60 – 90.

A metodologia baseou-se na análise do desempenho ambiental de diversos cenários, que representam diferentes abordagens de projeto, ou seja analisado o edifício sem medidas de reabilitação e com a aplicação de uma reabilitação conjugado com a integração do sistema solar térmico padrão e o sistema H2OSS para satisfazer várias percentagens de AQS. Assim, foi possível identificar quais os cenários que apresentam maior desempenho ambiental e verificar qual a área do sistema H2OSS mais apropriada a cada caso específico.

Os resultados deste estudo demonstram que a colocação de sistemas solares térmicos é uma mais-valia ambiental, pois permite diminuir em 50% a quantidade de energia não renovável consumida na fase de utilização dos edifícios para a preparação das AQS e, consequentemente, reduzir os potenciais impactos ambientais de ciclo de vida dos edifícios.

Palavras-Chave: Integração, sistemas solares térmicos, impacto ambiental, AQS.

Abstract

Currently, issues related to the use of renewable energy sources have played an important role, particularly the installation of solar thermal systems for hot water preparation (AQS) in order to reduce the amount of non-renewable energy consumed for that purpose. The proposed targets for achieving the Horizon 2020 objectives lead to the need to assess the benefits associated with the placement of solar thermal systems in buildings.

In this sense, the main objective of this work is to evaluate the life-cycle benefits of the placement of solar thermal systems. In order to do so, the benefits associated with the integration of different solar thermal systems in a typical building from the 60s - 90s, namely the standard solar thermal system and an alternative system in development - the integrated solar thermal system in gutters (H2OSS), were analyzed.

The methodology was based on the analysis of the environmental performance of several scenarios representing different design approaches, ie, the building was analyzed without rehabilitation measures and with the application of a rehabilitation coupled with the integration of the standard solar thermal system and the H2OSS system to satisfy several percentages of AQS. Therefore, it was possible to identify which scenarios have the highest environmental performance and to verify which area of the H2OSS system is most appropriate for each specific case.

The results of this study demonstrate that the placement of solar thermal systems is an environmental gain, since it allows to reduce by 50% the amount of non-renewable energy consumed in the phase of use of the buildings for the preparation of the AQS and, consequently, to reduce the potential Impacts of buildings.

Keywords: Integration, solar thermal systems, environmental impact, AQS.

Índice

1.1	Introdução	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da dissertação	4
CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE		7
2.1	Construção e Sustentabilidade	7
2.1.1	Desenvolvimento Sustentável	7
2.1.2	Construção sustentável	8
2.2	Sistemas solares	10
2.2.1	Coletores solares	10
I.	Coletor plano	10
II.	Coletores concentradores	11
III.	CPC ou coletor concentrado parabólico composto	11
IV.	Coletores de tubo de vácuo	12
2.2.2	Diferentes sistemas que usam os coletores solares	13
I.	Sistemas de circulação Natural ou Sistemas termossifão.....	13
II.	Sistemas de circulação forçada	14
III.	Sistemas integrados na construção – exemplo do sistema H2OSS.....	15
2.3	Integração de sistemas solares térmicos nos edifícios	16
2.3.1	Enquadramento.....	16
2.3.2	Análise dos benefícios de ciclo de vida da integração de sistemas solares térmicos em edifícios	18
I.	Impactes Ambientais	18

II. Desempenho energético.....	19
III. Custo-benefício.....	19
CAPITULO 3 – METODOLOGIA	21
3.1 Cenários de localização geográfica. Sistema utilizado e qualidade da envolvente... 21	21
3.2 Avaliação do consumo energético.....	21
3.3 Avaliação do impacte ambiental	22
3.3.1 Avaliação do impacte ambiental incorporado no Edifício.....	24
a) Coletor solar térmico padrão	25
b) Coletor solar térmico integrado nas caleiras (H2OSS).....	26
3.3.3 Energia.....	29
CAPITULO 4 – APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	31
4.1 Apresentação do edifício tipo.....	31
4.2 Apresentação dos cenários de reabilitação.....	33
CAPITULO 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37
5.1 Simulação dinâmica	37
5.2 Impactes ambientais antes da reabilitação.....	45
5.3 Depois da reabilitação	53
5.4 Sistemas solares térmicos.....	60
5.4.1 Sistema solar térmico padrão.....	61
5.4.2 Sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS.....	69
5.4.3 Análise dos sistemas térmicos usados	79
5.5 Diferentes cenários	85

5.5.1	Apresentação dos impactes ambientais totais para cada cenário	86
I.	Cenário base	86
II.	Cenário 1	87
III.	Cenário 2	89
IV.	Cenário 3	91
V.	Cenário 4	93
VI.	Cenário 5	95
VII.	Cenário 6	97
VIII.	Cenário 7	99
IX.	Cenário 8	101
X.	Cenário 9	103
XI.	Cenário 10	105
XII.	Cenário 11	107
XIII.	Cenário 12	109
XIV.	Cenário 13	110
5.5.2	Discussão dos resultados	112
5.6	Análise do tempo de retorno do GWP	120
5.6.1	Apresentação dos resultados	121
I.	Cenário 1 a 6	121
II.	Cenário 7 a 13	123
5.6.2	Discussão dos resultados	123

CAPITULO 6 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	127
6.1 Conclusões gerais	127
6.2 Perspetivas futuras.....	128
Referencias Bibliográficas	130

Índice de figuras

Figura 1 – Representação do Coletor Concentrado Parabólico Composto ou CPC	12
Figura 2 – Exemplo do efeito final após colocação do sistema H2OSS	15
Figura 3 – Corte transversal do sistema a aplicar na caleira	16
Figura 4 – Repartição do parque existente pelas épocas de construção	31
Figura 5 – Modelo 3D do edifício-tipo, modelado no DesignBuilder.....	33
Figura 6 - Representação do Potencial de Aquecimento Global da fase de utilização do edifício antes e depois da reabilitação, para as localizações de Portugal	55
Figura 7 – Representação do Potencial de Aquecimento Global da fase de utilização do edifício antes e depois da reabilitação, para as localizações da Europa	57
Figura 8 – Contribuição da fase de construção e utilização do sistema solar térmico padrão para os impactes totais – análise do Potencial de Aquecimento Global (GWP).....	68
Figura 9 – Valores do Potencial de Aquecimento Global para a colocação e utilização do esquentador a gás e do sistema solar térmico padrão	69
Figura 10 – Contribuição de cada fase do ciclo de vida do Sistema solar térmico integrado nas caleiras H2OSS – análise do Potencial de aquecimento global (GWP).....	79
Figura 11 – Diferença do Potencial de Aquecimento Global – GWP, total de impactes ambientais entre o sistema solar térmico padrão e o integrado nas caleiras H2OSS	80
Figura 12 - Diferença dos valores do Potencial de Aquecimento Global na fase da construção entre o sistema solar térmico padrão e o integrado nas caleiras H2OSS.....	81
Figura 13 – Diferença dos impactes ambientais na fase de utilização/operação entre o sistemas solar térmico padrão e o integrado nas caleiras H2OSS, para a categoria de impacte GWP ...	82
Figura 14 – Contribuição do sistema solar térmico padrão no total dos impactes ambientais.	83
Figura 15 - Contribuição de cada fase do ciclo de vida do sistema solar térmico padrão e do edifício.....	83
Figura 16 – Contribuição do sistema solar térmico integrado nas caleiras, H2OSS, no total dos impactes ambientais de ciclo de vida do edifício	84

Figura 17 – Contribuição de cada fase do ciclo de vida do sistema H2OSS e do edifício onde foi integrado	85
Figura 18 - Contribuição das diferentes fases de ciclo de vida para os impactes ambientais totais do cenário 2, considerando o potencial de aquecimento global	113
Figura 19 – Edifício que representa o modelo base com a alteração da cobertura e colocação do sistema H2OSS	115
Figura 20 - Relação entre a área de coletor usada e as necessidades energéticas satisfeitas para o sistema H2OSS	116
Figura 21 - Contribuição das diferentes fases do ciclo de vida para os impactes totais no cenário 1 (Análise da categoria de impacte GWP)	117
Figura 22 - Contribuição das diferentes fases do ciclo de vida para os impactes totais no cenário 8 (Análise da categoria de impacte GWP)	118
Figura 23 - Contribuição das diferentes fases do ciclo de vida para os impactes totais no cenário 10 (Análise da categoria de impacte GWP)	120
Figura 24 – Valores do GWP acumulados ao longo da vida útil (30 anos), para a localização de Bragança dos cenários 1 a 6	121
Figura 25 – Tempo de retorno do valor do GWP para a localização de Bragança no cenário 1	122
Figura 26 - Valores do GWP acumulados ao longo da vida útil (30 anos), para a localização de Bragança dos cenários 7 a 13	123

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Categorias de impacte e corresponde método de avaliação de impacte ambiental de ciclo do vida (AICV)	23
Tabela 2 - Inventário do sistema H2OSS	27
Tabela 3 - Características da envolvente exterior do edifício-tipo	32
Tabela 4 - Valores de U da envolvente após reabilitação.....	34
Tabela 5 - Descrição dos cenários considerados no estudo.....	35
Tabela 6 – Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário base.....	37
Tabela 7 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 1.....	38
Tabela 8 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 2.....	38
Tabela 9 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 3.....	39
Tabela 10 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 4.....	39
Tabela 11 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 5.....	40
Tabela 12 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 6.....	40
Tabela 13 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 7.....	41
Tabela 14 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 8.....	42
Tabela 15 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 9.....	42
Tabela 16 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 10.....	43
Tabela 17 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 11.....	43
Tabela 18 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 12.....	44
Tabela 19 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 13.....	44
Tabela 20 - Total de impactes associados à construção do edifício – modelo base, incluindo o equipamento para preparação da AQS	45
Tabela 21 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações portuguesas – modelo base	47

Tabela 22 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações europeias – modelo base.....	48
Tabela 23 - Total de impactes associados à reciclagem do vidro e alumínio presentes no edifício – modelo base	49
Tabela 24 - Total de impactes do edifício nas localizações de Portugal – modelo base (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)	50
Tabela 25 - Total de impactes do edifício nas localizações da Europa – modelo base (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)	52
Tabela 26 - Total de impactes associados à construção do edifício – modelo ótimo, incluindo o equipamento para preparação da AQS	53
Tabela 27 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações portuguesas – modelo ótimo.....	54
Tabela 28 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações europeias – modelo ótimo	56
Tabela 29 - Total de impactes associados à reciclagem (benefícios ambientais) do vidro presente no edifício – modelo ótimo.....	58
Tabela 30 - Total de impactes do edifício nas localizações de Portugal – modelo ótimo (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)	59
Tabela 31 - Total de impactes do edifício nas localizações da Europa – modelo ótimo (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)	60
Tabela 32 - Impactes associados à construção do sistema solar térmico padrão, incluindo a sua produção e montagem	61
Tabela 33 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico padrão em Portugal	62
Tabela 34 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico padrão nas localizações da Europa.....	63
Tabela 35 - Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico padrão, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre.....	64

Tabela 36 - Total de impactes do sistema solar térmico padrão em Portugal, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema.....	66
Tabela 37 - Total de impactes do sistema solar térmico padrão nas localizações europeias, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema.....	67
Tabela 38 - Área do coletor H2OSS nas respetivas localizações	70
Tabela 39 - Impactes associados à construção do sistema solar térmico H2OSS, incluindo a sua produção e montagem nas localizações portuguesas	71
Tabela 40 - Impactes associados à construção do sistema solar térmico H2OSS, incluindo a sua produção e montagem nas localizações europeias	72
Tabela 41 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico H2OSS em Portugal.....	73
Tabela 42 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico H2OSS nas localizações da Europa	74
Tabela 43 - Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico H2OSS, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre - Portugal	75
Tabela 44 - Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico H2OSS, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre - Europa	76
Tabela 45 - Total de impactes do sistema solar térmico H2OSS em Portugal, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema.....	77
Tabela 46 - Total de impactes do sistema solar térmico H2OSS nas localizações europeias, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema.....	78
Tabela 47 - Total de impactes ambientais do cenário base, para as localizações portuguesas	86
Tabela 48 - Total de impactes ambientais do cenário base, para as localizações da Europa ...	87
Tabela 49 - Total de impactes ambientais do cenário 1, para as localizações em Portugal	87
Tabela 50 - Total de impactes ambientais do cenário 1, para as localizações na Europa	88
Tabela 51 - Total de impactes ambientais do cenário 2, para as localizações em Portugal	89
Tabela 52 - Total de impactes ambientais do cenário 2, para as localizações na Europa	90
Tabela 53 - Total de impactes ambientais do cenário 3, para as localizações em Portugal	91

Tabela 54 - Total de impactes ambientais do cenário 3, para as localizações na Euro.....	92
Tabela 55 - Total de impactes ambientais do cenário 4, para as localizações em Portugal.....	93
Tabela 56 - Total de impactes ambientais do cenário 4, para as localizações na Europa.....	94
Tabela 57 - Total de impactes ambientais do cenário 5, para as localizações em Portugal.....	95
Tabela 58 - Total de impactes ambientais do cenário 5, para as localizações na Europa.....	96
Tabela 59 - Total de impactes ambientais do cenário 6, para as localizações em Portugal.....	97
Tabela 60 - Total de impactes ambientais do cenário 6, para as localizações na Europa.....	98
Tabela 61 - Total de impactes ambientais do cenário 7, para as localizações em Portugal.....	99
Tabela 62 - Total de impactes ambientais do cenário 7, para as localizações na Europa.....	100
Tabela 63 - Total de impactes ambientais do cenário 8, para as localizações em Portugal...	101
Tabela 64 - Total de impactes ambientais do cenário 8, para as localizações na Europa.....	102
Tabela 65 - Total de impactes ambientais do cenário 9, para as localizações em Portugal...	103
Tabela 66 - Total de impactes ambientais do cenário 9, para as localizações na Europa.....	104
Tabela 67 - Total de impactes ambientais do cenário 10, para as localizações em Portugal.	105
Tabela 68 - Total de impactes ambientais do cenário 10, para as localizações na Europa....	106
Tabela 69 - Total de impactes ambientais do cenário 11, para as localizações em Portugal.	107
Tabela 70 - Total de impactes ambientais do cenário 11, para as localizações na Europa....	108
Tabela 71 - Total de impactes ambientais do cenário 12, para as localizações em Portugal.	109
Tabela 72 - Total de impactes ambientais do cenário 12, para as localizações na Europa....	109
Tabela 73 - Total de impactes ambientais do cenário 13, para as localizações em Portugal.	110
Tabela 74 - Total de impactes ambientais do cenário 13, para as localizações na Europa....	111
Tabela 75 – Áreas do coletor H2OSS para os cenários 2 a 6.....	114
Tabela 76 – Áreas do coletor H2OSS para os cenários 9 a 13	119
Tabela 77 – Tempo de retornos dos cenários 1 a 6.....	122
Tabela 78 – Tempo de retorno do Potencial de Aquecimento Global para os respetivos cenários	125

Lista de Acrónimos

ADENE – Agência para a energia;

ACV – Avaliação do ciclo de vida;

AICV - Avaliação dos Impactes Ambientais de Ciclo de Vida;

AQS – Água quente sanitária;

CPC – Coletor parabólico concentrado;

COP – Coeficiente de performance;

EPBD – Direção de desempenho energético em edifícios;

EPS – Poliestireno expandido;

ETICS – Sistemas compostos de isolamento térmico externo;

INETI – Instituto nacional de engenharia, tecnologia e inovação;

LCA – Avaliação do ciclo de vida;

nZEB – Edifício com necessidades quase nulas de energia;

ONU – Organização das Nações Unidas;

PVC – Policloreto de vinil;

REH – Regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação;

SCE – Sistema de Certificação energética;

U – Coeficiente de transmissão térmica.

CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

Nos últimos anos cada vez mais se fala de um desenvolvimento sustentável que passa pela racionalização dos consumos energéticos e a exploração de fontes de energia renovável. O termo sustentável surge na década de 80 através do Relatório Brundtland em que referia que o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais da sociedade sem comprometer as necessidades das gerações futuras (Brundtland, 1987).

Segundo Bragança (2013) para que os edifícios em Portugal se tornem sustentáveis ainda há um longo caminho a percorrer, embora já se comece a verificar uma maior apetência por parte dos consumidores na implementação prática da sustentabilidade na edificação. Um edifício sustentável deve melhorar a vida quotidiana das pessoas e minimizar os potenciais impactes provocados no meio ambiente.

O setor da construção é um dos maiores responsáveis pelos impactes ambientais das atividades humanas, pelo elevado contributo no consumo de energia não renovável e é um dos que mais peso apresenta na economia mundial. A energia consumida pelos edifícios representa 25% do total nacional, aumentando para quase 40% nas grandes cidades, devido também ao aumento da população nos centros urbanos (Correia Guedes et al., 2009).

Neste âmbito, é importante reduzir a dependência da energia não renovável nos edifícios através da introdução de tecnologias mais limpas e energeticamente mais eficientes, uma vez que o consumo de energia é um dos maiores entraves para uma construção sustentável. Para resolver este problema, a União Europeia tem vindo a promover um conjunto de medidas para a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. É neste contexto que surge a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios - EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). Para além de outros requisitos, a EPBD estabelece que todos os Estados-Membros implementem um sistema de certificação energética nos edifícios. Revista em 2010 como Diretiva nº 2010/31/CE, a nova versão da EPBD (EPBD – *recast*) trás um conjunto de novos desafios, parte deles alavancados com o Certificado Energético (ADENE, 2016).

Os principais desafios propostos pela revisão da EPBD (EPBD – *recast*) são a introdução de requisitos mínimos de desempenho energético para edifícios, elementos construtivos e sistemas técnicos de edifícios; estabelecimento destes requisitos com base numa metodologia para o cálculo de níveis ótimos de rentabilidade, que visa os custos durante o ciclo de vida do edifício e, a partir de 2020, todos os edifícios novos devem ser edifícios com necessidades quase nulas de energia (Cardoso, 2011).

Deste modo, pretende-se que, a partir de 2020, os edifícios passem a ser nZEB (*nearly Zero Energy Buildings* – edifícios com necessidades energéticas quase nulas), em que as necessidades de energia sejam quase nulas ou muito pequenas, sendo as remanescentes compensadas por fontes renováveis.

Segundo Costa, Bragança e Mateus (2014) a escolha dos equipamentos de climatização e de AQS é o aspeto que mais influencia o valor das necessidades globais de energia. Assim a obtenção de edifícios com um balanço energético nulo implica a opção por equipamentos que usam fontes de energia renováveis (Costa, Bragança, Mateus, 2014), levando assim a afirmar que a integração de sistemas solares térmicos em edifícios unifamiliares é uma medida de importante relevo no que diz respeito ao cumprimento dos desafios propostos a Portugal em termos energéticos.

Em dezembro de 2013 entrou em vigor o novo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (Diário da República, 2013).

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação - REH nos edifícios novos, assim como nas grandes reabilitações onde se verifique a preparação de águas quentes sanitárias (AQS), devem-se instalar obrigatoriamente sistemas solares térmicos para o aquecimento das mesmas, ou outros sistemas que garantam a produção de energia renovável equivalente ao sistema solar térmico, numa base anual. Ou seja, impõe-se esta solução quer a mesma seja económica ou não.

Atualmente, a sociedade preocupa-se cada vez mais em solidificar os pilares da sustentabilidade, surge então a necessidade de avaliar os benefícios provenientes da instalação

destes sistemas bem como da avaliação do ciclo de vida e da sustentabilidade dos edifícios, aquando da integração dos coletores solares.

Apesar de se saber que a integração de sistemas solares térmicos tem benefícios é necessário verificar se esses benefícios, relacionados com o aproveitamento de energia solar em substituição da energia não-renovável, proveniente em geral da combustão de recursos fósseis, são maiores do que os custos ambientais e económicos relacionados com a implementação desses sistemas. Assim, espera-se com este trabalho obter uma análise que permita relacionar os custos com os benefícios associados à integração de diferentes tipos de sistemas solares térmicos nos edifícios. Esta análise será realizada com base num caso de estudo.

1.2 Objetivos

A utilização de energia solar nos edifícios passou a ser vista a nível europeu como um fator importante na promoção da sustentabilidade do setor da construção. Contudo, a sociedade portuguesa, não está, em geral, sensibilizada para os benefícios da utilização de sistemas solares térmicos, apesar de atualmente estes sistemas serem valorizados quando se pretende um edifício ou uma operação de reabilitação sustentável.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar os benefícios de ciclo de vida (ambientais) resultantes da integração de sistemas solares térmicos em edifícios unifamiliares. Estes sistemas contribuem para a redução do consumo de energia não-renovável na preparação das águas quentes sanitárias (AQS), estando o benefício ambiental decorrente da sua utilização associado à quantidade de energia primária não-renovável que é substituída pelo aproveitamento da radiação solar. Por outro lado, existem custos e impactes associados à integração destes sistemas, que importa estudar e verificar se, numa perspetiva de ciclo de vida, são compensados durante a vida útil deste tipo de sistemas.

Os vários sistemas existentes, que podem ser instalados nos edifícios unifamiliares, possuem diferentes níveis de eficiência, sendo necessário obter para cada um a relação entre os impactes incorporados e os benefícios decorrentes da sua utilização. Visto que em Portugal não existe nenhum estudo nem método que permita a análise custo/benefício da utilização destes sistemas, este trabalho vem colmatar essa deficiência, identificada na análise do atual estado-da-arte. Para além de serem usados diferentes sistemas num caso de estudo também

vão ser testadas várias zonas climáticas de Portugal, de modo a verificar de que forma as condições climáticas locais influenciam a viabilidade dos mesmos.

Com os resultados esperados pretende-se ajudar os projetistas a tomarem as decisões (escolha do sistema) que permitam otimizar o desempenho dos edifícios (em termos ambientais e económicos), ou seja tornando os edifícios em particular, e o ambiente construído em geral, mais sustentáveis.

1.3 Estrutura da dissertação

As diferentes temáticas abordadas nesta dissertação encontram-se divididas em seis capítulos, cujo conteúdo apresenta a seguinte estrutura:

✓ **Capítulo 1 – Fundamentação e objetivos**

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento da dissertação, com o intuito de introduzir o tema e os objetivos da mesma.

✓ **Capítulo 2 – Estado de Arte**

Aqui é descrita uma visão geral do atual estado de arte, abordando os principais aspetos que envolvem a temática de estudo. Este capítulo é composto por um breve enquadramento do conceito de construção sustentável seguido da apresentação dos vários sistemas solares térmicos existentes, de modo a facilitar a compreensão dos conteúdos abordados nos capítulos posteriores. Para finalizar, são discutidos alguns dos desafios atuais, no que se refere à implementação de sistemas solares térmicos nos edifícios.

✓ **Capítulo 3 – Metodologia**

Este capítulo apresenta as etapas importantes para a realização deste trabalho. A primeira etapa é apresentação dos cenários de localização geográfica, os sistemas utilizados e a qualidade da envolvente. A segunda é avaliação do consumo energético e a terceira é a avaliação dos impactes ambientais.

✓ **Capítulo 4 – Apresentação do caso de estudo**

No capítulo quatro é exposto o edifício-tipo estudado bem como todas as suas características essenciais para o desenvolvimento do trabalho e a descrição dos diferentes cenários considerados ao longo do estudo.

✓ **Capítulo 5 - Apresentação e discussão dos resultados**

No quinto capítulo, são apresentados os resultados obtidos nas simulações e avaliação dos impactes ambientais nos diferentes cenários. Por fim é feita a análise dos dados obtidos.

✓ **Capítulo 6 – Conclusões e perspetivas futuras**

Contém as conclusões referentes a todo o trabalho efetuado no âmbito deste estudo, sendo também apresentados os trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

2.1 Construção e Sustentabilidade

2.1.1 Desenvolvimento Sustentável

O conceito de sustentabilidade derivou da designação de desenvolvimento sustentável que apareceu no final do século XX, uma vez que se constatou que o desenvolvimento económico tem que ter em conta o equilíbrio ambiental bem como a preservação da qualidade de vida das populações.

Em 1987 no Relatório de Brundtland – "O Nosso Futuro Comum" – é apresentado um dos conceitos mais importantes ao nível ambiental, o conceito de Desenvolvimento Sustentável definido como: "desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras darem resposta às delas". Em 1992, no Rio de Janeiro, realizou-se a "Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento" onde o termo de desenvolvimento sustentável foi firmemente reconhecido, sendo incluído nas atas do evento com o objetivo de ter repercussões em todo o mundo (Pinheiro, 2006).

Em 2002, em Joanesburgo, foi assinada a *Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável*, onde foi afirmado que o desenvolvimento sustentável é contruído sobre três pilares independentes e mutuamente sustentados, nomeadamente o desenvolvimento económico, o desenvolvimento social e o desenvolvimento ambiental.

O desenvolvimento sustentável é um tema que, devido à sua elevada importância, estará cada vez mais na ordem do dia. A materialização deste conceito no setor da construção só é possível através de certos princípios desde as fases mais preliminares do projeto. Segundo Mota & Mateus (2011), a fase de utilização é a que mais contribui para os impactes ambientais de ciclo de vida, representando cerca de 59% dos impactes totais. A diminuição do impacte ambiental do edifício é mais notável quando se atua ao nível da redução dos consumos energéticos de energia não-renovável e renovável durante a fase de utilização, ou seja da energia geral.

A sustentabilidade procura assegurar os recursos quer para atividades atuais, quer para atividades futuras, englobando fatores ecológicos, económicos e sociais, e tendo sempre em

linha de conta qualquer uma destas vertentes, sem as quais não se concretiza efetivamente (Barroso, 2010).

2.1.2 Construção sustentável

A partir da década de 70, com a crise do petróleo, os projetistas voltaram as suas atenções para a eficiência energética dos edifícios sendo, provavelmente, a primeira grande preocupação com os recursos naturais. Consequentemente, as tentativas de resolver as necessidades dos edifícios do lado do consumo tornaram-se prioritárias, ou seja, se estas fossem maiores, o objetivo passava por maximizar a eficiência do edifício e evitar desperdícios (Vieira, 2007).

Em Novembro de 1994, foi efetuada a Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável (*First World Conference for Sustainable Construction, Tampa, Florida*), onde o futuro da construção, no contexto da sustentabilidade, foi abordado e discutido (Pinheiro, 2003).

Durante esta Primeira Conferência Mundial sobre a Construção Sustentável, Charles Kibert (1994) apresentou um conceito para a construção sustentável, definindo-a como a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente de recursos”, considerando o solo, os materiais, a energia e a água como os recursos mais importantes para a construção. Tendo em conta estes fatos Kibert estabeleceu os seguintes princípios da sustentabilidade na construção (Kibert, 1994):

- Minimizar o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização dos recursos;
- Utilizar recursos renovais e recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Criar um Ambiente saudável e não toxico;
- Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

Segundo Mateus (2004) o principal objetivo da construção civil é a conceção de um produto que satisfaça a funcionalidade requerida pelo dono de obra, com a segurança para o efeito das ações naturais e humanas e com as características de durabilidade que permitam uma boa utilização e uma redução da deterioração ao longo do ciclo de vida do edifício, tentando

construir de uma forma sustentável de modo a minimizar os impactos negativos no ambiente, na economia e na sociedade.

Para Miguel Amado et al. (2007) a construção sustentável procura responder às necessidades atuais minimizando os impactes ambientais através da concretização de vários objetivos, tais como: o aumento do ciclo de vida das construções, economia de energia, água e materiais, utilizando materiais reutilizados de origem natural e local, e reciclagem de resíduos associados ao fim de vida de outras construções.

A qualidade dos edifícios tem grande impacto nas condições ambientais e sociais das populações. Através da construção sustentável pode-se garantir melhorias a nível ambiental e na qualidade de vida. Esta aparece naturalmente ligada à energia e aos recursos naturais, essenciais à vida do ser humano e a toda a vida terrestre (Pinheiro, 2006).

Os projetistas e os construtores são os responsáveis pela introdução de melhorias, pois são eles que, na fase de projeto planeiam qual vai ser o tipo de energia a utilizar, qual o nível de conforto dos seus ocupantes, quais os equipamentos energéticos a utilizar, no geral, e qual o consumo de energia que o edifício irá ter ao longo do seu tempo de vida (Barroso, 2010).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), mais de 2/3 da população mundial irá estar a viver nas cidades em 2030, aumentando assim a pressão sobre a habitação, serviços, recursos e ambiente. Este crescente demográfico previsto leva a que haja um aumento também na urbanização proporcionando um desenvolvimento económico e social. Estes fatores exercem uma pressão enorme no meio ambiente, visto que esgotam recursos e aumentam resíduos, sendo assim necessário haver um controlo na construção nomeadamente um aumento da eficiência dos processos e materiais utilizados nesta, para que o consumo de recursos seja menor.

Em Portugal o setor habitacional contribui com 17,7% do consumo de energia final em termos nacionais, ou seja, representando cerca de 30% do consumo de eletricidade, o que leva, desde de logo, à necessidade em moderar especialmente o consumo de eletricidade (ADENE, 2012).

2.2 Sistemas solares

A energia solar pode ser aproveitada utilizando aparelhos de aquecimento de água, como sistemas solares térmicos. Para além disso pode ainda ter instalações fotovoltaicas que transformam a radiação solar em energia elétrica a qual pode ser consumida pela própria habitação ou colocada na rede. Existem ainda as instalações mistas que conjugam os sistemas térmicos com os de produção de eletricidade.

Neste trabalho focam-se os sistemas solares térmicos para a preparação das águas quentes sanitárias (AQS), escolhendo dentro destes os que se adaptam melhor às características do edifício tipo e diferentes localizações climáticas escolhidas.

2.2.1 Coletores solares

Os coletores solares são transferidores de calor especiais que transformam a energia solar em energia interna de um determinado meio transportador (Kalogirou, 2013). São a componente mais importante de qualquer sistema solar, uma vez que estabelecem a ligação entre a energia proveniente do sol e os utilizadores de água quente.

Assim, existem diferentes tecnologias e equipamentos cuja integração depende da gama de temperatura que se pretende atingir. Existem diversos tipos e formas de coletores, adequados a diferentes aplicações, com custos e níveis de desempenho específicos, que passam a ser descritos em seguida.

I. Coletor plano

Os coletores planos são os mais convencionais, são constituídos essencialmente por uma cobertura em vidro pois é um material que consegue transmitir cerca de 90% da radiação solar de ondas curtas enquanto reduz a passagem de radiação de onda longa, o que produz o desejável efeito de estufa. Esta cobertura pode ou não existir dependendo do fim para o qual este foi instalado. Quando não possui cobertura trata-se de um coletor simples que tem como finalidade pré-aquecer, uma vez que a temperatura que atinge é muito próxima da do ambiente. No que diz respeito ao coletor plano com cobertura este já atinge temperaturas mais elevadas que a ambiente, na ordem dos 150 a 200°C.

Para além da cobertura, este tipo de coletores possui ainda um sistema de passagem de fluido para remoção de calor; uma placa de absorção, pintada normalmente de uma cor escura como o preto; tubos coletores de admissão e descarga de fluido; e caixa envolvente isolada (Kalogirou, 2013).

Segundo a API solar, este foi o tipo de coletor mais usado em Portugal em 2013, não só porque apresenta uma boa relação rendimento/custo como é o mais barato em comparação com o coletor de tubos de vácuo ou o concentrado parabólico (GREEN PRO, 2004). Ainda tem como vantagem oferecer várias opções de montagem, nomeadamente, sobre o telhado, integrado no mesmo, montado na fachada ou ainda noutra local nas imediações do edifício.

Estes coletores são usados para a produção de água quente, pré-aquecimentos de água de processos industriais e aquecimento de águas de piscinas.

II. Coletores concentradores

Tal como o nome indica, este tipo de coletores possuem uma relação entre a área de captação e a área de receção maximizada. Estes coletores devem estar sempre perpendiculares aos raios solares, ou seja, tem que possuir um mecanismo que permita seguir a trajetória diurna do sol, sendo este o grande problema deste tipo de coletores porque o mecanismo que permite a rotação conforme a posição do sol é demasiado caro, o que torna o sistema muito dispendioso. É também uma desvantagem perante os outros tipos de coletores o fato de este só capturar a radiação que incide diretamente.

III. CPC ou coletor concentrado parabólico composto

Este tipo de coletores são o resultado da combinação de coletores planos com a capacidade de produzir temperaturas superiores a 70°C com os concentradores convencionais do tipo lente. A grande diferença entre estes coletores e os coletores planos é o tipo de ótica utilizada e a sua geometria da superfície de absorção.

Segundo Kalogirou (2013), são coletores capazes de absorver quase toda a radiação incidente, uma vez que conseguem captar a radiação direta e a difusa. Utilizam uma caleira em forma parabólica, como mostra a Figura 1, capaz de refletir a radiação para os coletores que são constituídos por duas alhetas unidas a um tubo formando uma geometria em acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície refletora, ou seja, a captação solar realiza-

se nas 2 faces da peça, uma vez que o raio incide na parte superior diretamente e na parte refletora levando o raio a ser absorvido pela parte inferior do coletor. Aumentando assim a quantidade de radiação absorvida podendo produzir temperaturas mais altas uma vez que existe uma diminuição das perdas de radiação.

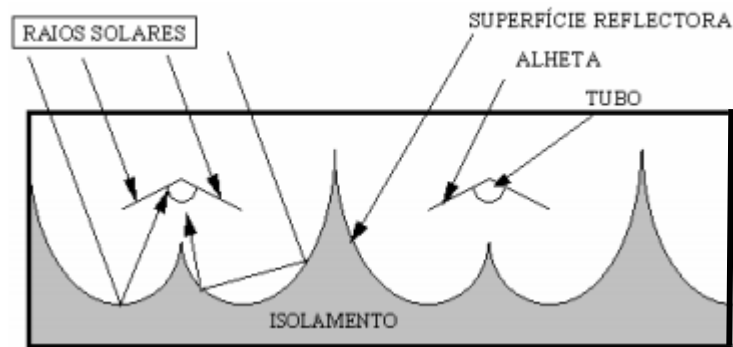


Figura 1 – Representação do Coletor Concentrado Parabólico Composto ou CPC (INETI, 2007)

Estes são utilizados principalmente na produção de água quente e no pré-aquecimento de água de processos industriais.

IV. Coletores de tubo de vácuo

Os coletores de tubos de vácuo são coletores solares em que a área de absorção se situa dentro de um tubo de vácuo. A envolvente de vácuo reduz as perdas por convexão e condução, podendo os coletores atingir temperaturas mais elevadas que os coletores planos, uma vez que o rendimento é maior. Mesmo com temperaturas de absorção na ordem dos 120°C os tubos de vidro permanecem frios no exterior. Tal como os coletores planos captam tanto a radiação direta como a indireta mas a sua eficiência é mais elevada, com baixos ângulos de incidência, ao contrário dos coletores planos (GREEN PRO, 2004).

Estes coletores funcionam absorvendo a radiação solar e a radiação difusa, que posteriormente é transferida ao tubo, em geral de cobre, no interior do qual circula um fluido térmico que entra em estado gasoso com o calor, subindo até ao ponto mais alto do tubo onde se encontra o condensador. Nesse condensador passa a água fria que se pretende aquecer, absorvendo o calor proveniente do vapor do fluido de trabalho, ficando assim quente. Ainda neste processo

o fluido passa para o estado líquido, voltando assim a base do tubo por gravidade e retomando o ciclo (Costa & Silva, 2014).

Coletores mais frágeis e mais caros do que os convencionais, tem bons resultados para temperaturas de fluidos elevados e temperaturas ambientes baixas, o que os torna num bom método para países mais frios.

2.2.2 Diferentes sistemas que usam os coletores solares

Os sistemas solares térmicos possuem pouca complexidade e podem ser aplicados na maioria dos edifícios, segundo alguns critérios. Destinam-se essencialmente à produção de água quente sanitária e também para o aquecimento e arrefecimento ambiente, mas estes últimos com menos frequência.

Um sistema solar térmico é constituído essencialmente por dois componentes, o coletor solar para a captação da energia solar e o depósito de acumulação da água quente. A oferta deste tipo de sistemas é diferenciada e com diversas ofertas ao nível do rendimento de conversão.

I. Sistemas de circulação Natural ou Sistemas termossifão

Este sistema consiste num conjunto de coletores ligados a um depósito bem isolado e posicionado a um nível mais alto que os coletores para que a água ou fluido de transferência de calor que é aquecido no coletor solar, circule do coletor para o depósito por convecção natural, isto é com o aumento da temperatura este fluido torna-se menos denso e provoca a circulação do fluido mais quente para o topo do depósito enquanto o fluido mais frio é empurrado para a parte inferior do depósito, que depois volta a entrar no coletor solar, ou seja existe circulação natural enquanto houver radiação. Havendo aumento do caudal de circulação com o aumento da intensidade da radiação solar, ou seja quanto maior for a intensidade de radiação maior será o caudal de circulação (Água Quente Solar, 2017b).

Como é um sistema autorregulado e isento de partes mecânicas ou controladores eletrónicos tem como vantagens ser a instalação mais barata, não consumir qualquer tipo de energia elétrica para a circulação do fluido, ser mais fiável uma vez que não esta sujeito a avarias mecânicas e ter um tempo de vida superior aos sistemas de circulação forçada (INETI, 2007).

Segundo o Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (2007), o fato do depósito e o coletor estarem juntos e o depósito estar obrigatoriamente acima do coletor faz com que o sistema seja alto, o que o torna por vezes um problema estético. Este problema surge associado ao fato de durante as horas da noite, ou nas diurnas em que não haja sol, a circulação poder-se inverter, arrefecendo a água do depósito, sendo por isso necessário existir um desnível mínimo entre o depósito e o coletor.

É um tipo de circulação aconselhável para pequenas instalações, mas estes sistemas não são muito usados em climas frios devido às perdas térmicas no depósito, podendo até haver o risco de congelamento do circuito (GREEN PRO, 2004).

II. Sistemas de circulação forçada

Segundo o programa Água Quente Solar (Água Quente Solar, 2017a) os sistemas de circulação forçada são caracterizados pela existência de uma bomba para forçar a circulação do fluido de transferência de calor entre os coletores e o depósito. Esta bomba é controlada por um controlo que reage à diferença de temperatura entre a água à saída do coletor e a temperatura da água na parte mais baixa do depósito, sendo esta diferença suficiente para permitir aquecer a água do depósito. Como no caso do sistema termossifão também há a probabilidade de inversão do sentido da circulação. Para impedir esta situação é necessário a instalação de uma válvula antirretorno.

Estes também são designados como sistemas ativos devido à existência da bomba para fazer circular o fluido. Mas neste caso o depósito não tem que ser colocado junto ao coletor podendo estar já no interior da habitação o que permite que esteja protegido das condições climatéricas adversas, evitando assim perdas térmicas elevadas que acontecem no depósito.

Os sistemas de circulação forçada são os mais fáceis de instalar, comparativamente com os sistemas termossifão quando se trata de instalações de grandes dimensões. Têm um custo mais elevado e necessitam de ser bem dimensionados para se obter um rendimento eficiente. Ainda de destacar outras desvantagens como, o espaço necessário no interior do edifício para a instalação do depósito de armazenamento e de outros equipamentos auxiliares, e o fato do sistema necessitar de energia para funcionar (Mexa, 2011).

A permuta de calor entre o circuito primário e o secundário pode realizar-se por transferência direta ou indireta. O que diferencia estes dois tipos de circulação forçada é o facto de que na

direta não existe um permutador de calor que faz a transferência entre o coletor e a água de consumo o que significa que o fluido de transferência de calor aquece diretamente a água para consumo que se encontra no depósito. Em relação á circulação forçada indireta o circuito do coletor é fechado havendo assim a necessidade da existência de um permutador de calor para fazer a transferência de calor do fluido do circuito primário (coletor) para a água de consumo (INETI, 2007).

III. Sistemas integrados na construção – exemplo do sistema H2OSS

Este sistema foi desenvolvido e testado na Universidade da Córsega, em França, e baseia-se na integração de coletores solares térmicos nas caleiras de recolha das águas pluviais, não causando assim impacto visual, sendo esta a grande vantagem deste sistema, tendo como função a produção de água quente.

Os módulos deste sistema são introduzidos nas caleiras tendo uma inclinação de 25°, em relação à horizontal, para evitar o efeito de sombreamento da própria calha. Sendo totalmente invisível a partir do nível do solo, como se pode verificar na Figura 2, a perceção da existência deste sistema é quase nula.



Figura 2 – Exemplo do efeito final após colocação do sistema H2OSS (Lamnatou et al., 2014)

Cada módulo deste sistema tem cerca de 1m de comprimento por 0,1m de largura, isto no que diz respeito a habitações unifamiliares, podendo também serem produzidos em larga escala para instalações maiores.

Este sistema é constituído por um absorvente de alta seletividade, uma tampa em vidro, um tubo para o fluxo de água fria, um tubo para o fluxo de água quente, isolamento térmico, involucro exterior e a calha inferior para a recolha das águas pluviais.

O sistema, como mostra a Figura 3, possui dois tubos dos fluxos de água, nomeadamente o de água quente e o de água fria, que podem variar a sua posição conforme o rendimento pretendido. Segundo Lamnatou et al. (2014), os mesmos coletores ligados em série mas com desnível dos tubos do fluxo de água (água quente e água fria), pode influenciar a produção de energia em cerca de 300 kWh/ano, em comparação com o sistema que utiliza os tubos ao mesmo nível.

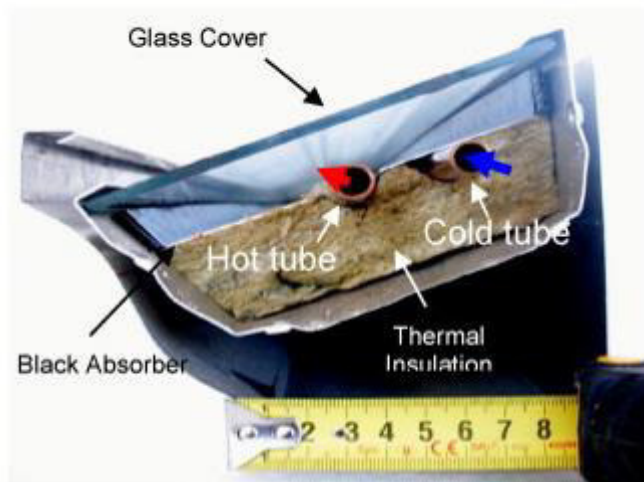


Figura 3 – Corte transversal do sistema a aplicar na calreira (Lamnatou et al., 2014)

Sendo assim os valores das características do sistema solar térmico integrado nas calleiras consideradas para o estudo foram as seguintes:

- Ligar os módulos em serie;
- Rendimento ótico de 89%;
- Coeficientes de perdas térmicas $a_1=13,50W/(m^2.K)$ e $a_2=0,014W/(m^2.K^2)$.

2.3 Integração de sistemas solares térmicos nos edifícios

2.3.1 Enquadramento

Os principais impactes ambientais da construção de edifícios estão principalmente associados ao consumo de energia para o aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. Estima-se

que nos edifícios convencionais na fase de utilização estes consomem cerca de 80 a 94% do total do consumo de energia do ciclo de vida, enquanto 6 a 20% é consumido na extração das matérias-primas, transporte e produção do edifício e menos de 1% no consumo para os cenários de fim de vida do edifício (Mateus et al., 2013).

Por esta razão nos edifícios, os projetistas devem procurar alternativas mais eficientes em termos energéticos, uma vez que estes são responsáveis, como já foi referido, por uma grande fatia da energia consumida. O desenvolvimento de edifícios energeticamente eficientes e a utilização de energia não poluente, como é o caso dos sistemas solares térmicos, contribuem para a diminuição dos impactes associados ao edifício durante o seu ciclo de vida, uma vez que desempenham um papel importante para a redução do consumo de energia no setor da construção.

Segundo o Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de Agosto a instalação de sistemas solares térmicos para o aquecimento de água quente sanitária num edifício novo ou sujeito a uma grande intervenção é obrigatória sempre que haja exposição solar adequada e desde que os sistemas de produção e de distribuição de água quente sanitária sejam parte dessa intervenção. Esta utilização de sistemas solares térmicos pode ser substituída por outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis desde que estes garantam uma energia equivalente à do sistema solar térmico em termos anuais.

No caso de Portugal, este tem uma posição privilegiada uma vez que o número médio anual de horas de sol varia entre 2200 a 3000, quando na Alemanha as horas solares são 1200 a 1700. No entanto, em 2002, 60% dos coletores solares instalado na Europa estavam na Alemanha (Direção Geral de Energia e Geologia, 2007).

Desde da crise do petróleo na década de 1970, desenvolveu-se investigação em todo o mundo no contexto dos recursos e sistemas de energias renováveis, para a substituição do petróleo. Atualmente, considera-se que os sistemas e fontes de energia renováveis podem ter um impacto benéfico sobre os aspetos técnicos, ambientais, económicos e políticos essenciais ao desenvolvimento sustentável.

2.3.2 Análise dos benefícios de ciclo de vida da integração de sistemas solares térmicos em edifícios

Os recursos energéticos e a sua utilização estão intimamente relacionados com o desenvolvimento sustentável. Para as sociedades atingirem ou ambicionarem o desenvolvimento sustentável, muito esforço deve ser dedicado não só para a descoberta de recursos energéticos sustentáveis, mas também para aumentar a eficiência energética dos processos que utilizam estes recursos. Sob estas circunstâncias, o aumento da eficiência da utilização de dispositivos de energia é importante.

O investimento em tecnologias de energias renováveis requer uma perspetiva de planeamento de longo prazo. As energias renováveis podem competir com os combustíveis fósseis, mas apenas quando os preços são amortizados ao longo da vida útil do projeto. O setor elétrico reestruturado representa uma ameaça para a viabilidade económica da indústria das energias renováveis, uma vez que o seu foco sobre os impactos financeiros não é a longo prazo. Uma solução para a iminente escassez de energia não-renovável é fazer muito mais uso de fontes de energia renováveis e de tecnologias mais eficientes.

I. Impactes Ambientais

Durante as duas últimas décadas o risco da degradação ambiental tornou-se mais evidente. Cada vez mais há provas de problemas ambientais devido a uma combinação de vários fatores, como: grande aumento da população mundial, crescimento do consumo de energia e aceleração da atividade industrial.

Debater sobre o assunto dos impactes ambientais dos sistemas solares térmicos é importante uma vez que estes possuem um grande potencial de redução da poluição ambiental, uma vez que segundo o estudo realizado por Kalogirou (2004), a utilização de sistemas solares térmicos tanto para o aquecimento do espaço, como para o aquecimento combinado de águas e do espaço, levam a uma poupança na eletricidade consumido pelo edifício. Esta redução é mais significativa quando estes sistemas são usados para o aquecimento do espaço uma vez que também é para esta função que é consumida mais energia elétrica, sendo de 80% para os sistemas só usados no aquecimento do espaço e de cerca de 40% na conjugação das 2 funções (Kalogirou, 2004).

A poupança de energia leva a que a sua produção baixe e por sua vez os impactes ambientais desta diminuam, visto que a produção de eletricidade tem um grande peso na pegada ecológica da humanidade, devido a emissão de gases durante a sua produção. Na Grécia durante o período de 1978-2007 houve uma redução da emissão de CO₂ de 44,7% devido ao uso de sistemas solares térmicos, isto tudo porque não se consumiu a mesma quantidade de energia elétrica (Tsilingiridis & Martinopoulos, 2010).

II. Desempenho energético

Muitos destes sistemas podem ser usados com a finalidade de preparar as AQS, levando assim a diferentes desempenhos energéticos e ambientais. Existem sistemas aplicados normalmente em climas mais frios, uma vez que tem que estar preparados para as baixas temperaturas, outros para locais em que se atingem elevadas temperaturas e sistemas com características padrão. Devido a esta diversidade, Hang et al. (2012), realizou um estudo onde compara três sistemas solares térmicos para o aquecimento de águas em três regiões distintas nos Estados Unidos da América.

O estudo baseou-se na análise comparativa entre os 3 sistemas, sendo um o convencional, para a preparação das águas quentes, tendo em atenção o sistema auxiliar bem com diferentes tipos de coletores. A combinação com melhor resultado entre as 3 cidades analisadas foi o sistema com o coletor plano e o esquentador a gás natural como sistema auxiliar, isto tanto a nível de desempenho energético, económico como ambiental.

III. Custo-benefício

Hoje em dia é amplamente aceite que a conveniência de promover um projeto ou uma política não pode depender apenas da avaliação do retorno financeiro dos investimentos necessários. A razão é que a análise financeira não é capaz de incluir todos os custos e benefícios que acompanham a realização do projeto e que a sociedade realmente percebe. Isto ainda é mais grave quando se tratam de projetos ou políticas relacionadas com o desenvolvimento de fontes de energia renováveis, onde os benefícios ambientais decorrentes não são medidos em termos monetários, e, portanto, o mecanismo de mercado existente não reflete os desejos e as restrições da sociedade.

Os benefícios sociais resultantes da utilização dos sistemas solares de aquecimento de águas tem 3 componentes, nomeadamente: a redução dos custos de energia, a redução do potencial

impacte ambiental, e os benefícios do crescimento de emprego. Para se medir a redução do impacte ambiental, um grande indicador é a qualidade do ar que é obtida através de recetores de poluição do ar colocados no território, o que leva a que os resultados muitas vezes não sejam fiáveis, uma vez que depende da sua localização geográfica bem como da densidade de recetores existentes.

Os autores Diakoulaki, Zervos e Sarafidis (2001) realizaram uma análise sobre o custo-benefício da integração de sistemas solares para aquecimento de água, no contexto da Grécia. Estes compararam o preço de venda com os benefícios sociais, o que lhes permitiu afirmar que os sistemas solares térmicos são mais vantajoso do que as tecnologias convencionais atualmente utilizadas no sector da construção, que consomem eletricidade ou diesel. No caso da eletricidade, os benefícios são mais elevados, principalmente devido ao grave impacte ambiental da produção de eletricidade na Grécia.

Considerando só como benefícios a poupança em fontes de energia convencionais, a relação custo-benefício é maior que um, o que significa que os benefícios sociais são menores que os custos associados aos sistemas.

CAPITULO 3 – METODOLOGIA

3.1 Cenários de localização geográfica. Sistema utilizado e qualidade da envolvente.

As necessidades energéticas de um edifício variam conforme a sua envolvente exterior, ou seja, as condições climáticas do local onde este está inserido. Neste estudo tem-se em atenção diferentes localizações mediterrâneas fora de Portugal, nomeadamente Roma, Marselha, Barcelona e Lárnaca, isto porque este trabalho está enquadrado no projeto de investigação TUI205 – Building Integration of Solar Thermal Systems que impôs localizações mediterrâneas.

Para além de se verificar o modelo criado nas cidades mediterrâneas enumeradas este também foi testado em várias regiões portuguesas (Lisboa, Évora, Bragança e Porto) o que nos vai permitir perceber os benefícios provenientes da utilização de sistemas solares térmicos, tantos os ambientais como os económicos em termos de redução de energia consumida.

Assim verifica-se também a influência das diferenças zonas climáticas nas vantagens energéticas e ambientais decorrentes da integração destes sistemas solares térmicos nos edifícios, uma vez que a própria incidência solar varia de local para local.

As necessidades energéticas serão quantificadas segundo a sua utilização, nomeadamente o aquecimento, arrefecimento e a preparação da AQS do edifício para as 8 distintas localizações escolhidas, as nacionais e as internacionais já enumeradas. No capítulo do caso de estudo serão apresentados com mais pormenor os cenários referidos.

3.2 Avaliação do consumo energético

O consumo energético no setor dos edifícios é uma grande fatia de toda a energia consumida pela sociedade. Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia, o que leva a que seja repensada a forma como a energia consumida nas habitações pode ser economizada, com o objetivo de diminuir a pegada deixada pela produção convencional de energia.

O programa informático DesignBuilder foi usado para fazer a simulação dinâmica do consumo de energia do edifício tipo usado no caso de estudo. A simulação teve como base diferentes cenários, quer em termos de localização geográfica, quer em termos de tipo de sistema solar térmico utilizado.

Através do referido programa informático simulou-se o edifício tipo unifamiliar das décadas de 60 a 90, isto é o edifício que reúne as características médias dos edifícios unifamiliares construídos nessa época, sendo esta a época com maior incidência no ambiente construído (Instituto Nacional de Estatística, 2011). O que se pretendia era que os valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) fossem cumpridos, uma vez que o que importa para o estudo são as perdas e os ganhos energéticos.

Não se conseguiu em certos elementos construtivos manter por exemplo a espessura, uma vez que para a espessura pretendida o valor do coeficiente de transmissão térmica era diferente do pretendido. Mesmo no que diz respeito aos sistemas construtivos que estavam definidos no edifício tipo, muitos não eram possíveis de encontrar na base de dados do software, o que levou a que tivesse que se criar o sistema construtivo no programa com base nas percentagem de cada material para poder ao máximo se aproximar da realidade pretendida.

Para a simulação nas diferentes localizações foram necessários os respetivos dados climáticos. A base de dados do programa DesignBuilder disponibiliza os ficheiros climáticos para a maioria das localizações e todos os locais selecionados constam nessa base.

Em relação ao consumo de água quente sanitária do edifício, este foi calculado de acordo com a metodologia apresentada no REH. Sendo a tipologia do edifício em estudo um T3 o número de ocupantes é 4 e como a habitação não possui chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A o fator de eficiência hídrica é de 1. Assim sendo, segundo a expressão de cálculo do Despacho nº15793-II/2013 de 3 de Dezembro a quantidade de litros de água quente consumida no edifício é de 160 litros/dia o correspondente a $0,00000185\text{m}^3/\text{s}$.

3.3 Avaliação do impacte ambiental

A avaliação de impacte ambiental associado aos materiais utilizados na reabilitação energética do edifício, bem como o associado ao consumo de energia e à produção dos sistemas solares

térmicos usados foi realizada através do programa informático de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) SimaPro.

Através desta ferramenta é possível converter a energia consumida na climatização dos edifício em categorias de impacte ambiental, bem como os materiais utilizados na reabilitação e manutenção do edifício durante a vida útil considerada. Para além destes serão também contabilizados os impactes ambientais associados à produção, instalação e manutenção do sistema solar térmico definido e à utilização de energia no sistema auxiliar de preparação de águas quentes sanitárias.

Para a quantificação das categorias de impacte ambiental foram usados dois métodos de Avaliação dos Impactes Ambientais de Ciclo de Vida (AICV): o *Cumulative Energy Demand (CED)*, o qual avalia o consumo de ciclo de vida de energia renovável e não renovável; e o método *CML IA Baseline*, que avalia indicadores como o aquecimento global, potencial de eutrofização, o esgotamento de recursos abióticos, entre outros. Na Tabela 1 encontram-se as categorias de impacte ambiental analisadas e os correspondentes métodos de Avaliação de Impactes Ambientais do ciclo de vida a utilizar, bem como as unidades em que se expressam.

Tabela 1 – Categorias de impacte e corresponde método de avaliação de impacte ambiental de ciclo do vida (AICV)

Categorias de Impacte	Unidades	Métodos de AICV
Esgotamento de recursos - ADP	kg Sb eq	<i>CML IA Baseline</i>
Esgotamento de recursos fósseis	MJ	<i>CML IA Baseline</i>
Potencial de aquecimento global - GWP	kg CO2 eq	<i>CML IA Baseline</i>
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	kg CFC-11 eq	<i>CML IA Baseline</i>
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	<i>CML IA Baseline</i>
Toxicidade para a água doce	kg 1,4-DB eq	<i>CML IA Baseline</i>
Toxicidade para a água salgada	kg 1,4-DB eq	<i>CML IA Baseline</i>

Tabela 1 (cont.) – Categorias de impacto e corresponde método de avaliação de impacto ambiental de ciclo do vida (AICV)

Categorias de Impacte	Unidades	Métodos de AICV
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	<i>CML IA Baseline</i>
Formação de oxidantes químicos – POCP	kg C2H4 eq	<i>CML IA Baseline</i>
Acidificação	kg SO2 eq	<i>CML IA Baseline</i>
Eutrofização	kg PO4--- eq	<i>CML IA Baseline</i>
Energia não renovável incorporada	MJ	<i>Cumulative Energy Demand (CED)</i>
Energia Renovável incorporada	MJ	<i>Cumulative Energy Demand (CED)</i>
Total de energia incorporada	MJ	<i>Cumulative Energy Demand (CED)</i>

3.3.1 Avaliação do impacto ambiental incorporado no Edifício

Os impactes ambientais da construção, nomeadamente dos edifícios, são muito elevados, sendo que grande parte desses impactes encontram-se incorporados nos materiais e produtos de construção. Por isso é que é importante quantificar estes impactes, quer da solução existente quer do cenário de reabilitação, considerando neste os materiais adicionados.

Para avaliar os impactes ambientais incorporados no edifício recorreu-se à base de dados *EcoInvent* e aos métodos de AICV *CML IA baseline* e *Cumulative Energy Demand*, como já foi referido, de modo a calcular os indicadores ambientais apresentados na Tabela 1.

Para calcular os impactes ambientais presentes na construção do edifício-tipo foi necessário contabilizar a quantidade de materiais que existiam. Foi calculado o impacto por cada elemento construtivo, como paredes exteriores, vãos envidraçados, portas interiores e porta exterior, cobertura, pavimento e paredes interiores. Como as paredes interiores não entraram na simulação e também não vinham descritas para o edifício tipo, assumiu-se uma divisão

normal para uma habitação unifamiliar com 3 assoalhadas, visto que era uma das características dos edifícios da década de 60 a 90.

Em relação ao cálculo dos potenciais impactes decorrentes do transporte dos materiais utilizados no edifício, uma vez que se analisaram várias localizações geográficas, considerou-se uma distância média de 50km, isto no que diz respeito à distancia entre a fábrica e o local da construção.

Não se considerou qualquer cenário de reciclagem, a não ser para os envidraçados, nomeadamente caixilharias de alumínio e o vidro que as constituem, de resto todos os outros materiais irão para aterro no fim de vida. Adicionalmente, não se considerou a manutenção das soluções construtivas o que significa que durante a vida útil considerada – 30 anos – as soluções não sofreram qualquer tipo de manutenção.

Após ter todas as quantidades de materiais calcularam-se, para cada elemento construtivo, os impactes ambientais e no fim somaram-se de forma a obter os impactes para o edifício. Para além do edifício, os equipamentos para o aquecimento, arrefecimento e preparação das AQS também entraram no cálculo dos impactes ambientais. O mesmo processo se repetiu no que diz respeito ao edifício após considerar a reabilitação.

3.3.2 Coletores solares térmicos

a) Coletor solar térmico padrão

Os impactes ambientais dos coletores solares térmicos foram calculados da mesma forma que os do edifício, usando os mesmos métodos de AICV para determinar as correspondentes categorias de impacte.

Os impactes ambientais resultantes da instalação do sistema solar térmico padrão foram avaliados considerando o sistema solar térmico apresentado, com as mesmas características existente na base de dados de inventário de ciclo de vida *EcoInvent*, que incluiu a sua manutenção. Para cada sistema considerou-se um ciclo de vida de 20 anos, o que representa o pior cenário (Clark, 2005). Isto significa que no ano 20 do ciclo de vida do edifício – 30 anos – o sistema solar térmico tem que ser substituído por outro, ou seja têm que ser considerando duas vezes o impacte da construção e colocação do sistema dentro do período estudado.

O sistema solar térmico padrão considerado na integração do edifícios unifamiliares possui as seguintes características:

- Orientação a sul e com inclinação de 35°;
- Planos com área de abertura de 0,65m² por ocupante convencional;
- Rendimento ótico de 73%;
- Coeficientes de perdas térmicas $a_1=4,12\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e $a_2=0,014\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)$;
- Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.

Em relação à reciclagem vão ser considerados dois cenários de reciclagem diferentes, ou seja no primeiro não se recicla nada e vai tudo para aterro, sendo esta a opção de tratamento de fim de vida mais comum na maior parte dos países, tal como apresentado por Waters (2013). O outro cenário assume a reciclagem do vidro, alumínio e cobre presentes no sistema e tudo o resto vai para aterro. Nos 2 cenários, o glicol é incinerado como um resíduo urbano.

b) Coletor solar térmico integrado nas caleiras (H2OSS)

Sendo este tipo de coletor solar térmico uma inovação, existe a necessidade ainda maior de saber se os impactes causados pela sua produção, bem como pela sua colocação são suficientemente baixos para que compense a sua utilização, em relação aos sistemas já comercializados.

Os impactes do sistema H2OSS serão calculados da mesma forma e utilizando os mesmos métodos de AICV apresentados anteriormente. Na Tabela 2 encontram-se apresentada a lista de materiais e respetivas quantidades do sistema.

As quantidades descritas na Tabela 2 representam 2m² de coletor solar integrado nas caleiras. Para que sejam satisfeitas as necessidades de água quente será necessário aumentar a quantidade de coletores, fazendo com que os dados referidos tenham de ser alterados proporcionalmente à quantidade de coletores a colocar.

Tabela 2 - Inventário do sistema H2OSS (Lamnatou et al., 2014)

Materiais para um coletor (2m²)	Massa (kg)
Placa coletora (alumínio)	0,196
Cobertura transparente (vidro)	1,417
Tubo para água fria (cobre)	0,253
Tubo para água quente (cobre)	0,253
Isolamento térmico (lã de rocha)	0,231
Invólucro externo (alumínio)	0,615
Duas lâminas de policarbonato	0,048
Poliéster (revestimento)	0,007
Invólucro externo (alumínio)	0,728
Poliéster (na calha)	0,010
Materiais / componentes adicionais:	
Tanque de armazenamento (aço inoxidável)	12,479
Tanque de armazenamento (isolamento em lã de rocha)	4,081
Canalização (cobre)	5,637
Isolamento da canalização (espuma de poliuretano)	1,804
Propileno glicol	1,400
Bomba (aço inoxidável)	3,000

Segundo o que é referido no trabalho de Lamnatou et al, de 2014, o tanque de armazenamento do sistema é de 100 litros. Uma vez que o caso de estudo aqui analisado é um edifício de

tipologia 3, onde são esperadas em média 4 pessoas, esta quantidade de água quente não é suficiente, sendo necessário no mínimo duplicar esta capacidade, o que leva a que as quantidades referentes ao tanque de armazenamento descritas na Tabela 2 tenham que ser duplicadas, pois precisa-se de 160L para satisfazer as necessidades de água quente sanitária dos habitantes do edifício.

Como já foi referido, na quantificação dos impactes de transporte dos materiais e das partes dos coletor solar térmico, será considerado que os mesmos serão transportados por estrada, e utilizando um camião convencional, por uma distância de 50 km.

Segundo Bojić et al. (2014) e Otanicar & Golden (2009), no modelo de ACV de um novo sistema que ainda está em fase de desenvolvimento deve-se agravar em 27% os impactes ambientais correspondentes à produção dos materiais para se simular os impactes correspondentes à produção do sistema, bem como em 3% para simular os impactes da sua montagem no edifício, o que foi considerado neste trabalho.

O glicol é utilizado como anticongelante no fluido térmico do circuito fechado do sistema, este fluido é uma mistura de glicol com água, dependendo do país onde são integrados os sistemas solares. Quanto mais frio for o clima maior será a percentagem de glicol na mistura, podendo esta percentagem variar de 20%, para climas quentes, a 50% para os países onde o clima é mais frio (Ardente et al., 2005). Como nos países da bacia mediterrânica as temperaturas não são muito baixas, o fluido do circuito fechado não tem de ser 100% glicol. Considerou-se assim uma relação de 20% de glicol na mistura glicol-água utilizada.

Os impactes do sistema durante a fase de utilização/operação incluem a eletricidade para bombagem do fluido (aproximadamente 63,21 KWh/ano), a energia consumida no sistema auxiliar, neste caso um esquentador a gás natural, com os consumos obtidos da simulação e ainda a substituição de algumas partes do sistema durante os 30 anos do estudo. Uma vez que o sistema tem uma duração de 20 anos haverá necessidade de substituir alguns componente para prolongar a sua durabilidade. Assim, no ano 20 será substituído o vidro do coletor e o tanque de armazenamento. Adicionalmente, é considerada a manutenção geral do sistema, como a limpeza, as revisões periódicas. O impacte da manutenção geral considera-se ser cerca de 10% dos impactes dos materiais utilizados nos coletores (Hammond & Jones, 2008).

Em relação aos cenários de fim de vida, vão ser considerados os dois cenários mais utilizados (Lamnatou et al., 2014): os materiais resultantes vão todos para aterro; considera-se a reciclagem do alumínio, vidro e cobre. Em ambos os cenários, é incinerado o glicol presente no circuito do sistema.

3.3.3 Energia

A energia consumida pelo edifício, nomeadamente a consumida por todos os equipamentos incorporados neste, contribui para os impactes associados ao edifício na fase de utilização/operação do mesmo. Como já foi referido anteriormente, a energia consumida por um edifício é uma fatia muito significativa na energia total consumida pela sociedade, e implica impactes elevados associados a sua produção, quer se fale em energia elétrica como em gás, sendo estes dois tipos consumidos no presente caso de estudo.

Perante estes fatos importantes, a quantificação dos impactes ambientais associados á energia consumida pelo edifício, é muito importante uma vez que exprimem os impactes ambientais associados à fase de utilização/operação do edifício sendo que não se considera qualquer manutenção no edifício ao longo da sua vida útil, ou seja a operação deste é o seu consumo energético.

Em cada país escolhido para a simulação existe um *mix* energético diferente, o que leva a que os impactes ambientais derivados da utilização de energia elétrica sejam diferentes. Foram calculados os impactes do *mix* energético para cada país escolhido, nomeadamente, Portugal, Espanha, França, Itália e Chipre, o que permitirá averiguar em qual localização europeia o consumo de energia implica um maior prejuízo em termos ambientais.

Os impactes do gás natural foram considerados iguais para todas as localizações.

CAPITULO 4 – APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1 Apresentação do edifício tipo

O estudo incidiu sobre a época de mais construção em Portugal, ou seja o edifício tipo escolhido foi obtido a partir das características de construção dessa época. Tal como se observar na Figura 4, a maior percentagem de edifícios construídos em Portugal foi entre os anos 1971 a 1980, ou seja a época escolhida para este estudo (1961 – 1990 anos) é a mais representativa do mercado de construção do último século.

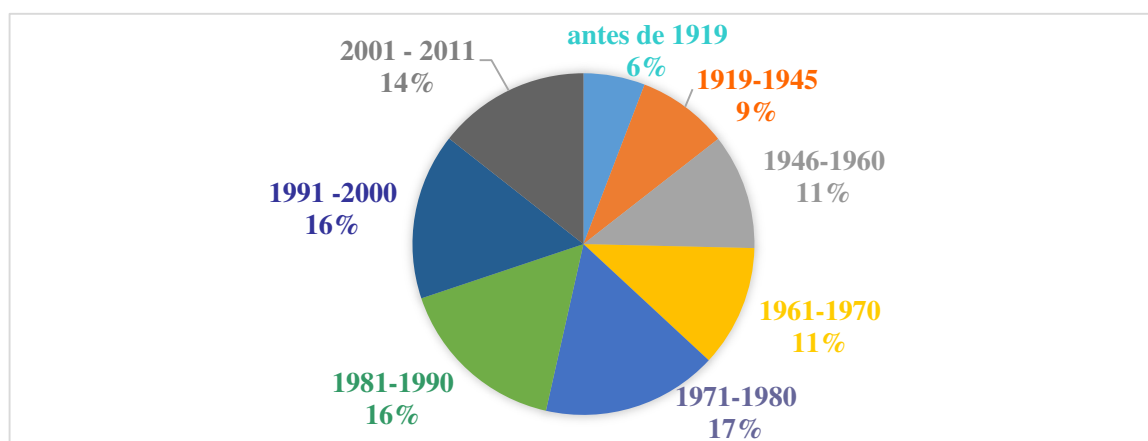


Figura 4 – Repartição do parque existente pelas épocas de construção (Instituto Nacional de Estatística, 2011)

Os dados relevantes a todas as características do edifício tipo foram fornecidas pela ADENE – Agência para a Energia. O edifício tipo trata-se de uma habitação unifamiliar de um piso, com 4 frentes, tipologia T3, a área útil de 100 m² e pé-direito de 2,7 m. Pelas características disponíveis o edifício tem uma inercia térmica média.

O edifício possui de ventilação natural sendo o número de renovações por hora (R_{ph}) de 0,4 no inverno e de 0,6 no verão. Em termos de climatização não eram descritos equipamentos mas uma vez que o regulamento atual prevê equipamentos de aquecimento e de arrefecimento de referência, foram adotados estes nas simulações energéticas realizadas.

Em relação a preparação das AQS esta era assegurada por um esquentador a gás natural, uma vez que o edifício é abastecido por uma rede de combustível gasoso, não existindo qualquer sistema solar térmico para a preparação das AQS. As características da envolvente estão apresentadas no Tabela 3.

Tabela 3 - Características da envolvente exterior do edifício-tipo (ADENE)

Elemento construtivo	Descrição	Coefficiente Transmissão térmica [W/m².°C]	Observações
Paredes exteriores	Parede simples de alvenaria de tijolo furado de 22, rebocada em ambas as faces, com a espessura total de 26 cm.	1,76	Cor Clara
Coberturas	Cobertura inclinada revestida a telha cerâmica, laje aligeirada de blocos cerâmicos com a espessura de 15 cm.	2,8	Cor Clara
Pavimentos c/ desvão	Revestimento em ladrilho, 4 cm de betonilha, laje aligeirada de 15 cm.	2,1	Cor Clara
PTPs	Majoração de 35% do U do elemento.	-	
Envidraçados	Caixilharia metálica sem corte térmico de correr, com vidro simples.	4,1	-
	Fator Solar (FS) vidro	-	0,85
	Proteção Solar	Portadas/Opacas Interiores/Claras	
	FS Global Proteções Móveis e Fixas Ativadas	-	0,3
	Fração Envidraçada	-	0,7
	Existe obstruções?	-	20°
Sistema de Aquecimento	Resistência elétrica	Eficiência de 1.	
Sistemas de Arrefecimento	Ar condicionado	Eficiência de 2,8.	
Sistema de AQS	Esquentador a gás	Eficiência de 60%.	

No que diz respeito aos envidraçados estes foram dispostos no edifício de forma igual, ou seja cada orientação tem uma janela com a área de $3,75 \text{ m}^2$, uma vez que o edifício tipo propõem 15 m^2 de envidraçados, ou seja os 15% da área do pavimento do edifício.

O modelo criado a partir do software DesignBuilder para a simulação das necessidades energéticas do edifício do caso de estudo, com as características descritas anteriormente, ficou com o aspeto apresentado na Figura 5.

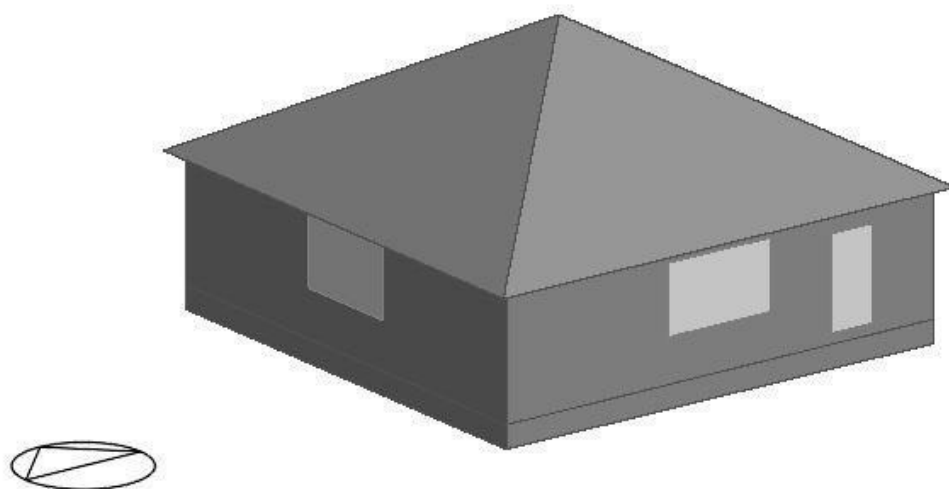


Figura 5 – Modelo 3D do edifício-tipo, modelado no DesignBuilder

4.2 Apresentação dos cenários de reabilitação

Reabilitar energeticamente os edifícios constitui uma das formas de contribuir para a redução dos gases de efeito de estufa e para poupanças de energia, assim como pode contribuir para a questão social através da criação de emprego.

O modelo do edifício unifamiliar usado para o estudo sofrerá uma reabilitação considerando soluções de custo ótimo para a zona climática II, tendo por base as características dos edifícios unifamiliares construídos entre os anos 60 e 90 em Portugal (Report et al., 2014), alterando alguns dos coeficientes de transmissão térmica, representados na Tabela 4.

Na reabilitação, as soluções consideradas são as seguintes:

- ✓ Sistema ETICS com EPS de 40 mm nas paredes exteriores;

- ✓ Aplicação de lã de rocha de 80 mm de espessura sobre a laje de esteira da cobertura;
- ✓ Colocação de lã de rocha de 40 mm de espessura na parte de baixo da laje de pavimento (entre a zona útil e o desvão);
- ✓ Substituição das janelas por janelas em PVC, com vidro duplo 4+6+6;
- ✓ Utilização de ar condicionado com COP de 4,1 para o aquecimento;
- ✓ Utilização de ar condicionado com um COP de 3,3 para o arrefecimento;
- ✓ A preparação das AQS será efetuada pelo coletor solar térmico, com um sistema de gás com eficiência de 87% como sistema auxiliar.

Tabela 4 - Valores de U da envolvente após reabilitação

Época de construção 1960-1990.				
Zona II	Parede	Cobertura	Pavimento	Janelas
Coeficiente Transmissão térmica [W/m ² .°C]	0,64	0,42	0,62	2,4

Em relação ao modelo para a simulação dinâmica, ao adicionar o sistema ETICS, a área de utilização interna do edifício diminuiu uma vez que se alterou modelo base para diminuiu o erro que poderia ocorrer ao refazer um modelo novo. Como não se contabilizou logo no modelo inicial a espessura das fachadas para se poder ter a área útil interna de 100 m², uma vez que as próprias espessuras definidas para o edifício tipo não poderão ser respeitadas para se poder simular as perdas pelos elementos estruturais, uma vez que o próprio programa afina a espessura de forma a se obter o coeficiente de transmissão térmica pretendido.

Na Tabela 5 apresentam-se os vários cenários analisados contemplando os dois modelos diferentes, base e ótimo (modelo após reabilitação) que serão conjugados com os diferentes sistemas solares térmicos a avaliar.

Tabela 5 - Descrição dos cenários considerados no estudo

Cenários	Descrição
Cenário base	Considera-se o edifício sem sistema solar térmico padrão e com o esquentador como sistema para a preparação de AQS.
Cenário 1	Edifício base com o sistema solar térmico padrão como principal sistema para a preparação das AQS, tendo como sistema auxiliar o esquentador a gás.
Cenário 2	Edifício base com o sistema solar térmico integrado nas caleiras H2OSS, como sistema de preparação de AQS e que satisfaça as mesmas necessidades que o sistema padrão, tendo o esquentador a gás como sistema auxiliar.
Cenário 3	Edifício base com o sistema H2OSS que satisfaça 25% das necessidades energéticas para a preparação AQS que o edifício precisa, considerando na mesma o esquentador como sistema auxiliar.
Cenário 4	Edifício base com o sistema H2OSS integrado que satisfaça 50% das necessidades energéticas que o edifício necessita para preparar as AQS, tendo como sistema auxiliar o esquentador a gás.
Cenário 5	Edifício base com o sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS – que satisfaça 75% das necessidade energética para a preparação das AQS sendo o esquentador a gás o meio auxiliar.
Cenário 6	Edifício do modelo base com o H2OSS como sistema solar térmico, onde sejam cobridas por ele 100% das necessidades energéticas para a preparação das AQS com o esquentador a gás como sistema auxiliar.
Cenário 7	Edifício reabilitado (modelo ótimo) sem sistema solar térmico incorporado e considerando o esquentador a gás como sistema auxiliar.
Cenário 8	Edifício reabilitado, com o sistema solar térmico padrão integrado e considerando como sistema auxiliar o esquentador a gás.
Cenário 9	Modelo ótimo considerando a incorporação do sistema H2OSS como sistema solar térmico, que satisfaça as mesmas necessidades energéticas que o sistema solar térmico padrão, e tendo o esquentador a gás como sistema auxiliar.

Tabela 5 (cont.) - Descrição dos cenários considerados no estudo

Cenários	Descrição
Cenário 10	Edifício reabilitados com o sistema H2OSS integrado para satisfazer 25% das necessidades energéticas para a preparação das AQS, considerando o esquentador a gás como sistema auxiliar.
Cenário 11	Edifício reabilitado com H2OSS como sistema solar térmico para cobrir 50% das necessidades energéticas para a preparação das AQS sendo o esquentador a gás o sistema auxiliar escolhido.
Cenário 12	Edifício reabilitado com o sistema solar térmico H2OSS integrado para satisfazer 75% das necessidades energéticas precisas para a preparação das AQS, considerando o esquentador como sistema auxiliar.
Cenário 13	Por fim o edifício reabilitado com o sistema H2OSS incorporado para satisfazer 100% das necessidades energéticas da preparação das AQS sendo o esquentador a gás o sistema auxiliar escolhido.

CAPITULO 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS
5.1 Simulação dinâmica

Através do software DesignBuilder criou-se o modelo 3D que permite efetuar a simulação dinâmica do edifício de forma a se obter as quantidades de energia necessária para satisfazer o mesmo ao longo de um ano.

O modelo 3D tem duas versões, o modelo base que corresponde ao edifício sem qualquer intervenção de reabilitação e o modelo ótimo que considera as soluções de reabilitação de custo ótimo já apresentadas.

Nas Tabelas 6 a 12 estão apresentados os consumos energéticos do edifício no modelo base para os cenários correspondentes.

A totalidade de eletricidade corresponde à soma da energia elétrica para o aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e todos os sistemas interiores que consumam eletricidade bem como as bombas que o edifício possua. Em relação à totalidade de gás natural diz à quantidade necessária para a preparação das AQS.

Tabela 6 – Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário base

Necessidades energéticas cenário base			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	25845,90	5655,43	58,34
Évora	16969,82		
Porto	17709,32		
Lisboa	14463,20		
Lárnaca	13285,15		
Marselha	22480,61		
Roma	19643,97		
Barcelona	19357,98		

Tabela 7 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 1

Necessidades energéticas cenário 1			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	25875,51	2387,07	58,34
Évora	16991,39	2165,22	
Porto	17752,54	2307,24	
Lisboa	14488,85	2220,65	
Lárnaca	13291,67	1490,71	
Marselha	22491,02	2322,36	
Roma	19850,78	2670,71	
Barcelona	19301,89	2624,67	

Tabela 8 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 2

Necessidades energéticas cenário 2			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	25878,09	2364,78	58,34
Évora	16991,29	2163,57	
Porto	17756,59	2255,48	
Lisboa	14489,22	2158,43	
Lárnaca	13288,63	1474,38	
Marselha	22511,34	2311,52	
Roma	19848,31	2625,25	
Barcelona	19299,43	2605,20	

Tabela 9 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 3

Necessidades energéticas cenário 3			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	25866,65	4218,76	58,34
Évora	16986,53	4194,09	
Porto	17736,64	4179,36	
Lisboa	14481,40	4215,80	
Lárnaca	13294,19	4178,75	
Marselha	22490,40	4212,39	
Roma	19848,28	4217,07	
Barcelona	19300,14	4210,26	

Tabela 10 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 4

Necessidades energéticas cenário 4			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	25872,97	2766,32	58,34
Évora	16989,56	2756,30	
Porto	17750,22	2766,99	
Lisboa	14485,84	2827,15	
Lárnaca	13291,15	2776,56	
Marselha	22488,67	2822,30	
Roma	19848,26	2825,38	
Barcelona	19298,57	2823,29	

Tabela 11 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 5

Necessidades energéticas cenário 5			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	25897,53	1371,20	58,34
Évora	16997,45	1411,48	
Porto	17775,57	1390,58	
Lisboa	14494,69	1354,58	
Lárnaca	13288,33	1409,66	
Marselha	22485,08	1395,97	
Roma	19844,24	1413,81	
Barcelona	19299,38	1408,29	

Tabela 12 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 6

Necessidades energéticas cenário 6			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	26547,85	91,35	58,34
Évora	17430,94	70,01	
Porto	18549,01	81,35	
Lisboa	14862,83	9,81	
Lárnaca	13134,37	0,00	
Marselha	22527,10	136,79	
Roma	19857,67	94,69	
Barcelona	19384,10	74,31	

Após análise dos valores apresentados anteriormente nas Tabelas 6 a 12 é fácil concluir que a quantidade de energia elétrica consumida pelo edifício não sofre grandes alterações de cenário para cenário analisado. E as pequenas alterações verificadas devem-se principalmente ao fato de com a colocação dos sistemas solares térmicos, os ganhos energéticos relativos à cobertura diminuirão conforme o aumento da área de absorção do coletor e vice-versa.

Para além do modelo base existe também o modelo ótimo que representa o edifício considerando as soluções de reabilitação. Neste caso os consumos energéticos por parte do edifício para os diferentes cenários alteraram-se em relação ao cenários anteriores.

Nas Tabelas 13 a 19 apresentam-se os valores dos consumos energéticos dos cenários correspondentes à utilização do modelo ótimo, ou seja considerando que o edifício sofre uma reabilitação.

Tabela 13 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 7

Necessidades energéticas cenário 7			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4958,05	3900,30	58,34
Évora	4029,63		
Porto	3749,04		
Lisboa	3690,01		
Lárnaca	4549,05		
Marselha	4932,88		
Roma	4511,51		
Barcelona	4303,18		

Tabela 14 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 8

Necessidades energéticas cenário 8			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4963,20	1654,98	58,34
Évora	4035,06	1498,43	
Porto	3751,00	1596,20	
Lisboa	3695,45	1534,68	
Lárnaca	4601,79	1036,21	
Marselha	4936,26	1605,70	
Roma	4490,66	1849,15	
Barcelona	4307,92	1814,33	

Tabela 15 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 9

Necessidades energéticas cenário 9			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4961,38	1643,99	58,34
Évora	4033,19	1458,72	
Porto	3749,51	1572,96	
Lisboa	3693,79	1513,40	
Lárnaca	4550,18	1027,21	
Marselha	4933,92	1563,43	
Roma	4488,41	1834,31	
Barcelona	4305,89	1775,94	

Tabela 16 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 10

Necessidades energéticas cenário 10			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4962,07	2905,44	58,34
Évora	4034,48	2890,03	
Porto	3749,02	2874,40	
Lisboa	3694,70	2904,25	
Lárnaca	4553,57	2884,39	
Marselha	4936,37	2901,72	
Roma	4490,24	2902,69	
Barcelona	4307,23	2897,80	

Tabela 17 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 11

Necessidades energéticas cenário 11			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4961,73	1939,10	58,34
Évora	4033,79	1880,47	
Porto	3749,46	1884,95	
Lisboa	3694,16	1934,49	
Lárnaca	4552,02	1896,76	
Marselha	4934,87	1924,42	
Roma	4488,66	1932,30	
Barcelona	4306,15	1931,47	

Tabela 18 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 12

Necessidades energéticas cenário 12			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4959,11	962,46	58,34
Évora	4031,69	962,15	
Porto	3749,25	963,66	
Lisboa	3692,59	966,50	
Lárnaca	4549,02	811,63	
Marselha	4930,65	967,69	
Roma	4484,02	972,20	
Barcelona	4303,07	958,02	

Tabela 19 - Necessidades energéticas obtidas da simulação dinâmica para o cenário 13

Necessidades energéticas cenário 13			
Localizações	Totalidade de eletricidade [kWh/ano]	Totalidade de gás natural [kWh/ano]	Totalidade de água [m3]
Bragança	4890,30	60,22	58,34
Évora	3974,79	44,76	
Porto	3752,62	52,23	
Lisboa	3635,20	6,06	
Lárnaca	4458,61	0,00	
Marselha	4795,94	91,80	
Roma	4377,91	64,68	
Barcelona	4323,23	48,66	

Como se pode verificar analisando os valores apresentados nas Tabelas 13 a 19 a quantidade de energia elétrica consumida pelo edifício diminui drasticamente, cerca de 77%, em relação aos valores da simulação dinâmica do modelo base, o que era previsível uma vez que as soluções de reabilitação consideradas tem como função a diminuição do consumo de energia por parte do edifício.

Em relação ao consumo de gás este diminui quando comparado com o modelo base, uma vez que o sistema responsável pela preparação das AQS, esquentador a gás, foi alterado por um com um rendimento mais elevado, passando de 60% para 87%, fazendo com que para a mesma quantidade de água quente produzida seja consumido menos gás.

5.2 Impactes ambientais antes da reabilitação

Os impactes incorporados no edifício são os associados ao ciclo de vida dos materiais utilizados bem como dos equipamentos nele incorporados, incluindo a sua produção e transporte até o local. Tem-se ainda os impactes relacionados com a utilização/operação do edifício que estão diretamente associados ao consumo de energia. Por fim existe o fim de vida do edifício que consiste na demolição do mesmo e colocação dos materiais provenientes em aterro, situação que produz impactes ambientais. Somando todas estas componentes obtém-se o impacto total do edifício.

Na Tabela 20 encontram-se apresentados os impactes relacionados com a construção do edifício tipo, somando todos os impactes dos materiais usados em cada uma das soluções construtivas, incluindo o seu transporte e a sua produção bem como dos equipamentos de climatização e preparação de AQS segundo o regulamento energético das habitações.

Tabela 20 - Total de impactes associados à construção do edifício – modelo base, incluindo o equipamento para preparação da AQS

Categorias de Impacte	Impactes da construção do edifício
Esgotamento de recursos - ADP	5,64E-01
Esgotamento de recursos fósseis	3,27E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	3,51E+04

Tabela 20 (cont.) - Total de impactes associados à construção do edifício – modelo base, incluindo o equipamento para preparação da AQS

Categorias de Impacte	Impactes da construção do edifício
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	2,45E-03
Toxicidade Humana	1,74E+04
Toxicidade para a água doce	1,07E+04
Toxicidade para a água salgada	6,29E+07
Toxicidade terrestre	7,37E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	9,82E+00
Acidificação	1,64E+02
Eutrofização	5,64E+01
Energia não renovável incorporada	3,55E+05
Energia Renovável incorporada	4,20E+04
Total de energia incorporada	3,97E+05

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados dos impactes ambientais do edifício do modelo base associados à utilização/operação, baseados na energia consumida durante a vida útil do edifício, 30 anos, tanto na energia elétrica utilizada nos sistemas de climatização, como no gás consumido para a preparação das AQS.

Sendo o *mix* energético igual em todo o Portugal a única variável é a quantidade de energia consumida, que difere nas várias localizações nacionais, devido às diferenças climáticas. O consumo de energia para a preparação de AQS será igual nas diferentes cidades uma vez que o consumo de água é igual. Assim só a quantidade de eletricidade é que vai variar nestas diferentes localizações portuguesas, sendo a quantidade de gás exatamente a mesma nas 4 localizações.

Tabela 21 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações portuguesas – modelo base

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	6,04E-01	4,02E-01	4,19E-01	3,45E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,77E+06	4,70E+06	4,87E+06	4,11E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	5,06E+05	3,48E+05	3,61E+05	3,03E+05
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	3,58E-02	2,44E-02	2,53E-02	2,12E-02
Toxicidade Humana	1,34E+05	9,00E+04	9,37E+04	7,77E+04
Toxicidade para a água doce	2,06E+05	1,36E+05	1,42E+05	1,16E+05
Toxicidade para a água salgada	4,82E+08	3,19E+08	3,33E+08	2,73E+08
Toxicidade terrestre	2,78E+03	1,83E+03	1,91E+03	1,56E+03
Formação de oxidantes químicos – POCP	1,58E+02	1,07E+02	1,11E+02	9,29E+01
Acidificação	3,80E+03	2,55E+03	2,66E+03	2,20E+03
Eutrofização	9,29E+02	6,14E+02	6,40E+02	5,25E+02
Energia não renovável incorporada	7,27E+06	5,03E+06	5,22E+06	4,40E+06
Energia Renovável incorporada	1,33E+06	8,75E+05	9,13E+05	7,46E+05
Total de energia incorporada	8,60E+06	5,90E+06	6,13E+06	5,14E+06

Como se pode constatar na análise da Tabela 21 a localização com os impactes ambientais menores relacionados com a utilização/operação do edifício é Lisboa. Sendo esta também a localização que tem menor quantidade de energia elétrica consumida após a simulação dinâmica efetuada no DesignBuilder para a avaliação das necessidades energéticas do edifício, como se pode verificar na Tabela 6, apresentada anteriormente.

O mesmo acontece nas cidades Europeias escolhidas para a simulação, sendo que nestas existe mais uma variável que é o *mix* energético que muda de país para país. Sendo assim estão apresentados os impactes totais do edifício na fase de utilização/operação para as localizações da Europa na Tabela 22.

Tabela 22 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações europeias – modelo base

Categorias de Impacte	Lárnaca	Barcelona	Marselha	Roma
Esgotamento de recursos - ADP	3,57E-01	4,52E-01	5,09E-01	4,47E-01
Esgotamento de recursos fósseis	7,16E+06	4,74E+06	1,73E+06	5,98E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	4,82E+05	3,32E+05	1,24E+05	4,18E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,48E-02	4,58E-02	6,86E-02	5,58E-02
Toxicidade Humana	5,19E+05	8,48E+04	8,67E+04	8,39E+04
Toxicidade para a água doce	7,93E+05	1,45E+05	1,42E+05	1,49E+05
Toxicidade para a água salgada	2,09E+09	3,08E+08	1,50E+08	2,42E+08
Toxicidade terrestre	2,24E+03	2,02E+03	2,21E+03	2,08E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,22E+02	8,14E+01	3,10E+01	8,85E+01
Acidificação	2,86E+03	1,88E+03	6,01E+02	1,81E+03
Eutrofização	4,24E+03	6,77E+02	4,38E+02	1,36E+03
Energia não renovável incorporada	7,44E+06	6,31E+06	9,00E+06	6,70E+06
Energia Renovável incorporada	2,44E+05	5,72E+05	3,94E+05	9,27E+05
Total de energia incorporada	7,69E+06	6,88E+06	9,39E+06	7,63E+06

Como se pode ver na Tabela 22, verifica-se não existir uma localização 100% melhor em termos de impactes ambientais, uma vez que nem todas as categorias de impacte tem o seu menor valor na mesma localização. Através dos resultados obtidos da simulação dinâmica sabe-se que a localização com menores necessidades é Lárnaca, como podemos ver na Tabela 6 sendo Marselha a localização com maiores necessidades.

Sendo neste caso considerada a variável da quantidade de energia elétrica consumida e o *mix* energético uma vez que varia de país para país, considerando a quantidade de energia poderíamos afirmar que seria Lárnaca a localização com menores impactes. Mas como podemos verificar na Tabela 22 não é isso que acontece, uma vez que Marselha tem a maioria das categorias de impacte ambiental com menor valor, o que permite afirmar que será esta a localização com menores impactes ambientais em relação a utilização/operação do edifício.

Adicionalmente, tal como poderemos verificar na Tabela 6 é também Marselha que tem maiores necessidades energéticas, o que permite concluir que o *mix* energético de Marselha tem menores impactes, fazem compensar a quantidade excessiva de necessidades energéticas. Em contrapartida, Lárnaca é a localização que precisa de menor quantidade de energia e é a que contem valores mais altos para os impactes ambientais. Desta forma subentende-se que a produção de 1kWh de energia nesta localização causa maiores impactes ambientais do que em outras localizações.

Na Tabela 23 estão representados os benefícios da reciclagem das janelas para todas as localizações estudadas, uma vez que estas são constituídas por vidro simples e caixilharia de alumínio e não existe no edifício mais nenhuma quantidade destes materiais. Foi necessário contabilizar a quantidade de vidro e alumínio que as 4 janelas existentes no edifício possuíam para poder obter os impactes da reciclagem destes 2 materiais.

Tabela 23 - Total de impactes associados à reciclagem do vidro e alumínio presentes no edifício – modelo base

Categorias de Impacte	Reciclagem do vidro e alumínio
Esgotamento de recursos - ADP	-5,18E-04
Esgotamento de recursos fósseis	-9,25E+03
Potencial de aquecimento global - GWP	-9,56E+02
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	-4,83E-05
Toxicidade Humana	-8,66E+02
Toxicidade para a água doce	-5,77E+02

Tabela 23 (cont.) - Total de impactes associados à reciclagem do vidro e alumínio presentes no edifício – modelo base

Categorias de Impacte	Reciclagem do vidro e alumínio
Toxicidade para a água salgada	-8,12E+06
Toxicidade terrestre	-2,16E+00
Formação de oxidantes químicos - POCP	-4,47E-01
Acidificação	-8,71E+00
Eutrofização	-1,41E+00
Energia não renovável incorporada	-9,61E+03
Energia Renovável incorporada	-1,07E+04
Total de energia incorporada	-2,03E+04

Após o cálculo de todos os impactes ambientais anteriormente referidos, foi necessário efetuar a sua soma de forma a concluir qual a localização com maiores impactes totais associados. Assim sendo estão compilados na Tabela 24 os impactes totais das localizações em Portugal.

Tabela 24 - Total de impactes do edifício nas localizações de Portugal – modelo base (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	1,17E+00	9,66E-01	9,82E-01	9,09E-01
Esgotamento de recursos fósseis	7,11E+06	5,04E+06	5,21E+06	4,45E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	5,42E+05	3,84E+05	3,97E+05	3,39E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,82E-02	2,69E-02	2,78E-02	2,37E-02
Toxicidade Humana	1,51E+05	1,07E+05	1,10E+05	9,44E+04
Toxicidade para a água doce	2,16E+05	1,46E+05	1,52E+05	1,27E+05
Toxicidade para a água salgada	5,37E+08	3,74E+08	3,88E+08	3,28E+08

Tabela 24 (cont.) - Total de impactes do edifício nas localizações de Portugal – modelo base (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Toxicidade terrestre	2,85E+03	1,90E+03	1,98E+03	1,64E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,68E+02	1,17E+02	1,21E+02	1,03E+02
Acidificação	3,96E+03	2,71E+03	2,82E+03	2,36E+03
Eutrofização	9,85E+02	6,69E+02	6,96E+02	5,80E+02
Energia não renovável incorporada	7,64E+06	5,40E+06	5,59E+06	4,77E+06
Energia Renovável incorporada	1,36E+06	9,07E+05	9,45E+05	7,78E+05
Total de energia incorporada	9,00E+06	6,30E+06	6,53E+06	5,54E+06

Como é possível verificar na Tabela 24, a localização com maiores impactes ambientais totais é Bragança, o que era de esperar uma vez que é esta que possui maiores impactes associados à fase de utilização/operação, sendo esta fase diretamente relacionada com a quantidade de energia consumida pelo edifício.

Os impactes associados à fase de construção e fim de vida do edifício são iguais em todas as localizações nacionais, o que não acontece aos impactes ambientais da fase de utilização/operação, que diferem de localização para localização devido ao clima associado a cada local.

Na Tabela 25 encontram-se apresentados os impactes ambientais totais das localizações europeias, que resultam da soma dos impactes ambientais da fase de construção, utilização/operação e fim de vida do edifício.

Analisando a Tabela 25 não se consegue dizer que exista uma localização com 100% dos impactes ambientais piores (mais elevados). Como é possível averiguar a localização com os melhores impactes ambientais totais é Marselha, o que já era espetável uma vez que era esta a localização com os melhores impactes na fase de utilização/operação.

Tabela 25 - Total de impactes do edifício nas localizações da Europa – modelo base (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)

Categorias de Impacte	Lárnaca	Barcelona	Marselha	Roma
Esgotamento de recursos – ADP	9,21E-01	1,02E+00	1,07E+00	1,01E+00
Esgotamento de recursos fósseis	7,51E+06	5,08E+06	2,07E+06	6,32E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	5,17E+05	3,68E+05	1,59E+05	4,54E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,73E-02	4,83E-02	7,11E-02	5,83E-02
Toxicidade Humana	5,35E+05	1,02E+05	1,04E+05	1,01E+05
Toxicidade para a água doce	8,03E+05	1,55E+05	1,52E+05	1,59E+05
Toxicidade para a água salgada	2,14E+09	3,63E+08	2,05E+08	2,97E+08
Toxicidade terrestre	2,32E+03	2,09E+03	2,28E+03	2,15E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,31E+02	9,11E+01	4,08E+01	9,82E+01
Acidificação	3,02E+03	2,04E+03	7,62E+02	1,98E+03
Eutrofização	4,29E+03	7,33E+02	4,94E+02	1,41E+03
Energia não renovável incorporada	7,81E+06	6,68E+06	9,37E+06	7,07E+06
Energia Renovável incorporada	2,76E+05	6,04E+05	4,25E+05	9,59E+05
Total de energia incorporada	8,09E+06	7,28E+06	9,79E+06	8,03E+06

Como já foi referido na análise dos resultados das localizações de Portugal, os impactes associados à fase de utilização/operação diferem de localização para localização, pois estão relacionados diretamente com a quantidade de energia consumida pelo edifício. No caso das localizações europeias não é só a quantidade de energia consumida pelo edifício que varia de local para local, mas também o *mix* energético que se altera de país para país.

5.3 Depois da reabilitação

Considerou-se que o edifício sofrerá uma reabilitação para minimizar as perdas energéticas que eram características dos edifícios construídos nas décadas 60 a 90.

Os impactes ambientais associados à construção do edifício após a reabilitação considerada, à sua utilização/operação e fim de vida são novamente calculados.

Na Tabela 26 estão apresentados os impactes ambientais associados à construção do edifício considerando a reabilitação das soluções construtivas.

Tabela 26 - Total de impactes associados à construção do edifício – modelo ótimo, incluindo o equipamento para preparação da AQS

Categorias de Impacte	Construção do edifício
Esgotamento de recursos - ADP	6,46E-01
Esgotamento de recursos fósseis	3,76E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	3,84E+04
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	2,67E-03
Toxicidade Humana	1,98E+04
Toxicidade para a água doce	1,19E+04
Toxicidade para a água salgada	6,68E+07
Toxicidade terrestre	8,52E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,14E+01
Acidificação	1,86E+02
Eutrofização	6,25E+01
Energia não renovável incorporada	4,09E+05
Energia Renovável incorporada	4,50E+04
Total de energia incorporada	4,54E+05

Após a apresentação dos potenciais impactes ambientais da construção apresentam-se os impactes da utilização/operação do edifício, considerando a vida útil de 30 anos. Na Tabela 27 apresentam-se os impactes ambientais associados a utilização/operação do edifício do modelo ótimo que corresponde ao edifício reabilitado.

Tabela 27 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações portuguesas – modelo ótimo

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Lisboa	Porto
Esgotamento de recursos – ADP	1,24E-01	1,03E-01	9,49E-02	9,62E-02
Esgotamento de recursos fósseis	1,66E+06	1,45E+06	1,37E+06	1,38E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,20E+05	1,03E+05	9,72E+04	9,82E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	8,19E-03	7,00E-03	6,56E-03	6,63E-03
Toxicidade Humana	2,88E+04	2,42E+04	2,25E+04	2,28E+04
Toxicidade para a água doce	4,08E+04	3,35E+04	3,08E+04	3,12E+04
Toxicidade para a água salgada	9,65E+07	7,94E+07	7,32E+07	7,42E+07
Toxicidade terrestre	5,41E+02	4,41E+02	4,05E+02	4,11E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	3,54E+01	3,01E+01	2,81E+01	2,84E+01
Acidificação	8,09E+02	6,79E+02	6,31E+02	6,38E+02
Eutrofização	1,84E+02	1,51E+02	1,39E+02	1,41E+02
Energia não renovável incorporada	1,76E+06	1,53E+06	1,44E+06	1,46E+06
Energia Renovável incorporada	2,57E+05	2,09E+05	1,92E+05	1,94E+05
Total de energia incorporada	2,02E+06	1,74E+06	1,64E+06	1,65E+06

Como aconteceu nos resultados dos impactes ambientais associados a utilização/operação do edifício antes da reabilitação, é a mesma localização portuguesa a possuir os maiores impactes ambientais associados à energia total consumida pelo edifício, durante a sua vida útil.

Pode-se referir que as medidas de reabilitação baixaram a quantidade de energia consumida pela habitação, mas mesmo assim são visíveis as diferenças climáticas existentes em Portugal.

Por esta razão é necessário muitas vezes reajustar as medidas de reabilitação ao local, nomeadamente ao clima existente.

Na Figura 6 estão representados os valores do Potencial de Aquecimento Global para as localizações portuguesas antes e depois da reabilitação considerada, para a fase de utilização do edifício, ou seja as localizações com o mesmo *mix* energético. Como se pode verificar os valores diminuíram muito devido à diminuição do consumo de energia por parte do edifício por causa das soluções de reabilitação consideradas, que fazem com que as perdas energéticas diminuam.

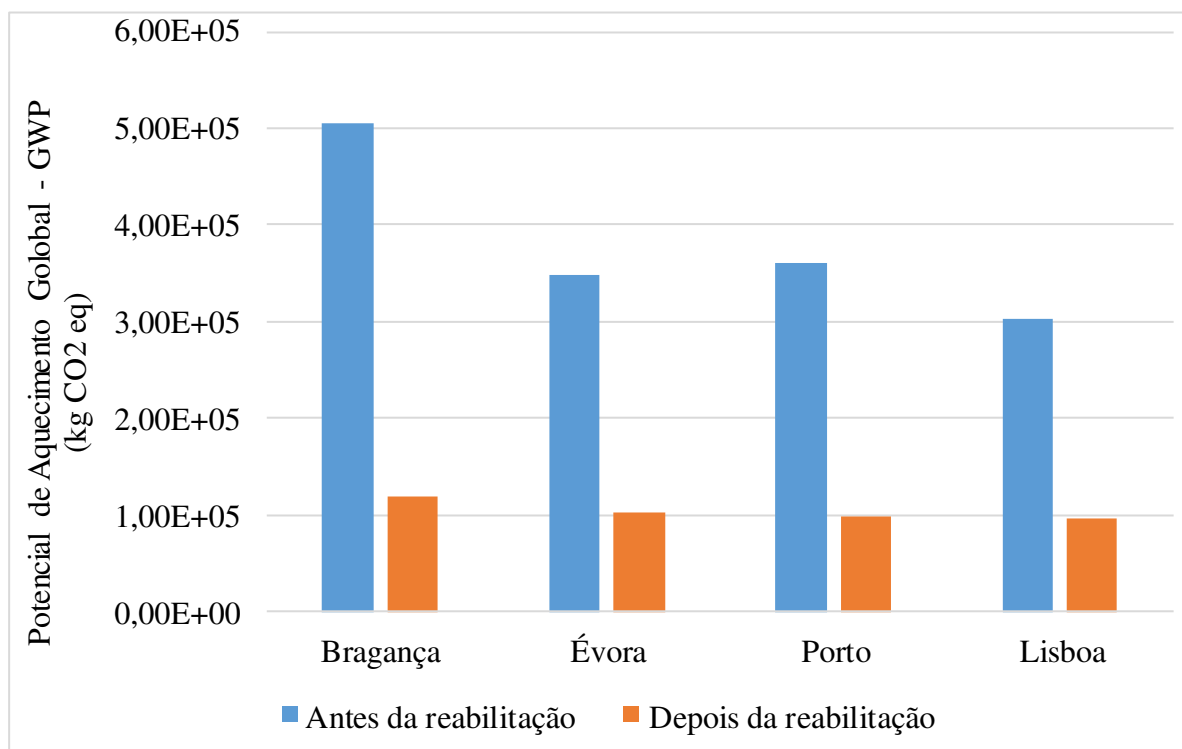


Figura 6 - Representação do Potencial de Aquecimento Global da fase de utilização do edifício antes e depois da reabilitação, para as localizações de Portugal

Aa Tabela 28 apresentam-se os impactes ambientais referentes à fase de utilização/operacão do edifício nas definidas localizações da Europa, depois da reabilitação.

Tabela 28 - Total de impactes associados à fase de utilização/operação do edifício nas localizações europeias – modelo ótimo

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	1,28E-01	1,19E-01	1,10E-01	1,08E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,71E+06	7,25E+05	1,71E+06	1,40E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,81E+05	4,86E+04	1,17E+05	9,52E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,28E-02	1,63E-02	1,40E-02	1,14E-02
Toxicidade Humana	1,80E+05	2,20E+04	2,22E+04	2,18E+04
Toxicidade para a água doce	2,72E+05	3,24E+04	3,54E+04	3,34E+04
Toxicidade para a água salgada	7,18E+08	3,68E+07	5,92E+07	7,22E+07
Toxicidade terrestre	7,73E+02	4,91E+02	4,85E+02	4,55E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,52E+01	1,16E+01	2,50E+01	2,29E+01
Acidificação	1,04E+03	2,07E+02	4,91E+02	4,93E+02
Eutrofização	1,45E+03	1,01E+02	3,16E+02	1,56E+02
Energia não renovável incorporada	2,81E+06	2,32E+06	1,88E+06	1,75E+06
Energia Renovável incorporada	8,47E+04	8,77E+04	2,14E+05	1,29E+05
Total de energia incorporada	2,89E+06	2,41E+06	2,10E+06	1,88E+06

Com a análise da Tabela 28, pode-se afirmar que em termos de utilização/operação do edifício já reabilitado os impactes diminuíram ligeiramente em relação ao edifício não reabilitado (modelo base). Isto devido ao fato de ser só considerado para o cálculo destes impactes a energia consumida pelo edifício, sem qualquer intervenção de manutenção do mesmo.

Na Figura 7 está representada a comparação dos valores de Potencial de Aquecimento Global entre as diferentes localizações europeias em relação a antes e depois da reabilitação. E

continua-se a verificar o mesmo que nas localizações portuguesas os valores do GWP baixam de forma significativamente como se pode verificar, considerando *mix* energéticos diferentes.

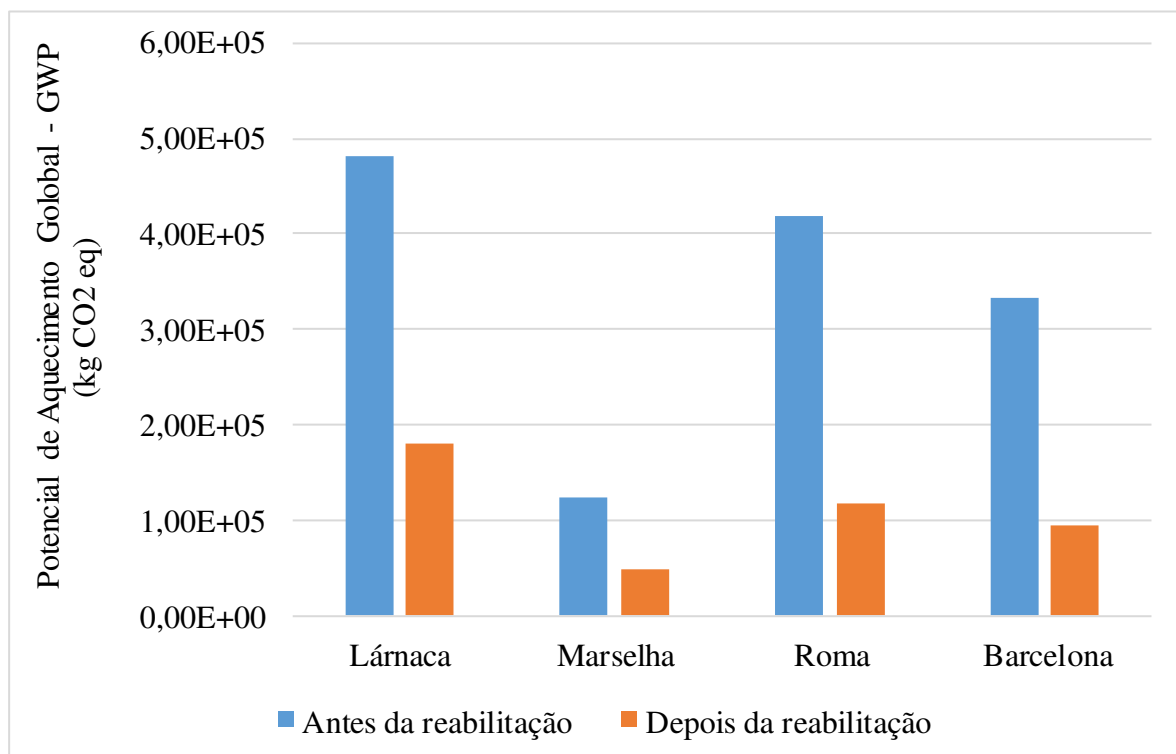


Figura 7 – Representação do Potencial de Aquecimento Global da fase de utilização do edifício antes e depois da reabilitação, para as localizações da Europa

Como já referido na análise do modelo base, edifício sem reabilitação, a localização com menores quantidades de energia consumida acaba por possuir os valores mais elevados de impactes associados, o que nos permite concluir que o seu *mix* energético tem maior impacte.

Para se contabilizar os impactes ambientais totais é necessário ter em consideração os benefícios da reciclagem, neste caso, só do vidro presente nas janelas da habitação, uma vez que as caixilharias são de PVC e não se considerou a reciclagem deste tipo de material. Neste sentido estão presentes na Tabela 29 os referidos impactes ambientais.

Tabela 29 - Total de impactes associados à reciclagem (benefícios ambientais) do vidro presente no edifício – modelo ótimo

Categorias de Impacte	Reciclagem do vidro
Esgotamento de recursos - ADP	-6,07E-04
Esgotamento de recursos fósseis	-2,96E+03
Potencial de aquecimento global - GWP	-2,46E+02
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	-2,87E-05
Toxicidade Humana	-5,29E+01
Toxicidade para a água doce	-2,95E+01
Toxicidade para a água salgada	-3,05E+05
Toxicidade terrestre	-1,86E-01
Formação de oxidantes químicos - POCP	-7,55E-02
Acidificação	-2,17E+00
Eutrofização	-3,34E-01
Energia não renovável incorporada	-3,11E+03
Energia Renovável incorporada	-3,24E+03
Total de energia incorporada	-6,35E+03

Depois de obter os impactes da construção do edifício e da sua utilização/operação, bem como os benefícios da reciclagem do vidro presente nas janelas, calculou-se os impactes totais associados ao edifício reabilitado compilados na Tabela 30, referentes às diferentes localizações de Portugal.

A diferença de valores entre as localizações em Portugal, presentes na Tabela 30 devem-se à energia consumida pelo edifício o que representa os impactes associados à fase de utilização/operação, a variável com mais poder.

Tabela 30 - Total de impactes do edifício nas localizações de Portugal – modelo ótimo (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	7,69E-01	7,48E-01	7,41E-01	7,40E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,04E+06	1,82E+06	1,75E+06	1,74E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,58E+05	1,41E+05	1,36E+05	1,35E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,08E-02	9,64E-03	9,27E-03	9,20E-03
Toxicidade Humana	4,85E+04	4,39E+04	4,25E+04	4,22E+04
Toxicidade para a água doce	5,26E+04	4,53E+04	4,31E+04	4,26E+04
Toxicidade para a água salgada	1,63E+08	1,46E+08	1,41E+08	1,40E+08
Toxicidade terrestre	6,26E+02	5,26E+02	4,96E+02	4,90E+02
Formação de oxidantes químicos – POCP	4,67E+01	4,14E+01	3,98E+01	3,95E+01
Acidificação	9,93E+02	8,62E+02	8,22E+02	8,15E+02
Eutrofização	2,46E+02	2,13E+02	2,03E+02	2,01E+02
Energia não renovável incorporada	2,17E+06	1,94E+06	1,86E+06	1,85E+06
Energia Renovável incorporada	2,99E+05	2,51E+05	2,36E+05	2,33E+05
Total de energia incorporada	2,47E+06	2,19E+06	2,10E+06	2,08E+06

Na Tabela 31 apresentam-se os valores dos impactes ambientais totais para os locais escolhidos na Europa.

Com a análise da Tabela 31 verificar que a cidade com os valores mais elevados de impactes é Lárnaca, local onde o edifício reabilitado consome menos energia devido ao clima existente.

Tabela 31 - Total de impactes do edifício nas localizações da Europa – modelo ótimo (considerando a construção, a utilização/operação e fim de vida do edifício)

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	7,73E-01	7,64E-01	7,55E-01	7,53E-01
Esgotamento de recursos fósseis	3,08E+06	1,10E+06	2,08E+06	1,77E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	2,16E+05	8,67E+04	1,55E+05	1,33E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,55E-02	1,89E-02	1,67E-02	1,41E-02
Toxicidade Humana	1,99E+05	4,17E+04	4,19E+04	4,15E+04
Toxicidade para a água doce	2,84E+05	4,43E+04	4,72E+04	4,53E+04
Toxicidade para a água salgada	7,48E+08	1,03E+08	1,26E+08	1,39E+08
Toxicidade terrestre	8,58E+02	5,76E+02	5,70E+02	5,40E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,65E+01	2,29E+01	3,64E+01	3,42E+01
Acidificação	1,22E+03	3,91E+02	6,75E+02	6,77E+02
Eutrofização	1,53E+03	1,64E+02	3,79E+02	2,18E+02
Energia não renovável incorporada	3,21E+06	2,73E+06	2,29E+06	2,16E+06
Energia Renovável incorporada	1,27E+05	1,30E+05	2,56E+05	1,70E+05
Total de energia incorporada	3,34E+06	2,86E+06	2,54E+06	2,33E+06

5.4 Sistemas solares térmicos

Os sistemas solares térmicos são atualmente uma ferramenta muito importante para permitir que os edifícios consumam a menor quantidade de energia possível. Atualmente, ambiciona-se uma construção cada vez mais sustentável e estes equipamentos contribuem para isso, diminuindo a energia consumida para a produção das AQS.

Durante este estudo comparou-se a utilização do sistema solar térmico padrão, ou seja um sistema segundo os mínimos regulamentares existentes no mercado com o sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS.

5.4.1 Sistema solar térmico padrão

O cálculo dos impactes ambientais associados ao sistema solar térmico padrão foi efetuado através da base de dados do SimaPro, existindo nesta base de dados um sistema padrão já predefinido obtendo-se assim os impactes associados à sua construção, que incluem a produção e a montagem no edifício.

Na Tabela 32 estão presentes os impactes totais da construção do sistema solar térmico padrão com uma área de 2,6m², área esta calculada em função da tipologia do caso de estudo, segundo o REH.

Tabela 32 - Impactes associados à construção do sistema solar térmico padrão, incluindo a sua produção e montagem

Categorias de Impacte	Construção
Esgotamento de recursos – ADP	6,69E-02
Esgotamento de recursos fósseis	1,69E+04
Potencial de aquecimento global - GWP	1,51E+03
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	1,83E-04
Toxicidade Humana	9,34E+03
Toxicidade para a água doce	3,05E+03
Toxicidade para a água salgada	8,39E+06
Toxicidade terrestre	1,83E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	8,72E-01
Acidificação	1,60E+01
Eutrofização	8,63E+00

Tabela 32 (cont.) - Impactes associados à construção do sistema solar térmico padrão, incluindo a sua produção e montagem

Categorias de Impacte	Construção
Energia não renovável incorporada	1,85E+04
Energia Renovável incorporada	2,72E+03
Total de energia incorporada	2,12E+04

A energia consumida pelo equipamento auxiliar, neste caso esquentador a gás, é a energia associada à operação do sistema solar térmico padrão.

Através da simulação dinâmica, no DesginBuilding, obteve-se a energia consumida pelo esquentador a gás, o que permitiu obter assim os impactes ambientais associados à operação do sistema solar térmico padrão. Na Tabela 33 encontram-se os valores dos impactes da operação do sistema para as localizações portuguesas.

Tabela 33 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico padrão em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	7,37E-02	7,30E-02	7,34E-02	7,32E-02
Esgotamento de recursos fósseis	3,27E+05	2,98E+05	3,17E+05	3,05E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	2,08E+04	1,90E+04	2,01E+04	1,94E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,31E-03	1,20E-03	1,27E-03	1,23E-03
Toxicidade Humana	1,20E+04	1,17E+04	1,19E+04	1,18E+04
Toxicidade para a água doce	4,14E+03	4,04E+03	4,10E+03	4,06E+03
Toxicidade para a água salgada	1,18E+07	1,15E+07	1,17E+07	1,15E+07
Toxicidade terrestre	2,42E+01	2,37E+01	2,40E+01	2,38E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,18E+00	4,78E+00	5,04E+00	4,88E+00

Tabela 33 (cont.) - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico padrão em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Acidificação	8,38E+01	7,75E+01	8,15E+01	7,90E+01
Eutrofização	1,34E+01	1,29E+01	1,32E+01	1,30E+01
Energia não renovável incorporada	3,32E+05	3,03E+05	3,21E+05	3,10E+05
Energia Renovável incorporada	3,95E+03	3,84E+03	3,91E+03	3,86E+03
Total de energia incorporada	3,36E+05	3,07E+05	3,25E+05	3,14E+05

A diferença de valores verificada na Tabela 33 deve-se ao fato do sistema solar térmico padrão não produzir quantidades iguais de energias nas diferentes localizações, o que era expectável uma vez que as localizações não têm a mesma radiação e número de horas de sol.

O mesmo acontece nas cidades Europeias selecionadas, mas neste caso com variações mais significativas, uma vez que o clima difere mais nestas localizações. Na Tabela 34 estão refletidos os valores da utilização/operação dos sistema solar térmico padrão ao longo da Europa mediterrânea.

Tabela 34 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico padrão nas localizações da Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	7,11E-02	7,35E-02	7,45E-02	7,43E-02
Esgotamento de recursos fósseis	2,11E+05	3,19E+05	3,64E+05	3,58E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	1,35E+04	2,02E+04	2,30E+04	2,27E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	8,86E-04	1,28E-03	1,44E-03	1,42E-03
Toxicidade Humana	1,10E+04	1,19E+04	1,23E+04	1,23E+04
Toxicidade para a água doce	3,73E+03	4,11E+03	4,27E+03	4,25E+03

Tabela 34 (cont.) - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico padrão nas localizações da Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Toxicidade para a água salgada	1,05E+07	1,17E+07	1,22E+07	1,21E+07
Toxicidade terrestre	2,20E+01	2,41E+01	2,49E+01	2,48E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	3,57E+00	5,07E+00	5,70E+00	5,61E+00
Acidificação	5,83E+01	8,19E+01	9,18E+01	9,05E+01
Eutrofização	1,16E+01	1,32E+01	1,39E+01	1,38E+01
Energia não renovável incorporada	2,14E+05	3,23E+05	3,69E+05	3,63E+05
Energia Renovável incorporada	3,49E+03	3,92E+03	4,10E+03	4,07E+03
Total de energia incorporada	2,18E+05	3,27E+05	3,73E+05	3,67E+05

Depois de usado, o sistema é levado para aterro, retirando o alumínio, vidro e cobre para a reciclagem. Assim, na Tabela 35 estão os impactes associados ao fim de vida do sistema após o ano 30.

Tabela 35 - Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico padrão, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre

Categorias de Impacte	Total de reciclagem
Esgotamento de recursos – ADP	-2,67E-02
Esgotamento de recursos fósseis	-2,49E+03
Potencial de aquecimento global – GWP	-2,02E+02
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	-1,43E-05
Toxicidade Humana	-7,08E+02
Toxicidade para a água doce	-2,80E+02
Toxicidade para a água salgada	-2,68E+06

Tabela 35 (cont.)- Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico padrão, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre

Categorias de Impacte	Total de reciclagem
Toxicidade terrestre	-7,35E-01
Formação de oxidantes químicos - POCP	-1,27E-01
Acidificação	-3,00E+00
Eutrofização	-2,75E+00
Energia não renovável incorporada	-2,64E+03
Energia Renovável incorporada	-3,04E+03
Total de energia incorporada	-5,68E+03

Na Tabela 35 pode-se verificar que o fim de vida do sistema solar térmico padrão contribui para a diminuição dos impactes totais, uma vez que só existem benefícios no fim de vida do sistema. Isto deve-se ao fato dos materiais em maiores quantidades presentes no sistema solar térmico serem reciclados.

Nas Tabelas 36 e 37 estão presentes os impactes ambientais totais associados ao sistema solar térmico padrão, contemplando a soma entre a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema.

Após análise dos valores totais dos impactes ambientais, em Portugal, pode-se verificar que a localização que possui os valores mais elevados de impactes ambientais é Bragança, o que coincide com a localização onde os valores dos impactes associados à utilização/operação do sistema são mais elevados.

Tabela 36 - Total de impactes do sistema solar térmico padrão em Portugal, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	1,14E-01	1,13E-01	1,14E-01	1,13E-01
Esgotamento de recursos fósseis	3,41E+05	3,13E+05	3,31E+05	3,20E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	2,21E+04	2,03E+04	2,14E+04	2,07E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,48E-03	1,37E-03	1,44E-03	1,40E-03
Toxicidade Humana	2,06E+04	2,04E+04	2,05E+04	2,04E+04
Toxicidade para a água doce	6,91E+03	6,81E+03	6,88E+03	6,84E+03
Toxicidade para a água salgada	1,75E+07	1,72E+07	1,74E+07	1,72E+07
Toxicidade terrestre	4,18E+01	4,12E+01	4,16E+01	4,13E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,93E+00	5,53E+00	5,79E+00	5,63E+00
Acidificação	9,67E+01	9,04E+01	9,45E+01	9,20E+01
Eutrofização	1,93E+01	1,88E+01	1,91E+01	1,89E+01
Energia não renovável incorporada	3,48E+05	3,19E+05	3,37E+05	3,26E+05
Energia Renovável incorporada	3,63E+03	3,52E+03	3,59E+03	3,55E+03
Total de energia incorporada	3,51E+05	3,22E+05	3,41E+05	3,29E+05

Sendo assim consegue-se afirmar que em Bragança o sistema solar térmico produz menos quantidade de energia para a preparação das AQS. Indiretamente pode-se dizer que a número de horas de sol em Bragança é menor que nas outras três localidades de Portugal.

Tabela 37 - Total de impactes do sistema solar térmico padrão nas localizações europeias, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	1,11E-01	1,14E-01	1,15E-01	1,15E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,25E+05	3,33E+05	3,78E+05	3,72E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	1,48E+04	2,15E+04	2,44E+04	2,40E+04
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	1,05E-03	1,45E-03	1,61E-03	1,59E-03
Toxicidade Humana	1,96E+04	2,06E+04	2,09E+04	2,09E+04
Toxicidade para a água doce	6,50E+03	6,88E+03	7,04E+03	7,02E+03
Toxicidade para a água salgada	1,62E+07	1,74E+07	1,79E+07	1,78E+07
Toxicidade terrestre	3,95E+01	4,16E+01	4,25E+01	4,24E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,31E+00	5,81E+00	6,44E+00	6,36E+00
Acidificação	7,13E+01	9,49E+01	1,05E+02	1,03E+02
Eutrofização	1,75E+01	1,91E+01	1,98E+01	1,97E+01
Energia não renovável incorporada	2,30E+05	3,39E+05	3,85E+05	3,79E+05
Energia Renovável incorporada	3,17E+03	3,60E+03	3,78E+03	3,76E+03
Total de energia incorporada	2,33E+05	3,43E+05	3,89E+05	3,83E+05

Os valores apresentados na Tabela 37 permitem averiguar que a localização com valores mais elevados de impacte ambiental é Roma, o que permite concluir que nesta localização o sistema solar térmico produz uma menor quantidade de energia fazendo com que o sistema auxiliar consuma maior quantidade de gás para culmar as necessidades de AQS.

Após análise das Tabelas 36 e 37 sabe-se que a utilização dos sistemas solares térmico padrão é o que mais influencia os impactes totais associados ao sistema.

Através da Figura 8 verifica-se que a fase de utilização/operação deste tipo de sistemas é que representa a grande percentagem de impactes totais dos sistemas solares térmicos padrão, desprezando os impactes ambientais associados à reciclagem do alumínio, cobre e vidro presentes no sistema, uma vez que contam como diminuição destes valores tendo valor negativo.

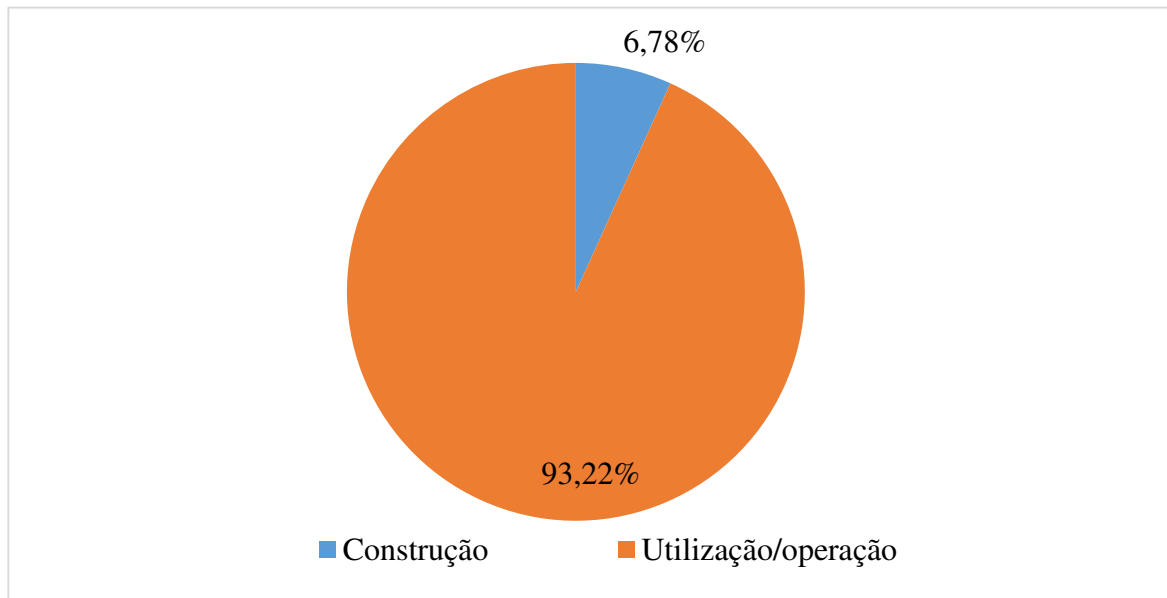


Figura 8 – Contribuição da fase de construção e utilização do sistema solar térmico padrão para os impactes totais – análise do Potencial de Aquecimento Global (GWP)

A sua construção/produção tem uma contribuição pequena quando comparada com a fase de utilização/operação que representa a energia do sistema solar, isto é a energia necessária para a preparação das AQS que não é satisfeita com a energia produzida pelo sistema.

Em relação ao uso convencional, do esquentador a gás, o sistema solar térmico padrão quando usado para a preparação das AQS diminui a quantidade de impactes ambientais libertados para o meio ambiente, como se pode verificar na Figura 9, que compara o Potencial de Aquecimento Global nas diferentes localizações para a utilização destes dois meios de preparação de AQS.

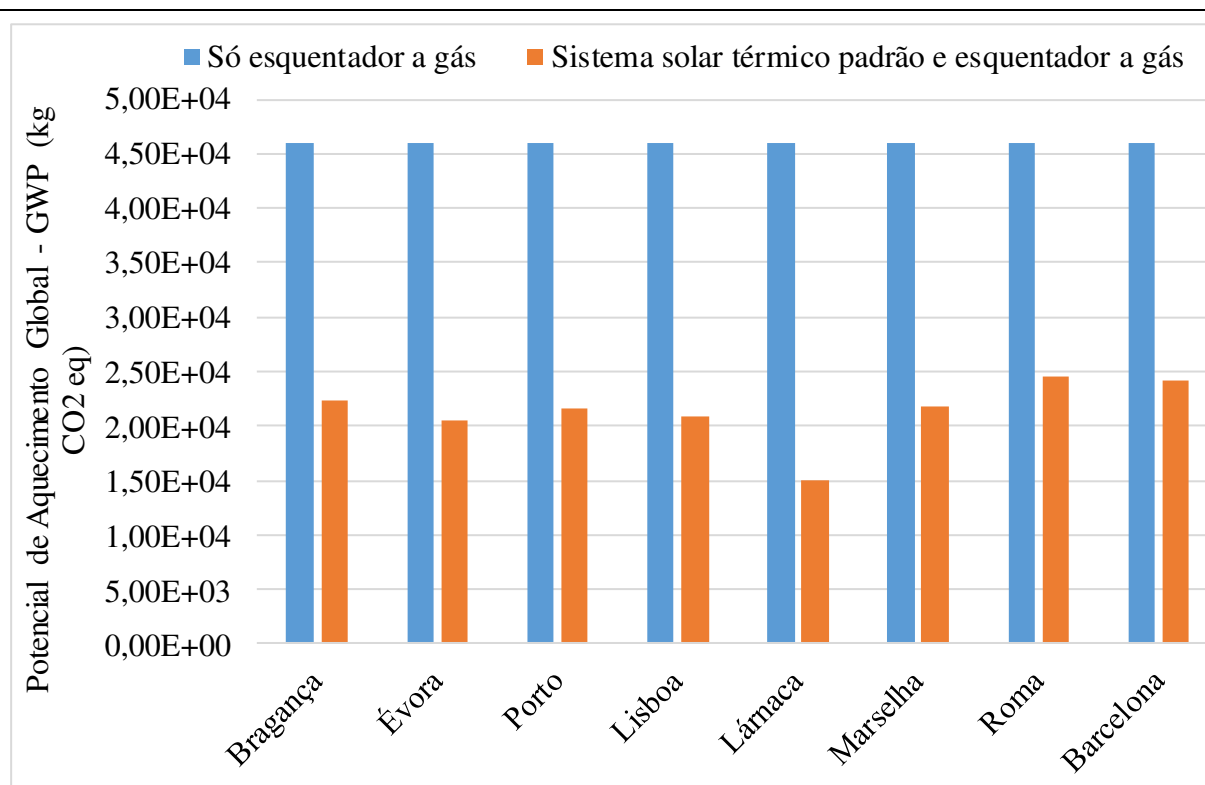


Figura 9 – Valores do Potencial de Aquecimento Global para a colocação e utilização do esquentador a gás e do sistema solar térmico padrão

Para o esquentador a gás os valores são iguais nas diferentes cidades, uma vez que a quantidade de energia para a preparação das águas quentes é igual em todos os locais com a sua colocação no edifício. Enquanto que para o sistema solar térmico padrão estes valores variam devido a sua produção de energia, ou seja existem locais onde a produção de energia é maior diminuindo assim a quantidade que o esquentador a gás tem que produzir, como meio auxiliar.

Assim conclui-se que a colocação do sistema solar térmico padrão tem um grande benefício ambiental quando comparado com o esquentador a gás no que diz respeito à produção de energia para a preparação das AQS.

5.4.2 Sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS

O sistema H2OSS é um sistema integrado nas caleiras, constituído por módulos de 0,1m², fazendo com que o sistema tenha na totalidade de área múltiplos deste valor.

Partindo do pressuposto que este sistema integrado na construção satisfaça as mesmas necessidades que o sistema solar térmico padrão usado chegou-se as seguintes áreas de coletor, presentes na Tabela 38.

Tabela 38 - Área do coletor H2OSS nas respectivas localizações

Localização	Área do coletor
Bragança	3,3m ²
Évora	3,2m ²
Porto	3,3m ²
Lisboa	3,1m ²
Lárnaca	3,2m ²
Marselha	3,2m ²
Roma	3,1m ²
Barcelona	3,0m ²

Estas áreas de coletor asseguram que o sistema produza no mínimo tanto quanto o sistema solar térmico padrão utilizado. Em algumas localizações o sistema H2OSS produz ligeiramente mais quantidade de energia, devido ao fato de se ter que utilizar múltiplos de módulos de 0,1 m².

Após saber-se a área de coletor que cada localização teria que possuir passou-se ao cálculo dos impactes ambientais da colocação do sistema no edifício. Assim estão presentes na Tabela 39 os impactes ambientais referentes à construção do sistema H2OSS, incluindo a sua produção e montagem para os locais em Portugal.

Como se pode verificar as variações entre os valores dos impactes ambientais são muito pequenas uma vez que a diferença entre as áreas dos coletor também o é.

Tabela 39 - Impactes associados à construção do sistema solar térmico H2OSS, incluindo a sua produção e montagem nas localizações portuguesas

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	6,56E-03	6,56E-03	6,56E-03	6,56E-03
Esgotamento de recursos fósseis	3,32E+03	3,31E+03	3,32E+03	3,31E+03
Potencial de aquecimento global - GWP	2,63E+02	2,62E+02	2,63E+02	2,62E+02
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	2,70E-05	2,69E-05	2,70E-05	2,68E-05
Toxicidade Humana	2,82E+03	2,82E+03	2,82E+03	2,82E+03
Toxicidade para a água doce	5,29E+02	5,29E+02	5,29E+02	5,29E+02
Toxicidade para a água salgada	6,28E+05	6,28E+05	6,28E+05	6,27E+05
Toxicidade terrestre	3,80E+00	3,80E+00	3,80E+00	3,80E+00
Formação de oxidantes químicos - POCP	9,76E-02	9,74E-02	9,76E-02	9,73E-02
Acidificação	1,67E+00	1,67E+00	1,67E+00	1,67E+00
Eutrofização	8,79E-01	8,78E-01	8,79E-01	8,77E-01
Energia não renovável incorporada	3,72E+03	3,72E+03	3,72E+03	3,71E+03
Energia Renovável incorporada	5,93E+02	5,92E+02	5,93E+02	5,90E+02
Total de energia incorporada	4,32E+03	4,31E+03	4,32E+03	4,30E+03

Na Tabela 40 estão os valores associados à construção do sistema H2OSS para as localizações da Europa mediterrânea, inclui os materiais para a sua produção, colocação e montagem no edifício.

Tabela 40 - Impactes associados à construção do sistema solar térmico H2OSS, incluindo a sua produção e montagem nas localizações europeias

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos – ADP	6,56E-03	6,56E-03	6,56E-03	6,56E-03
Esgotamento de recursos fósseis	3,31E+03	3,31E+03	3,31E+03	3,30E+03
Potencial de aquecimento global - GWP	2,62E+02	2,62E+02	2,62E+02	2,61E+02
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	2,69E-05	2,69E-05	2,68E-05	2,68E-05
Toxicidade Humana	2,82E+03	2,82E+03	2,82E+03	2,82E+03
Toxicidade para a água doce	5,29E+02	5,29E+02	5,29E+02	5,29E+02
Toxicidade para a água salgada	6,28E+05	6,28E+05	6,27E+05	6,26E+05
Toxicidade terrestre	3,80E+00	3,80E+00	3,80E+00	3,80E+00
Formação de oxidantes químicos - POCP	9,74E-02	9,74E-02	9,73E-02	9,72E-02
Acidificação	1,67E+00	1,67E+00	1,67E+00	1,66E+00
Eutrofização	8,78E-01	8,78E-01	8,77E-01	8,76E-01
Energia não renovável incorporada	3,72E+03	3,72E+03	3,71E+03	3,70E+03
Energia Renovável incorporada	5,92E+02	5,92E+02	5,90E+02	5,89E+02
Total de energia incorporada	4,31E+03	4,31E+03	4,30E+03	4,29E+03

Como acontece nas localizações de Portugal a variação entre os valores dos impactes ambientais associados a construção do sistema H2OSS é muito baixa, devido ao tamanho do coletor não variar significativamente, ou seja cerca de 0,2m².

Em relação à utilização do sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS, esta está relacionada como já referido anteriormente ao consumo de energia por parte do sistema auxiliar, com a manutenção do sistema e com a sua substituição no ano 20 da vida útil do sistema.

Na Tabela 41 estão os valores dos impactes ambientais associados à utilização/operação do sistema H2OSS, para a vida útil de 30 anos.

Tabela 41 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico H2OSS em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	1,56E-02	1,51E-02	1,53E-02	1,50E-02
Esgotamento de recursos fósseis	3,26E+05	3,00E+05	3,12E+05	2,99E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	2,05E+04	1,89E+04	1,96E+04	1,88E+04
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	1,23E-03	1,13E-03	1,18E-03	1,13E-03
Toxicidade Humana	6,18E+03	5,95E+03	6,06E+03	5,94E+03
Toxicidade para a água doce	2,18E+03	2,09E+03	2,13E+03	2,09E+03
Toxicidade para a água salgada	5,21E+06	4,92E+06	5,05E+06	4,91E+06
Toxicidade terrestre	1,70E+01	1,65E+01	1,68E+01	1,65E+01
Formação de oxidantes químicos – POCP	4,74E+00	4,38E+00	4,55E+00	4,37E+00
Acidificação	7,79E+01	7,22E+01	7,48E+01	7,21E+01
Eutrofização	7,92E+00	7,52E+00	7,70E+00	7,51E+00
Energia não renovável incorporada	3,31E+05	3,04E+05	3,16E+05	3,03E+05
Energia Renovável incorporada	5,11E+03	5,01E+03	5,06E+03	5,00E+03
Total de energia incorporada	3,36E+05	3,09E+05	3,21E+05	3,08E+05

A variação dos valores representados na Tabela 41 deve-se às diferenças existentes nas áreas dos coletores que vão fazer variar a quantidade de energia consumida pelo equipamento auxiliar, que é a variável mais significativa no cálculo dos impactes ambientais da fase de utilização/operação.

O mesmo acontece com os impactes associados à fase de utilização/operação do sistema H2OSS nos locais da Europa, como se pode verificar na Tabela 42.

Tabela 42 - Impactes associados à utilização/operação do sistema solar térmico H2OSS nas localizações da Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos – ADP	1,33E-02	1,54E-02	1,63E-02	1,63E-02
Esgotamento de recursos fósseis	2,26E+05	3,07E+05	3,62E+05	3,55E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	1,43E+04	1,91E+04	2,27E+04	2,22E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	8,78E-04	1,31E-03	1,44E-03	1,40E-03
Toxicidade Humana	7,31E+03	6,03E+03	6,40E+03	6,38E+03
Toxicidade para a água doce	5,04E+03	2,05E+03	2,27E+03	2,26E+03
Toxicidade para a água salgada	1,27E+07	4,37E+06	5,16E+06	5,36E+06
Toxicidade terrestre	1,86E+01	1,63E+01	1,76E+01	1,74E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	3,30E+00	4,34E+00	5,10E+00	5,05E+00
Acidificação	5,66E+01	6,87E+01	8,17E+01	8,14E+01
Eutrofização	2,40E+01	6,77E+00	1,05E+01	8,32E+00
Energia não renovável incorporada	2,30E+05	3,31E+05	3,68E+05	3,64E+05
Energia Renovável incorporada	2,55E+03	2,93E+03	4,97E+03	3,84E+03
Total de energia incorporada	2,32E+05	3,34E+05	3,73E+05	3,68E+05

Os impactes ambientais associados ao fim de vida do sistema H2OSS inclui a reciclagem do alumínio, vidro e cobre presentes no sistema bem com a colocação dos restantes materiais em aterro. Estes materiais são proporcionais à área do coletor usada em cada localização escolhida, logo os valores presentes na Tabela 43 que representam os impactes associados ao fim de vida do sistema nas localizações portuguesas, refletem essa variação de áreas dos coletores.

Tabela 43 - Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico H2OSS, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre - Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	-1,10E-02	-1,09E-02	-1,10E-02	-1,09E-02
Esgotamento de recursos fósseis	-6,40E+02	-6,24E+02	-6,40E+02	-6,08E+02
Potencial de aquecimento global – GWP	-5,27E+01	-5,11E+01	-5,27E+01	-4,94E+01
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	-3,67E-06	-3,59E-06	-3,67E-06	-3,51E-06
Toxicidade Humana	-2,61E+02	-2,58E+02	-2,61E+02	-2,56E+02
Toxicidade para a água doce	-1,23E+02	-1,21E+02	-1,23E+02	-1,20E+02
Toxicidade para a água salgada	-8,08E+05	-7,92E+05	-8,08E+05	-7,77E+05
Toxicidade terrestre	-2,42E-01	-2,37E-01	-2,42E-01	-2,33E-01
Formação de oxidantes químicos - POCP	-3,67E-02	-3,58E-02	-3,67E-02	-3,50E-02
Acidificação	-8,84E-01	-8,68E-01	-8,84E-01	-8,52E-01
Eutrofização	-1,10E+00	-1,10E+00	-1,10E+00	-1,09E+00
Energia não renovável incorporada	-6,84E+02	-6,68E+02	-6,84E+02	-6,51E+02
Energia Renovável incorporada	-8,09E+02	-7,90E+02	-8,09E+02	-7,72E+02
Total de energia incorporada	-1,49E+03	-1,46E+03	-1,49E+03	-1,42E+03

Como indicado anteriormente, os impactes associados ao fim de vida têm pequenas variações devido à área dos coletores o mesmo acontece nas localidades europeias escolhidas para execução deste trabalho. Na Tabela 44 estão os valores que representam os impactes ambientais na fase de fim de vida do sistema solar térmico integrado nas caleiras.

Tabela 44 - Impactes associados ao fim de vida do sistema solar térmico H2OSS, com a reciclagem do alumínio, vidro e cobre - Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	-1,09E-02	-1,09E-02	-1,09E-02	-1,09E-02
Esgotamento de recursos fósseis	-6,24E+02	-6,24E+02	-6,08E+02	-5,92E+02
Potencial de aquecimento global - GWP	-5,11E+01	-5,11E+01	-4,94E+01	-4,78E+01
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	-3,59E-06	-3,59E-06	-3,51E-06	-3,43E-06
Toxicidade Humana	-2,58E+02	-2,58E+02	-2,56E+02	-2,54E+02
Toxicidade para a água doce	-1,21E+02	-1,21E+02	-1,20E+02	-1,18E+02
Toxicidade para a água salgada	-7,92E+05	-7,92E+05	-7,77E+05	-7,61E+05
Toxicidade terrestre	-2,37E-01	-2,37E-01	-2,33E-01	-2,29E-01
Formação de oxidantes químicos - POCP	-3,58E-02	-3,58E-02	-3,50E-02	-3,42E-02
Acidificação	-8,68E-01	-8,68E-01	-8,52E-01	-8,35E-01
Eutrofização	-1,10E+00	-1,10E+00	-1,09E+00	-1,09E+00
Energia não renovável incorporada	-6,68E+02	-6,68E+02	-6,51E+02	-6,35E+02
Energia Renovável incorporada	-7,90E+02	-7,90E+02	-7,72E+02	-7,53E+02
Total de energia incorporada	-1,46E+03	-1,46E+03	-1,42E+03	-1,39E+03

Após o cálculo dos impactes da construção, utilização/operação e de fim de vida do sistema H2OSS obtemos o total dos impactes ambientais associado ao sistema. Estão compilados na Tabela 45 os impactes ambientais totais do sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS nas localidades portuguesas.

Tabela 45 - Total de impactes do sistema solar térmico H2OSS em Portugal, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	1,12E-02	1,07E-02	1,09E-02	1,07E-02
Esgotamento de recursos fósseis	3,28E+05	3,02E+05	3,14E+05	3,02E+05
Potencial de aquecimento global – GWP	2,07E+04	1,91E+04	1,98E+04	1,90E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,25E-03	1,15E-03	1,20E-03	1,15E-03
Toxicidade Humana	8,74E+03	8,51E+03	8,62E+03	8,51E+03
Toxicidade para a água doce	2,59E+03	2,50E+03	2,54E+03	2,50E+03
Toxicidade para a água salgada	5,03E+06	4,76E+06	4,87E+06	4,76E+06
Toxicidade terrestre	2,06E+01	2,01E+01	2,03E+01	2,01E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,80E+00	4,44E+00	4,61E+00	4,43E+00
Acidificação	7,87E+01	7,30E+01	7,56E+01	7,29E+01
Eutrofização	7,70E+00	7,30E+00	7,48E+00	7,29E+00
Energia não renovável incorporada	3,34E+05	3,07E+05	3,19E+05	3,06E+05
Energia Renovável incorporada	4,90E+03	4,81E+03	4,84E+03	4,82E+03
Total de energia incorporada	3,38E+05	3,12E+05	3,24E+05	3,11E+05

Na Tabela 45, pode-se verificar que a localidade com maiores impactes ambientais é Bragança, que coincide com a localidade com maior área de coletor. Como dito anteriormente também é esta a localização com mais energia consumida pelo equipamento auxiliar o que reflete que o sistema solar térmico produz menor quantidade de energia o que se deve ao fato da incidência solar ser menor.

Os valores totais dos impactes ambientais associados ao sistema solar térmico integrado nas caleiras nas localizações da Europa estão na Tabela 46.

Tabela 46 - Total de impactes do sistema solar térmico H2OSS nas localizações europeias, incluindo a construção, utilização/operação e fim de vida do sistema

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	8,91E-03	1,10E-02	1,20E-02	1,20E-02
Esgotamento de recursos fósseis	2,29E+05	3,10E+05	3,64E+05	3,58E+05
Potencial de aquecimento global - GWP	1,45E+04	1,94E+04	2,29E+04	2,24E+04
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	9,02E-04	1,33E-03	1,46E-03	1,42E-03
Toxicidade Humana	9,87E+03	8,59E+03	8,96E+03	8,94E+03
Toxicidade para a água doce	5,45E+03	2,46E+03	2,68E+03	2,67E+03
Toxicidade para a água salgada	1,25E+07	4,21E+06	5,01E+06	5,23E+06
Toxicidade terrestre	2,22E+01	1,98E+01	2,11E+01	2,10E+01
Formação de oxidantes químicos - POCP	3,37E+00	4,41E+00	5,17E+00	5,11E+00
Acidificação	5,74E+01	6,95E+01	8,25E+01	8,23E+01
Eutrofização	2,38E+01	6,55E+00	1,03E+01	8,11E+00
Energia não renovável incorporada	2,33E+05	3,34E+05	3,71E+05	3,67E+05
Energia Renovável incorporada	2,35E+03	2,73E+03	4,79E+03	3,68E+03
Total de energia incorporada	2,35E+05	3,37E+05	3,76E+05	3,71E+05

Após análise da Tabela 46 não é tão fácil como nas localizações portuguesas chegar ao local com maiores impactes ambientais visto que existem duas localizações que dividem entre elas os valores mais elevados dos impactes ambientais. Sendo Roma a localização onde o valor do Potencial de Aquecimento Global é mais elevado, podendo-se assim afirmar que este local é pior em termos de impactes ambientais para a colocação do sistema solar térmico integrado nas caleiras, H2OSS.

Como se pode verificar na Figura 10 a fase da utilização/operação do sistema H2OSS é a que mais contribui para os impactes ambientais totais do sistema solar térmico integrado nas caleiras.

A fase da construção e produção do sistema tem um peso muito baixo cerca de 1,27%, que comparado com o representado na Figura 10, a fase de construção do sistema solar térmico padrão tem maior contribuição para os impactes ambientais totais, cerca de 6,78%.

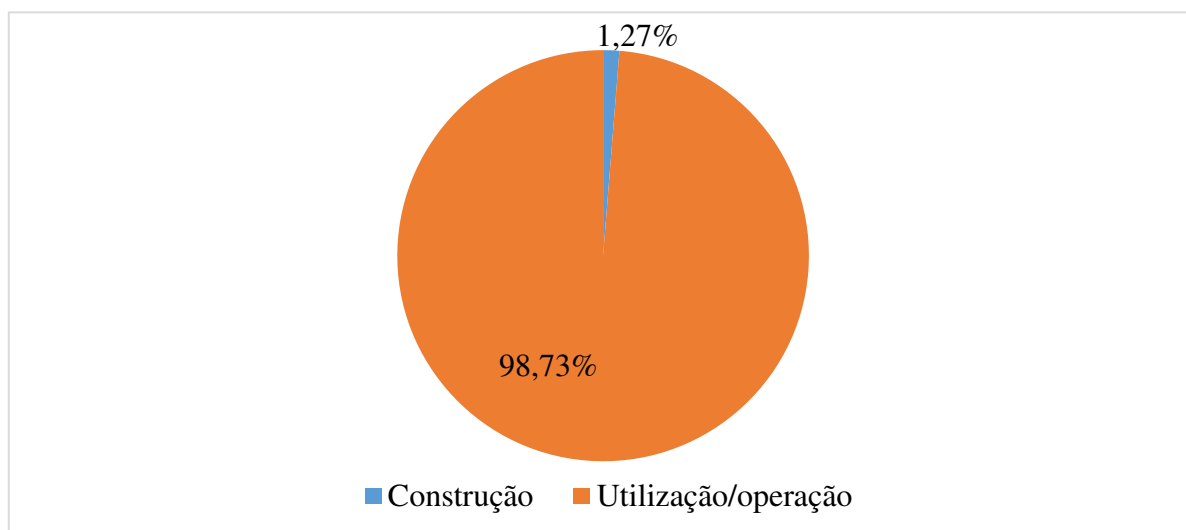


Figura 10 – Contribuição de cada fase do ciclo de vida do Sistema solar térmico integrado nas caleiras H2OSS – análise do Potencial de aquecimento global (GWP)

5.4.3 Análise dos sistemas térmicos usados

Neste estudo foram usados dois sistemas solar térmicos diferentes, nomeadamente o sistema mais usado em Portugal, considerado pelo REH como sistema solar térmico padrão e um sistema desenvolvido recentemente que é integrado na construção neste caso nas caleiras – H2OSS.

Anteriormente, foram enumerados os impactes totais destes sistemas em separado e qual das fases do seu ciclo de vida é que contribui mais para esses impactes ambientais totais.

O sistema solar térmico padrão tem uma área de coletor predefinida conforme a tipologia do edifício, enquanto que no sistema solar térmico integrado nas caleiras a área do sistema foi definida de forma a igualar a produção de energia do sistema solar térmico padrão.

Na Figura 11 pode-se verificar que o sistema solar térmico padrão possui impactes ambientais, na categoria de Potencial de Aquecimento Global (GWP), mais elevados do que o sistema solar térmico integrado nas caleiras, mesmo sabendo que os coletores deste último possuem mais área de absorção.

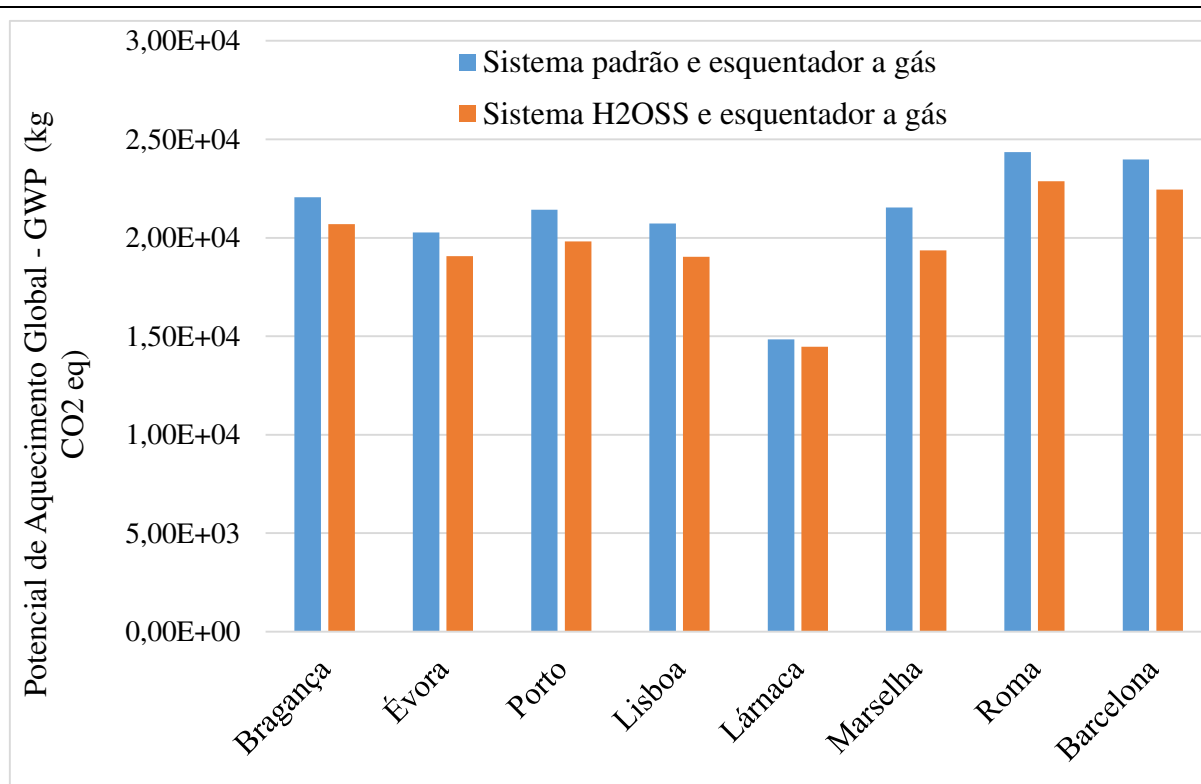


Figura 11 – Diferença do Potencial de Aquecimento Global – GWP, total de impactes ambientais entre o sistema solar térmico padrão e o integrado nas caleiras H2OSS

Em relação à construção dos dois sistemas também é visível a diferença entre os valores, uma vez que o sistema solar térmico padrão tem os mesmos valores para as diferentes localizações enquanto o sistema H2OSS os valores dos impactes da construção diferem de localização para localização devido à diferença nas áreas dos coletores, mesmo assim são variações muito baixas.

É visível na Figura 12 que o valor dos impactes ambientais na fase da construção são mais elevados no sistema solar térmico padrão em relação aos sistema solar térmico integrado nas caleiras.

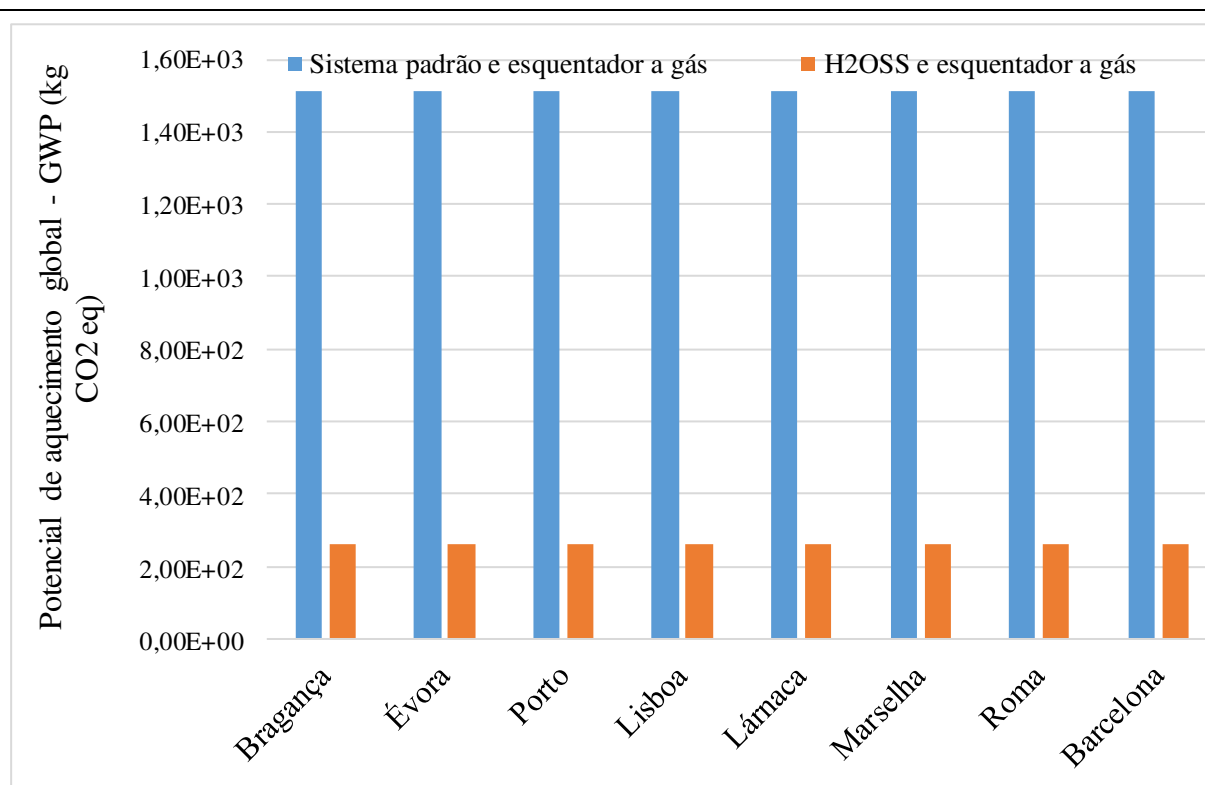


Figura 12 - Diferença dos valores do Potencial de Aquecimento Global na fase da construção entre o sistema solar térmico padrão e o integrado nas caleiras H2OSS

Mesmo tendo o sistema solar térmico integrado nas caleiras áreas de coletores mais elevadas para satisfazer as mesmas necessidades que o sistema solar térmico padrão, como se pode verificar na Figura 12 os valores do Potencial de Aquecimento Global são mais baixos, o que nos permite concluir que a integração do sistema H2OSS no edifício tem menos impactos ambientais do que o sistema solar térmico padrão.

Sendo a fase de utilização/operação a que mais contribui para o impacto ambiental total do ciclo de vida dos sistemas, pode-se verificar na Figura 13 a diferença entre esta fase nos dois sistemas utilizados no edifício.

A Figura 13 permite analisar que existe pelo menos uma localização em que o sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS tem valor de impacto ambiental superior ao sistema solar térmico padrão no que diz respeito á utilização dos sistemas. Isto deve-se ao fato de na localização de Lárnaca o *mix* energético tem grande impacto ambiental, uma vez que a quantidade de energia necessária para a utilização do sistema solar térmico integrado nas caleiras é menor que a necessária para o sistema solar térmico padrão.

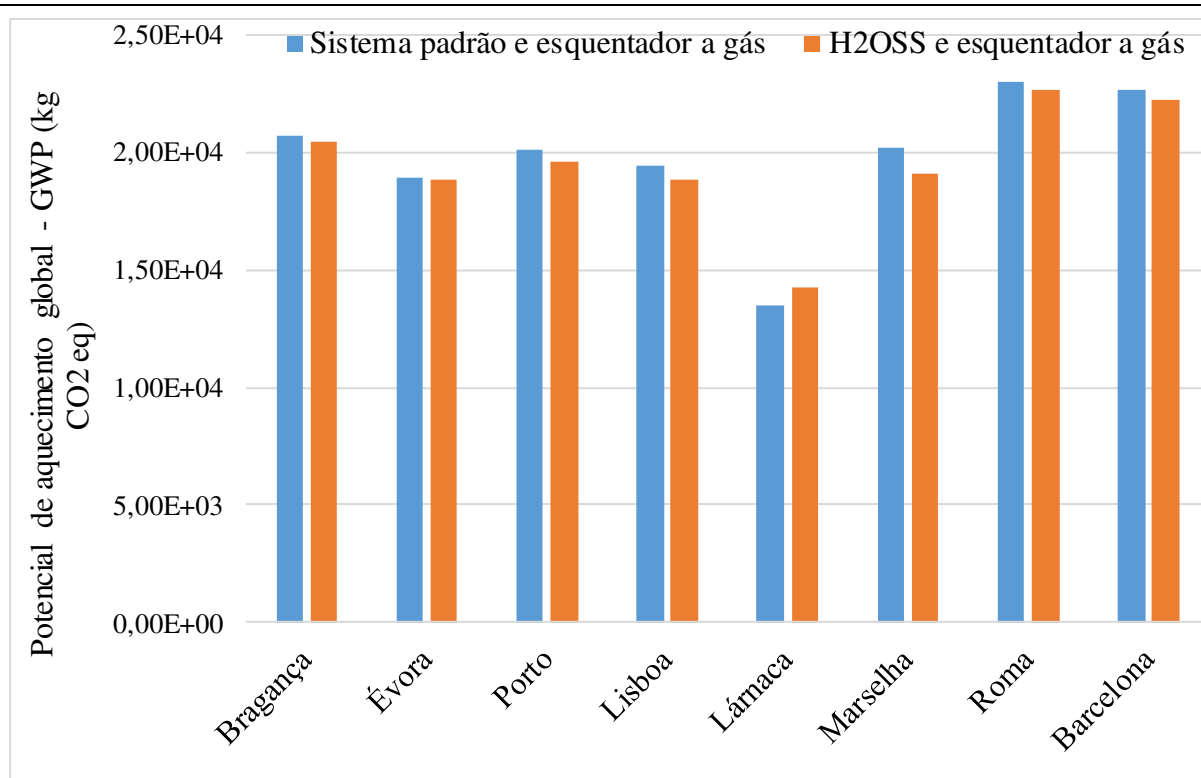


Figura 13 – Diferença dos impactes ambientais na fase de utilização/operação entre o sistemas solar térmico padrão e o integrado nas caleiras H2OSS, para a categoria de impacte GWP

No que diz respeito à fase de fim de vida é fácil prever a conclusão, uma vez que é proporcional à construção do sistema. Analisando a construção dos sistemas usados no estudo pode-se afirmar que os benefícios da reciclagem são mais elevados para o sistema solar térmico padrão devido a quantidade de materiais que têm a possibilidade de virem a ser reciclados.

Em relação, agora à contribuição do sistema solar térmico padrão no conjunto do edifício, pode-se afirmar que esta em termos de impactes ambientais não é assim muito elevada, como se pode verificar na Figura 14. O sistema padrão contribui em 4,23% para os impactes totais, contando a sua construção, utilização/operação e fim de vida para essa percentagem.

A grande quantidade de impactes totais está associada ao edifício, nomeadamente à sua construção, utilização/operação e fim de vida, mas como já referido é a fase de utilização/operação que mais contribui.

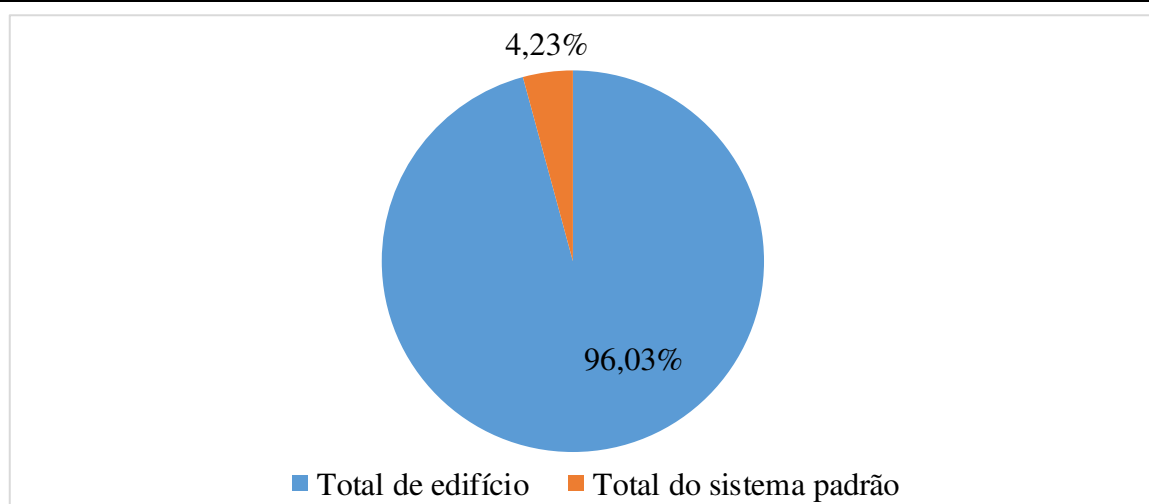


Figura 14 – Contribuição do sistema solar térmico padrão no total dos impactes ambientais

Os 4,23% representados na Figura 14, como já referido anteriormente contém as 3 fases do ciclo de vida do sistema solar térmico padrão. Podendo também fazer-se uma análise da contribuição de cada fase do ciclo de vida do conjunto do edifício e do sistema, representada na Figura 15.

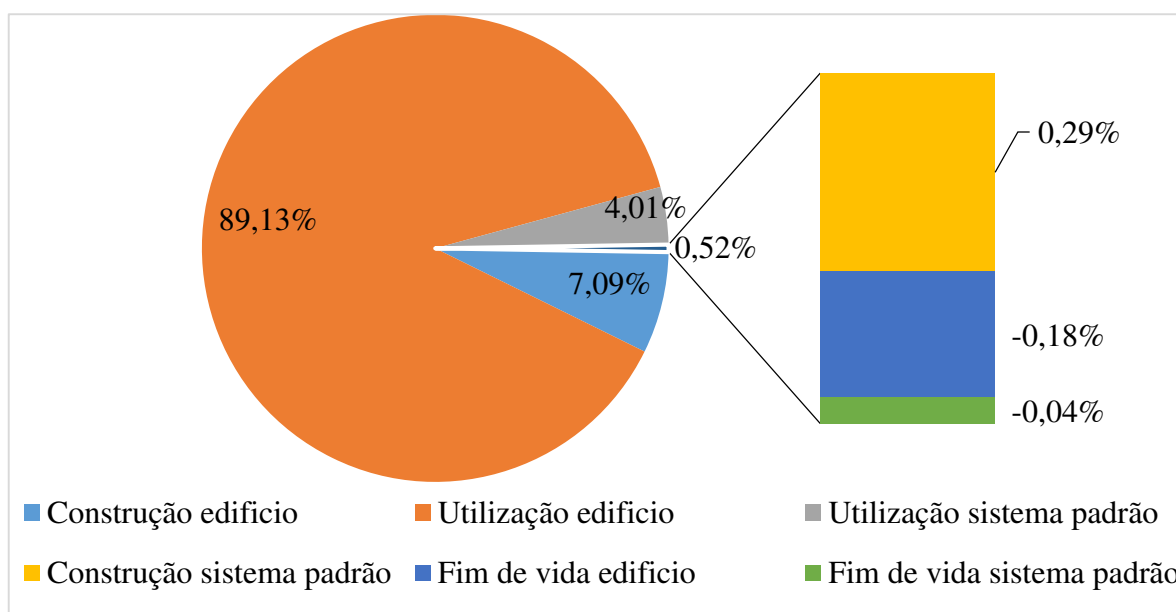


Figura 15 - Contribuição de cada fase do ciclo de vida do sistema solar térmico padrão e do edifício

Na Figura 15 verifica-se que dentro dos 4,23% dos impactes ambientais totais representados na Figura 14, é a fase de utilização/operação que mais contribui para esse valor. O mesmo

acontece com os impactes associados ao edifício, pois é a fase de utilização/operação do mesmo que representa a maior fatia destes impactes ambientais.

Em relação ao sistema solar térmico integrado nas caleiras a percentagem com que este sistema contribui para o total de impactes ambientais é um pouco mais baixa comparado com o sistema solar térmico padrão, como se pode verificar na Figura 16.

O valor percentual é ligeiramente mais baixo devido ao fato dos valores dos impactes ambientais da fase da construção serem mais baixos que os do sistema solar térmico padrão, bem como a sua utilização/operação ser ligeiramente melhor em termo ambientais.

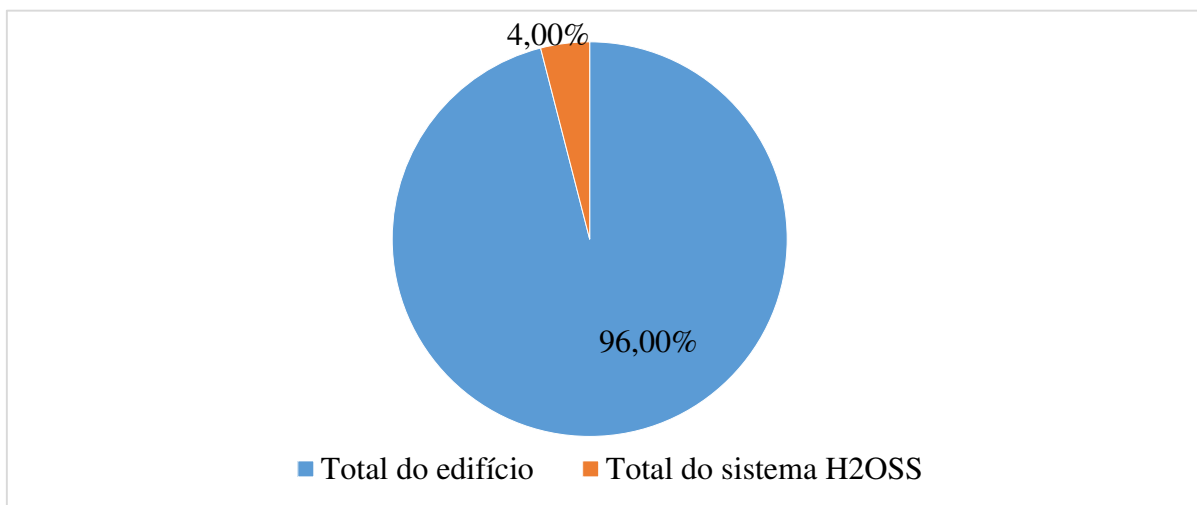


Figura 16 – Contribuição do sistema solar térmico integrado nas caleiras, H2OSS, no total dos impactes ambientais de ciclo de vida do edifício

Analisando agora as contribuições das diferentes fases do ciclo de vida do conjunto, edifício e sistema H2OSS, presentes na Figura 17 pode-se concluir o mesmo que já foi referido em relação ao sistema solar térmico padrão. As fases que mais influenciam nas diferenças percentuais visíveis na Figura 17 são nomeadamente a fase de utilização/operação do edifício e do sistema solar térmico integrado nas caleiras.

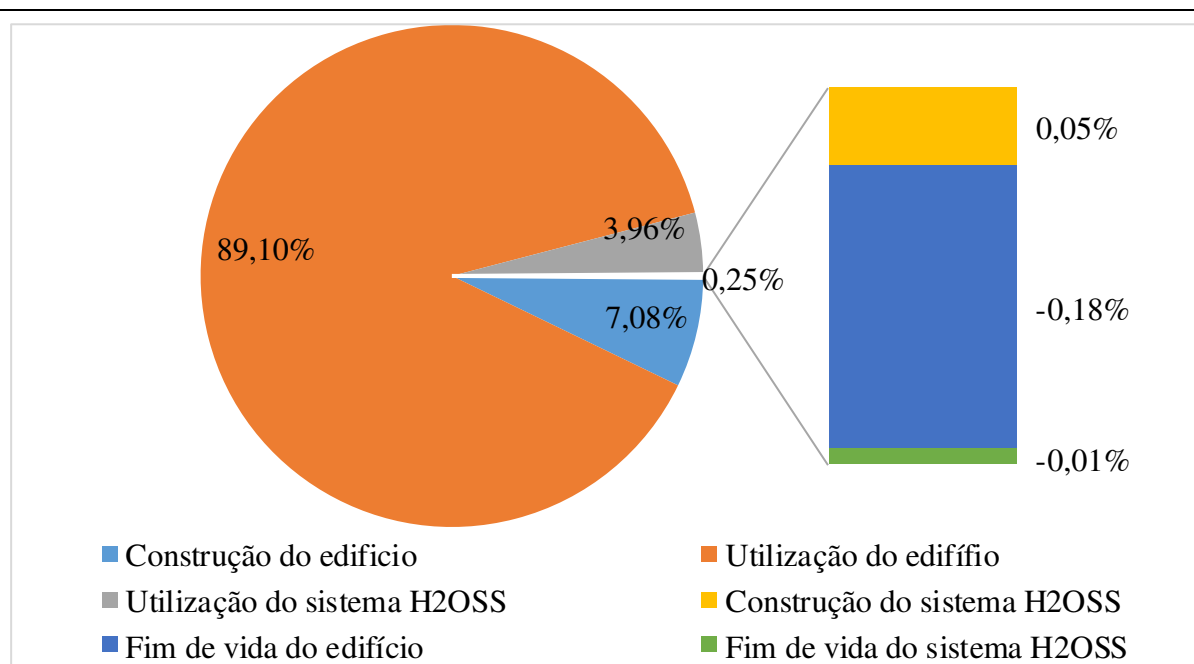


Figura 17 – Contribuição de cada fase do ciclo de vida do sistema H2OSS e do edifício onde foi integrado

A diferença mais visível na análise em paralelo das Figuras 15 e 17 está na fase de construção dos sistemas, o que reforça o que foi referido anteriormente. Apesar de área de absorção do sistema H2OSS ser maior os impactos associados à construção deste sistema são menores que os do sistema solar térmico padrão.

5.5 Diferentes cenários

Como já referido neste trabalho estudou-se a colocação dos dois sistemas solares térmicos no edifício em diferentes cenários, para os dois modelos usados, nomeadamente o modelo base e o modelo ótimo que representa o edifício reabilitado. Segue-se a apresentação dos resultados dos diferentes cenários.

5.5.1 Apresentação dos impactes ambientais totais para cada cenário

I. Cenário base

Tabela 47 - Total de impactes ambientais do cenário base, para as localizações portuguesas

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	1,17E+00	9,66E-01	9,82E-01	9,09E-01
Esgotamento de recursos fósseis	7,11E+06	5,04E+06	5,21E+06	4,45E+06
Potencial de aquecimento global – GWP	5,42E+05	3,84E+05	3,97E+05	3,39E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,82E-02	2,69E-02	2,78E-02	2,37E-02
Toxicidade Humana	1,51E+05	1,07E+05	1,10E+05	9,44E+04
Toxicidade para a água doce	2,16E+05	1,46E+05	1,52E+05	1,27E+05
Toxicidade para a água salgada	5,37E+08	3,74E+08	3,88E+08	3,28E+08
Toxicidade terrestre	2,85E+03	1,90E+03	1,98E+03	1,64E+03
Formação de oxidantes químicos – POCP	1,68E+02	1,17E+02	1,21E+02	1,03E+02
Acidificação	3,96E+03	2,71E+03	2,82E+03	2,36E+03
Eutrofização	9,85E+02	6,69E+02	6,96E+02	5,80E+02
Energia não renovável incorporada	7,64E+06	5,40E+06	5,59E+06	4,77E+06
Energia Renovável incorporada	1,36E+06	9,07E+05	9,45E+05	7,78E+05
Total de energia incorporada	9,00E+06	6,30E+06	6,53E+06	5,54E+06

Tabela 48 - Total de impactes ambientais do cenário base, para as localizações da Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	9,21E-01	1,07E+00	1,01E+00	1,02E+00
Esgotamento de recursos fósseis	7,51E+06	2,07E+06	6,32E+06	5,08E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	5,17E+05	1,59E+05	4,54E+05	3,68E+05
Potencial de destruição de camada de ozono - ODP	3,73E-02	7,11E-02	5,83E-02	4,83E-02
Toxicidade Humana	5,35E+05	1,04E+05	1,01E+05	1,02E+05
Toxicidade para a água doce	8,03E+05	1,52E+05	1,59E+05	1,55E+05
Toxicidade para a água salgada	2,14E+09	2,05E+08	2,97E+08	3,63E+08
Toxicidade terrestre	2,32E+03	2,28E+03	2,15E+03	2,09E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,31E+02	4,08E+01	9,82E+01	9,11E+01
Acidificação	3,02E+03	7,62E+02	1,98E+03	2,04E+03
Eutrofização	4,29E+03	4,94E+02	1,41E+03	7,33E+02
Energia não renovável incorporada	7,81E+06	9,37E+06	7,07E+06	6,68E+06
Energia Renovável incorporada	2,76E+05	4,25E+05	9,59E+05	6,04E+05
Total de energia incorporada	8,09E+06	9,79E+06	8,03E+06	7,28E+06

II. Cenário 1

Tabela 49 - Total de impactes ambientais do cenário 1, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	1,27E+00	1,06E+00	1,08E+00	1,01E+00
Esgotamento de recursos fósseis	6,72E+06	4,62E+06	4,82E+06	4,04E+06

Tabela 49 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 1, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Potencial de aquecimento global - GWP	5,19E+05	3,59E+05	3,73E+05	3,15E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,71E-02	2,56E-02	2,67E-02	2,24E-02
Toxicidade Humana	1,65E+05	1,21E+05	1,25E+05	1,09E+05
Toxicidade para a água doce	2,21E+05	1,51E+05	1,57E+05	1,31E+05
Toxicidade para a água salgada	5,47E+08	3,84E+08	3,98E+08	3,38E+08
Toxicidade terrestre	2,89E+03	1,93E+03	2,02E+03	1,67E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,63E+02	1,12E+02	1,17E+02	9,81E+01
Acidificação	3,90E+03	2,65E+03	2,76E+03	2,29E+03
Eutrofização	9,94E+02	6,78E+02	7,05E+02	5,89E+02
Energia não renovável incorporada	7,25E+06	4,98E+06	5,19E+06	4,36E+06
Energia Renovável incorporada	1,37E+06	9,08E+05	9,47E+05	7,80E+05
Total de energia incorporada	8,62E+06	5,89E+06	6,14E+06	5,13E+06

Tabela 50 - Total de impactes ambientais do cenário 1, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	1,02E+00	1,17E+00	1,11E+00	1,11E+00
Esgotamento de recursos fósseis	7,00E+06	1,67E+06	6,02E+06	4,71E+06

Tabela 50 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 1, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Potencial de aquecimento global – GWP	4,87E+05	1,35E+05	4,36E+05	3,46E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,57E-02	6,99E-02	5,78E-02	4,71E-02
Toxicidade Humana	5,49E+05	1,18E+05	1,16E+05	1,16E+05
Toxicidade para a água doce	8,08E+05	1,57E+05	1,65E+05	1,59E+05
Toxicidade para a água salgada	2,15E+09	2,15E+08	3,09E+08	3,72E+08
Toxicidade terrestre	2,34E+03	2,31E+03	2,20E+03	2,11E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,25E+02	3,64E+01	9,53E+01	8,71E+01
Acidificação	2,93E+03	6,96E+02	1,94E+03	1,98E+03
Eutrofização	4,30E+03	5,02E+02	1,43E+03	7,39E+02
Energia não renovável incorporada	7,30E+06	8,97E+06	6,78E+06	6,30E+06
Energia Renovável incorporada	2,76E+05	4,26E+05	9,69E+05	6,03E+05
Total de energia incorporada	7,58E+06	9,39E+06	7,75E+06	6,90E+06

III. Cenário 2

Tabela 51 - Total de impactes ambientais do cenário 2, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	1,16E+00	9,61E-01	9,78E-01	9,04E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,71E+06	4,61E+06	4,80E+06	4,03E+06

Tabela 51 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 2, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Potencial de aquecimento global - GWP	5,17E+05	3,58E+05	3,72E+05	3,13E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,69E-02	2,54E-02	2,64E-02	2,22E-02
Toxicidade Humana	1,53E+05	1,09E+05	1,13E+05	9,68E+04
Toxicidade para a água doce	2,16E+05	1,46E+05	1,52E+05	1,27E+05
Toxicidade para a água salgada	5,35E+08	3,71E+08	3,86E+08	3,26E+08
Toxicidade terrestre	2,86E+03	1,91E+03	1,99E+03	1,64E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,62E+02	1,11E+02	1,16E+02	9,69E+01
Acidificação	3,88E+03	2,63E+03	2,74E+03	2,27E+03
Eutrofização	9,82E+02	6,66E+02	6,93E+02	5,77E+02
Energia não renovável incorporada	7,24E+06	4,97E+06	5,17E+06	4,33E+06
Energia Renovável incorporada	1,37E+06	9,09E+05	9,49E+05	7,81E+05
Total de energia incorporada	8,60E+06	5,88E+06	6,12E+06	5,12E+06

Tabela 52 - Total de impactes ambientais do cenário 2, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	9,14E-01	1,07E+00	1,01E+00	1,01E+00
Esgotamento de recursos fósseis	7,00E+06	1,65E+06	6,00E+06	4,71E+06

Tabela 52 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 2, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Potencial de aquecimento global - GWP	4,86E+05	1,33E+05	4,35E+05	3,45E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,56E-02	6,98E-02	5,76E-02	4,71E-02
Toxicidade Humana	5,39E+05	1,06E+05	1,04E+05	1,04E+05
Toxicidade para a água doce	8,07E+05	1,52E+05	1,61E+05	1,55E+05
Toxicidade para a água salgada	2,15E+09	2,02E+08	2,96E+08	3,60E+08
Toxicidade terrestre	2,32E+03	2,28E+03	2,18E+03	2,10E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,24E+02	3,49E+01	9,40E+01	8,61E+01
Acidificação	2,92E+03	6,71E+02	1,91E+03	1,96E+03
Eutrofização	4,31E+03	4,89E+02	1,42E+03	7,30E+02
Energia não renovável incorporada	7,30E+06	8,96E+06	6,76E+06	6,31E+06
Energia Renovável incorporada	2,75E+05	4,25E+05	9,70E+05	6,05E+05
Total de energia incorporada	7,58E+06	9,39E+06	7,73E+06	6,91E+06

IV. Cenário 3

Tabela 53 - Total de impactes ambientais do cenário 3, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	1,17E+00	9,67E-01	9,84E-01	9,10E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,95E+06	4,87E+06	5,05E+06	4,29E+06

Tabela 53 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 3, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Potencial de aquecimento global - GWP	5,32E+05	3,74E+05	3,87E+05	3,29E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,77E-02	2,63E-02	2,73E-02	2,31E-02
Toxicidade Humana	1,55E+05	1,11E+05	1,15E+05	9,90E+04
Toxicidade para a água doce	2,17E+05	1,47E+05	1,53E+05	1,28E+05
Toxicidade para a água salgada	5,37E+08	3,75E+08	3,88E+08	3,29E+08
Toxicidade terrestre	2,87E+03	1,92E+03	2,00E+03	1,65E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,66E+02	1,15E+02	1,19E+02	1,01E+02
Acidificação	3,94E+03	2,68E+03	2,79E+03	2,33E+03
Eutrofização	9,86E+02	6,70E+02	6,97E+02	5,81E+02
Energia não renovável incorporada	7,48E+06	5,23E+06	5,42E+06	4,60E+06
Energia Renovável incorporada	1,37E+06	9,11E+05	9,49E+05	7,82E+05
Total de energia incorporada	8,85E+06	6,14E+06	6,37E+06	5,39E+06

Tabela 54 - Total de impactes ambientais do cenário 3, para as localizações na Euro

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	9,23E-01	1,07E+00	1,02E+00	1,02E+00
Esgotamento de recursos fósseis	7,36E+06	1,89E+06	6,21E+06	4,90E+06

Tabela 54 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 3, para as localizações na Euro

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Potencial de aquecimento global - GWP	5,08E+05	1,48E+05	4,48E+05	3,57E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,68E-02	7,07E-02	5,84E-02	4,77E-02
Toxicidade Humana	5,42E+05	1,08E+05	1,06E+05	1,06E+05
Toxicidade para a água doce	8,08E+05	1,53E+05	1,61E+05	1,56E+05
Toxicidade para a água salgada	2,15E+09	2,05E+08	2,99E+08	3,62E+08
Toxicidade terrestre	2,33E+03	2,29E+03	2,19E+03	2,10E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,29E+02	3,84E+01	9,69E+01	8,87E+01
Acidificação	3,00E+03	7,25E+02	1,96E+03	2,00E+03
Eutrofização	4,31E+03	4,93E+02	1,43E+03	7,31E+02
Energia não renovável incorporada	7,66E+06	9,21E+06	6,97E+06	6,50E+06
Energia Renovável incorporada	2,77E+05	4,26E+05	9,71E+05	6,04E+05
Total de energia incorporada	7,94E+06	9,64E+06	7,94E+06	7,10E+06

V. Cenário 4

Tabela 55 - Total de impactes ambientais do cenário 4, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	1,16E+00	9,63E-01	9,80E-01	9,06E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,76E+06	4,69E+06	4,87E+06	4,11E+06

Tabela 55 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 4, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Potencial de aquecimento global - GWP	5,21E+05	3,62E+05	3,76E+05	3,18E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,71E-02	2,57E-02	2,67E-02	2,25E-02
Toxicidade Humana	1,54E+05	1,10E+05	1,14E+05	9,75E+04
Toxicidade para a água doce	2,17E+05	1,47E+05	1,53E+05	1,27E+05
Toxicidade para a água salgada	5,35E+08	3,72E+08	3,86E+08	3,27E+08
Toxicidade terrestre	2,87E+03	1,91E+03	2,00E+03	1,65E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,63E+02	1,12E+02	1,17E+02	9,81E+01
Acidificação	3,90E+03	2,64E+03	2,75E+03	2,29E+03
Eutrofização	9,83E+02	6,67E+02	6,94E+02	5,79E+02
Energia não renovável incorporada	7,29E+06	5,05E+06	5,24E+06	4,42E+06
Energia Renovável incorporada	1,37E+06	9,10E+05	9,49E+05	7,81E+05
Total de energia incorporada	8,66E+06	5,96E+06	6,19E+06	5,20E+06

Tabela 56 - Total de impactes ambientais do cenário 4, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	9,18E-01	1,07E+00	1,01E+00	1,01E+00
Esgotamento de recursos fósseis	7,17E+06	1,71E+06	6,03E+06	4,72E+06

Tabela 56 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 4, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Potencial de aquecimento global - GWP	4,97E+05	1,37E+05	4,36E+05	3,46E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,62E-02	7,00E-02	5,77E-02	4,70E-02
Toxicidade Humana	5,41E+05	1,06E+05	1,04E+05	1,04E+05
Toxicidade para a água doce	8,07E+05	1,53E+05	1,61E+05	1,55E+05
Toxicidade para a água salgada	2,15E+09	2,02E+08	2,97E+08	3,60E+08
Toxicidade terrestre	2,33E+03	2,29E+03	2,18E+03	2,09E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,27E+02	3,59E+01	9,44E+01	8,62E+01
Acidificação	2,96E+03	6,85E+02	1,92E+03	1,96E+03
Eutrofização	4,31E+03	4,90E+02	1,42E+03	7,28E+02
Energia não renovável incorporada	7,48E+06	9,03E+06	6,79E+06	6,31E+06
Energia Renovável incorporada	2,76E+05	4,25E+05	9,70E+05	6,03E+05
Total de energia incorporada	7,75E+06	9,45E+06	7,76E+06	6,92E+06

VI. Cenário 5

Tabela 57 - Total de impactes ambientais do cenário 5, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	1,16E+00	9,58E-01	9,76E-01	9,01E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,59E+06	4,52E+06	4,69E+06	3,92E+06

Tabela 57 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 5, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Potencial de aquecimento global - GWP	5,10E+05	3,52E+05	3,65E+05	3,07E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,64E-02	2,51E-02	2,60E-02	2,18E-02
Toxicidade Humana	1,52E+05	1,08E+05	1,12E+05	9,60E+04
Toxicidade para a água doce	2,16E+05	1,46E+05	1,52E+05	1,26E+05
Toxicidade para a água salgada	5,33E+08	3,70E+08	3,84E+08	3,24E+08
Toxicidade terrestre	2,86E+03	1,91E+03	1,99E+03	1,64E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,61E+02	1,10E+02	1,14E+02	9,55E+01
Acidificação	3,86E+03	2,61E+03	2,72E+03	2,25E+03
Eutrofização	9,81E+02	6,65E+02	6,92E+02	5,76E+02
Energia não renovável incorporada	7,11E+06	4,87E+06	5,07E+06	4,23E+06
Energia Renovável incorporada	1,37E+06	9,09E+05	9,49E+05	7,81E+05
Total de energia incorporada	8,48E+06	5,78E+06	6,01E+06	5,01E+06

Tabela 58 - Total de impactes ambientais do cenário 5, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	9,14E-01	1,06E+00	1,01E+00	1,01E+00
Esgotamento de recursos fósseis	6,99E+06	1,53E+06	5,85E+06	4,54E+06

Tabela 58 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 5, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Potencial de aquecimento global - GWP	4,86E+05	1,26E+05	4,25E+05	3,35E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,55E-02	6,93E-02	5,70E-02	4,64E-02
Toxicidade Humana	5,39E+05	1,05E+05	1,03E+05	1,03E+05
Toxicidade para a água doce	8,06E+05	1,52E+05	1,60E+05	1,54E+05
Toxicidade para a água salgada	2,15E+09	2,00E+08	2,94E+08	3,57E+08
Toxicidade terrestre	2,32E+03	2,28E+03	2,18E+03	2,09E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,24E+02	3,33E+01	9,18E+01	8,36E+01
Acidificação	2,92E+03	6,45E+02	1,88E+03	1,92E+03
Eutrofização	4,31E+03	4,87E+02	1,42E+03	7,25E+02
Energia não renovável incorporada	7,29E+06	8,84E+06	6,60E+06	6,13E+06
Energia Renovável incorporada	2,75E+05	4,24E+05	9,69E+05	6,01E+05
Total de energia incorporada	7,57E+06	9,26E+06	7,57E+06	6,73E+06

VII. Cenário 6

Tabela 59 - Total de impactes ambientais do cenário 6, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	1,15E+00	9,45E-01	9,71E-01	8,86E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,57E+06	4,44E+06	4,71E+06	3,84E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	5,11E+05	3,48E+05	3,68E+05	3,02E+05

Tabela 59 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 6, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,67E-02	2,50E-02	2,65E-02	2,17E-02
Toxicidade Humana	1,55E+05	1,10E+05	1,16E+05	9,77E+04
Toxicidade para a água doce	2,20E+05	1,49E+05	1,57E+05	1,28E+05
Toxicidade para a água salgada	5,35E+08	3,68E+08	3,88E+08	3,20E+08
Toxicidade terrestre	2,93E+03	1,96E+03	2,08E+03	1,68E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,62E+02	1,10E+02	1,16E+02	9,50E+01
Acidificação	3,91E+03	2,62E+03	2,78E+03	2,26E+03
Eutrofização	9,99E+02	6,75E+02	7,15E+02	5,84E+02
Energia não renovável incorporada	7,11E+06	4,81E+06	5,09E+06	4,15E+06
Energia Renovável incorporada	1,39E+06	9,20E+05	9,78E+05	7,88E+05
Total de energia incorporada	8,50E+06	5,73E+06	6,07E+06	4,94E+06

Tabela 60 - Total de impactes ambientais do cenário 6, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	8,97E-01	1,04E+00	9,85E-01	9,85E-01
Esgotamento de recursos fósseis	6,74E+06	1,37E+06	5,68E+06	4,38E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	4,69E+05	1,16E+05	4,14E+05	3,25E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	3,45E-02	6,89E-02	5,65E-02	4,60E-02
Toxicidade Humana	5,32E+05	1,05E+05	1,03E+05	1,03E+05
Toxicidade para a água doce	7,96E+05	1,51E+05	1,59E+05	1,54E+05

Tabela 60 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 6, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Toxicidade para a água salgada	2,12E+09	1,90E+08	2,84E+08	3,48E+08
Toxicidade terrestre	2,30E+03	2,28E+03	2,18E+03	2,10E+03
Formação de oxidantes químicos - POCP	1,20E+02	3,08E+01	8,92E+01	8,13E+01
Acidificação	2,84E+03	6,04E+02	1,84E+03	1,89E+03
Eutrofização	4,25E+03	4,83E+02	1,42E+03	7,23E+02
Energia não renovável incorporada	7,03E+06	8,69E+06	6,44E+06	5,98E+06
Energia Renovável incorporada	2,67E+05	4,14E+05	9,59E+05	5,93E+05
Total de energia incorporada	7,30E+06	9,11E+06	7,40E+06	6,57E+06

VIII. Cenário 7

Tabela 61 - Total de impactes ambientais do cenário 7, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	7,69E-01	7,48E-01	7,41E-01	7,40E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,04E+06	1,82E+06	1,76E+06	1,74E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,58E+05	1,41E+05	1,36E+05	1,35E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,08E-02	9,64E-03	9,28E-03	9,20E-03
Toxicidade Humana	4,85E+04	4,39E+04	4,25E+04	4,22E+04
Toxicidade para a água doce	5,26E+04	4,53E+04	4,31E+04	4,26E+04
Toxicidade para a água salgada	1,63E+08	1,46E+08	1,41E+08	1,40E+08
Toxicidade terrestre	6,26E+02	5,26E+02	4,96E+02	4,90E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,67E+01	4,14E+01	3,98E+01	3,95E+01

Tabela 61 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 7, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Acidificação	9,93E+02	8,62E+02	8,23E+02	8,15E+02
Eutrofização	2,46E+02	2,13E+02	2,03E+02	2,01E+02
Energia não renovável incorporada	2,17E+06	1,94E+06	1,87E+06	1,85E+06
Energia Renovável incorporada	2,99E+05	2,51E+05	2,37E+05	2,33E+05
Total de energia incorporada	2,47E+06	2,19E+06	2,10E+06	2,08E+06

Tabela 62 - Total de impactes ambientais do cenário 7, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	7,73E-01	7,64E-01	7,55E-01	7,53E-01
Esgotamento de recursos fósseis	3,08E+06	1,10E+06	2,08E+06	1,77E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	2,19E+05	8,67E+04	1,55E+05	1,33E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,55E-02	1,89E-02	1,67E-02	1,41E-02
Toxicidade Humana	1,99E+05	4,17E+04	4,19E+04	4,15E+04
Toxicidade para a água doce	2,84E+05	4,43E+04	4,72E+04	4,53E+04
Toxicidade para a água salgada	7,84E+08	1,03E+08	1,26E+08	1,39E+08
Toxicidade terrestre	8,58E+02	5,76E+02	5,70E+02	5,40E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,65E+01	2,29E+01	3,64E+01	3,42E+01
Acidificação	1,22E+03	3,91E+02	6,75E+02	6,77E+02
Eutrofização	1,52E+03	1,64E+02	3,79E+02	2,18E+02
Energia não renovável incorporada	3,21E+06	2,73E+06	2,29E+06	2,16E+06

Tabela 62 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 7, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Energia Renovável incorporada	1,27E+05	1,30E+05	2,56E+05	1,70E+05
Total de energia incorporada	3,34E+06	2,86E+06	2,54E+06	2,33E+06

IX. Cenário 8

Tabela 63 - Total de impactes ambientais do cenário 8, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	8,70E-01	8,48E-01	8,42E-01	8,41E-01
Esgotamento de recursos fósseis	1,78E+06	1,54E+06	1,49E+06	1,47E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,43E+05	1,25E+05	1,21E+05	1,19E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,01E-02	8,86E-03	8,54E-03	8,44E-03
Toxicidade Humana	6,40E+04	5,93E+04	5,80E+04	5,76E+04
Toxicidade para a água doce	5,75E+04	5,01E+04	4,79E+04	4,74E+04
Toxicidade para a água salgada	1,74E+08	1,57E+08	1,52E+08	1,51E+08
Toxicidade terrestre	6,57E+02	5,57E+02	5,27E+02	5,21E+02
Formação de oxidantes químicos – POCP	4,43E+01	3,87E+01	3,73E+01	3,68E+01
Acidificação	9,59E+02	8,24E+02	7,87E+02	7,77E+02
Eutrofização	2,56E+02	2,23E+02	2,13E+02	2,11E+02
Energia não renovável incorporada	1,91E+06	1,66E+06	1,60E+06	1,58E+06

Tabela 63 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 8, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Energia Renovável incorporada	3,00E+05	2,52E+05	2,38E+05	2,35E+05
Total de energia incorporada	2,21E+06	1,91E+06	1,84E+06	1,81E+06

Tabela 64 - Total de impactes ambientais do cenário 8, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	8,73E-01	8,65E-01	8,56E-01	8,54E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,77E+06	8,32E+05	1,84E+06	1,53E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	2,00E+05	7,10E+04	1,41E+05	1,19E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,46E-02	1,82E-02	1,60E-02	1,34E-02
Toxicidade Humana	2,16E+05	5,71E+04	5,75E+04	5,72E+04
Toxicidade para a água doce	2,92E+05	4,91E+04	5,19E+04	5,02E+04
Toxicidade para a água salgada	8,02E+08	1,14E+08	1,37E+08	1,50E+08
Toxicidade terrestre	8,96E+02	6,06E+02	5,98E+02	5,71E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,34E+01	2,04E+01	3,42E+01	3,21E+01
Acidificação	1,18E+03	3,55E+02	6,43E+02	6,47E+02
Eutrofização	1,54E+03	1,74E+02	3,88E+02	2,28E+02
Energia não renovável incorporada	2,90E+06	2,46E+06	2,05E+06	1,92E+06

Tabela 64 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 8, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Energia Renovável incorporada	1,28E+05	1,31E+05	2,56E+05	1,72E+05
Total de energia incorporada	3,03E+06	2,59E+06	2,30E+06	2,09E+06

X. Cenário 9

Tabela 65 - Total de impactes ambientais do cenário 9, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	7,67E-01	7,45E-01	7,39E-01	7,38E-01
Esgotamento de recursos fósseis	1,77E+06	1,53E+06	1,47E+06	1,45E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,41E+05	1,23E+05	1,19E+05	1,18E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	9,90E-03	8,62E-03	8,31E-03	8,21E-03
Toxicidade Humana	5,21E+04	4,73E+04	4,61E+04	4,57E+04
Toxicidade para a água doce	5,31E+04	4,57E+04	4,36E+04	4,31E+04
Toxicidade para a água salgada	1,62E+08	1,44E+08	1,39E+08	1,38E+08
Toxicidade terrestre	6,35E+02	5,35E+02	5,05E+02	4,99E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,32E+01	3,75E+01	3,61E+01	3,57E+01
Acidificação	9,41E+02	8,05E+02	7,68E+02	7,59E+02
Eutrofização	2,45E+02	2,11E+02	2,01E+02	1,99E+02
Energia não renovável incorporada	1,90E+06	1,64E+06	1,58E+06	1,56E+06

Tabela 65 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 9, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Energia Renovável incorporada	3,01E+05	2,54E+05	2,39E+05	2,36E+05
Total de energia incorporada	2,20E+06	1,89E+06	1,82E+06	1,80E+06

Tabela 66 - Total de impactes ambientais do cenário 9, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos – ADP	7,70E-01	7,62E-01	7,53E-01	7,52E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,75E+06	8,04E+05	1,83E+06	1,51E+06
Potencial de aquecimento global – GWP	1,98E+05	6,86E+04	1,40E+05	1,18E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,43E-02	1,81E-02	1,59E-02	1,33E-02
Toxicidade Humana	2,05E+05	4,51E+04	4,55E+04	4,52E+04
Toxicidade para a água doce	2,88E+05	4,46E+04	4,76E+04	4,58E+04
Toxicidade para a água salgada	7,91E+08	1,01E+08	1,24E+08	1,37E+08
Toxicidade terrestre	8,70E+02	5,84E+02	5,77E+02	5,50E+02
Formação de oxidantes químicos – POCP	5,20E+01	1,89E+01	3,30E+01	3,08E+01
Acidificação	1,15E+03	3,29E+02	6,22E+02	6,25E+02
Eutrofização	1,53E+03	1,61E+02	3,78E+02	2,17E+02
Energia não renovável incorporada	2,87E+06	2,45E+06	2,04E+06	1,90E+06

Tabela 66 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 9, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Energia Renovável incorporada	1,27E+05	1,30E+05	2,57E+05	1,72E+05
Total de energia incorporada	3,00E+06	2,58E+06	2,29E+06	2,07E+06

XI. Cenário 10

Tabela 67 - Total de impactes ambientais do cenário 10, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos – ADP	7,71E-01	7,50E-01	7,44E-01	7,42E-01
Esgotamento de recursos fósseis	1,93E+06	1,71E+06	1,64E+06	1,63E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,52E+05	1,35E+05	1,30E+05	1,29E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,05E-02	9,30E-03	8,93E-03	8,87E-03
Toxicidade Humana	5,35E+04	4,89E+04	4,75E+04	4,72E+04
Toxicidade para a água doce	5,37E+04	4,64E+04	4,42E+04	4,37E+04
Toxicidade para a água salgada	1,64E+08	1,47E+08	1,41E+08	1,40E+08
Toxicidade terrestre	6,38E+02	5,39E+02	5,08E+02	5,03E+02
Formação de oxidantes químicos – POCP	4,55E+01	4,01E+01	3,85E+01	3,82E+01
Acidificação	9,77E+02	8,46E+02	8,06E+02	7,99E+02
Eutrofização	2,47E+02	2,14E+02	2,04E+02	2,02E+02
Energia não renovável incorporada	2,06E+06	1,83E+06	1,75E+06	1,74E+06

Tabela 67 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 10, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Energia Renovável incorporada	3,02E+05	2,55E+05	2,40E+05	2,37E+05
Total de energia incorporada	2,37E+06	2,08E+06	1,99E+06	1,98E+06

Tabela 68 - Total de impactes ambientais do cenário 10, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos – ADP	7,76E-01	7,67E-01	7,57E-01	7,55E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,99E+06	9,78E+05	1,97E+06	1,66E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	2,13E+05	7,94E+04	1,48E+05	1,27E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,52E-02	1,87E-02	1,64E-02	1,38E-02
Toxicidade Humana	2,07E+05	4,66E+04	4,67E+04	4,64E+04
Toxicidade para a água doce	2,89E+05	4,52E+04	4,81E+04	4,63E+04
Toxicidade para a água salgada	7,94E+08	1,03E+08	1,26E+08	1,39E+08
Toxicidade terrestre	8,75E+02	5,87E+02	5,79E+02	5,53E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,54E+01	2,14E+01	3,49E+01	3,28E+01
Acidificação	1,21E+03	3,67E+02	6,53E+02	6,58E+02
Eutrofização	1,54E+03	1,64E+02	3,80E+02	2,19E+02
Energia não renovável incorporada	3,12E+06	2,63E+06	2,18E+06	2,05E+06

Tabela 68 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 10, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Energia Renovável incorporada	1,28E+05	1,31E+05	2,58E+05	1,73E+05
Total de energia incorporada	3,25E+06	2,76E+06	2,43E+06	2,22E+06

XII. Cenário 11

Tabela 69 - Total de impactes ambientais do cenário 11, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	7,68E-01	7,47E-01	7,40E-01	7,39E-01
Esgotamento de recursos fósseis	1,80E+06	1,58E+06	1,51E+06	1,51E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,44E+05	1,27E+05	1,22E+05	1,21E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,00E-02	8,82E-03	8,46E-03	8,41E-03
Toxicidade Humana	5,24E+04	4,78E+04	4,64E+04	4,62E+04
Toxicidade para a água doce	5,33E+04	4,59E+04	4,37E+04	4,33E+04
Toxicidade para a água salgada	1,62E+08	1,45E+08	1,40E+08	1,39E+08
Toxicidade terrestre	6,36E+02	5,37E+02	5,06E+02	5,00E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,37E+01	3,83E+01	3,67E+01	3,65E+01
Acidificação	9,50E+02	8,17E+02	7,77E+02	7,71E+02
Eutrofização	2,45E+02	2,12E+02	2,02E+02	2,00E+02
Energia não renovável incorporada	1,94E+06	1,69E+06	1,62E+06	1,62E+06

Tabela 69 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 11, para as localizações em Portugal

Energia Renovável incorporada	3,02E+05	2,54E+05	2,39E+05	2,37E+05
Total de energia incorporada	2,24E+06	1,95E+06	1,86E+06	1,85E+06

Tabela 70 - Total de impactes ambientais do cenário 11, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	7,73E-01	7,63E-01	7,54E-01	7,52E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,86E+06	8,51E+05	1,85E+06	1,54E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	2,05E+05	7,15E+04	1,40E+05	1,19E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,48E-02	1,83E-02	1,59E-02	1,33E-02
Toxicidade Humana	2,05E+05	4,55E+04	4,56E+04	4,54E+04
Toxicidade para a água doce	2,88E+05	4,48E+04	4,76E+04	4,59E+04
Toxicidade para a água salgada	7,92E+08	1,01E+08	1,24E+08	1,37E+08
Toxicidade terrestre	8,72E+02	5,85E+02	5,77E+02	5,50E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,36E+01	1,96E+01	3,31E+01	3,11E+01
Acidificação	1,18E+03	3,39E+02	6,25E+02	6,30E+02
Eutrofização	1,53E+03	1,62E+02	3,78E+02	2,17E+02
Energia não renovável incorporada	2,99E+06	2,50E+06	2,05E+06	1,92E+06
Energia Renovável incorporada	1,27E+05	1,30E+05	2,57E+05	1,72E+05
Total de energia incorporada	3,12E+06	2,63E+06	2,31E+06	2,09E+06

XIII. Cenário 12

Tabela 71 - Total de impactes ambientais do cenário 12, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	7,64E-01	7,43E-01	7,37E-01	7,36E-01
Esgotamento de recursos fósseis	1,68E+06	1,46E+06	1,40E+06	1,38E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,36E+05	1,19E+05	1,14E+05	1,13E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	9,58E-03	8,39E-03	8,03E-03	7,96E-03
Toxicidade Humana	5,14E+04	4,68E+04	4,54E+04	4,51E+04
Toxicidade para a água doce	5,28E+04	4,55E+04	4,33E+04	4,28E+04
Toxicidade para a água salgada	1,60E+08	1,43E+08	1,38E+08	1,37E+08
Toxicidade terrestre	6,33E+02	5,34E+02	5,04E+02	4,98E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,19E+01	3,66E+01	3,50E+01	3,47E+01
Acidificação	9,21E+02	7,91E+02	7,51E+02	7,43E+02
Eutrofização	2,43E+02	2,10E+02	2,00E+02	1,98E+02
Energia não renovável incorporada	1,81E+06	1,57E+06	1,50E+06	1,49E+06
Energia Renovável incorporada	3,00E+05	2,53E+05	2,38E+05	2,36E+05
Total de energia incorporada	2,11E+06	1,83E+06	1,74E+06	1,72E+06

Tabela 72 - Total de impactes ambientais do cenário 12, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos - ADP	7,69E-01	7,60E-01	7,50E-01	7,48E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,74E+06	7,26E+05	1,72E+06	1,41E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,98E+05	6,38E+04	1,33E+05	1,11E+05

Tabela 72 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 12, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,43E-02	1,78E-02	1,54E-02	1,29E-02
Toxicidade Humana	2,04E+05	4,45E+04	4,46E+04	4,43E+04
Toxicidade para a água doce	2,88E+05	4,43E+04	4,71E+04	4,54E+04
Toxicidade para a água salgada	7,90E+08	9,97E+07	1,22E+08	1,36E+08
Toxicidade terrestre	8,69E+02	5,82E+02	5,74E+02	5,47E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	5,19E+01	1,79E+01	3,14E+01	2,93E+01
Acidificação	1,15E+03	3,12E+02	5,97E+02	6,02E+02
Eutrofização	1,53E+03	1,60E+02	3,76E+02	2,15E+02
Energia não renovável incorporada	2,86E+06	2,37E+06	1,92E+06	1,79E+06
Energia Renovável incorporada	1,27E+05	1,29E+05	2,56E+05	1,71E+05
Total de energia incorporada	2,99E+06	2,50E+06	2,18E+06	1,97E+06

XIV. Cenário 13

Tabela 73 - Total de impactes ambientais do cenário 13, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Esgotamento de recursos - ADP	7,41E-01	7,20E-01	7,15E-01	7,12E-01
Esgotamento de recursos fósseis	1,55E+06	1,33E+06	1,28E+06	1,25E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,27E+05	1,11E+05	1,07E+05	1,04E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	9,12E-03	7,94E-03	7,66E-03	7,49E-03

Tabela 73 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 13, para as localizações em Portugal

Categorias de Impacte	Bragança	Évora	Porto	Lisboa
Toxicidade Humana	5,15E+04	4,70E+04	4,59E+04	4,53E+04
Toxicidade para a água doce	5,15E+04	4,42E+04	4,25E+04	4,16E+04
Toxicidade para a água salgada	1,49E+08	1,32E+08	1,28E+08	1,26E+08
Toxicidade terrestre	6,26E+02	5,27E+02	5,04E+02	4,91E+02
Formação de oxidantes químicos – POCP	3,97E+01	3,44E+01	3,32E+01	3,24E+01
Acidificação	8,81E+02	7,51E+02	7,20E+02	7,02E+02
Eutrofização	2,37E+02	2,04E+02	1,96E+02	1,92E+02
Energia não renovável incorporada	1,67E+06	1,44E+06	1,39E+06	1,35E+06
Energia Renovável incorporada	2,86E+05	2,39E+05	2,27E+05	2,21E+05
Total de energia incorporada	1,96E+06	1,68E+06	1,61E+06	1,57E+06

Tabela 74 - Total de impactes ambientais do cenário 13, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Esgotamento de recursos – ADP	7,55E-01	7,35E-01	7,26E-01	7,27E-01
Esgotamento de recursos fósseis	2,57E+06	6,08E+05	1,57E+06	1,30E+06
Potencial de aquecimento global - GWP	1,87E+05	5,61E+04	1,23E+05	1,04E+05
Potencial de destruição de camada de ozono – ODP	1,37E-02	1,70E-02	1,48E-02	1,26E-02
Toxicidade Humana	2,01E+05	4,45E+04	4,46E+04	4,48E+04
Toxicidade para a água doce	2,82E+05	4,27E+04	4,55E+04	4,47E+04
Toxicidade para a água salgada	7,71E+08	8,88E+07	1,11E+08	1,26E+08

Tabela 74 (cont.) - Total de impactes ambientais do cenário 13, para as localizações na Europa

Categorias de Impacte	Lárnaca	Marselha	Roma	Barcelona
Toxicidade terrestre	8,53E+02	5,69E+02	5,62E+02	5,49E+02
Formação de oxidantes químicos - POCP	4,93E+01	1,59E+01	2,91E+01	2,75E+01
Acidificação	1,10E+03	2,79E+02	5,57E+02	5,72E+02
Eutrofização	1,50E+03	1,53E+02	3,65E+02	2,12E+02
Energia não renovável incorporada	2,69E+06	2,21E+06	1,77E+06	1,68E+06
Energia Renovável incorporada	1,20E+05	1,16E+05	2,40E+05	1,60E+05
Total de energia incorporada	2,81E+06	2,33E+06	2,01E+06	1,84E+06

5.5.2 Discussão dos resultados

Anteriormente estão apresentados os impactes ambientais totais de cada cenário considerado, para as localizações de Portugal e da Europa. O cenário base até ao cenário 6 representam o modelo base ou seja o edifício sem considerar as soluções de reabilitação de custo ótimo.

Após análise dos valores presentes nas Tabelas anteriores pode-se afirmar que a localização com valores mais elevados de impactes ambientais é Bragança no que diz respeito às localizações em Portugal, o que já tinha sido verificado aquando da análise dos impactes incorporados no edifício, devendo-se ao fato da sua fase de utilização/operação ter valores de energia consumida mais elevados do que as restantes localizações. Sendo Lisboa a melhor localização portuguesa em termos ambientais em todos os cenários analisados.

No que diz respeito aos locais analisados na Europa, a conclusão não é assim tão simples uma vez que além da variável da quantidade de energia elétrica existe também o fato do *mix* energético ser diferente entre estas localizações, pois se trata de países diferentes. Mas pode-se afirmar que em termos de impactes ambientais Marselha é melhor que as restantes em contrapartida Lárnaca, localização onde o consumo de energia por parte do edifício é menor é a localização com valores mais elevados de impactes ambientais.

A fase de ciclo de vida que mais influencia os valores apresentados diz respeito à utilização do edifício, que corresponde à quantidade de energia elétrica consumida por este. Isto porque os *mix* energéticos associados a cada país tem um carga ambiental muito elevado, pois toda a energia, ou quase toda, é proveniente de fontes não renováveis. Na Figura 18 está representado a contribuição de cada fase do ciclo de vida, do cenário 2, levando a reforçar o que foi dito anteriormente.

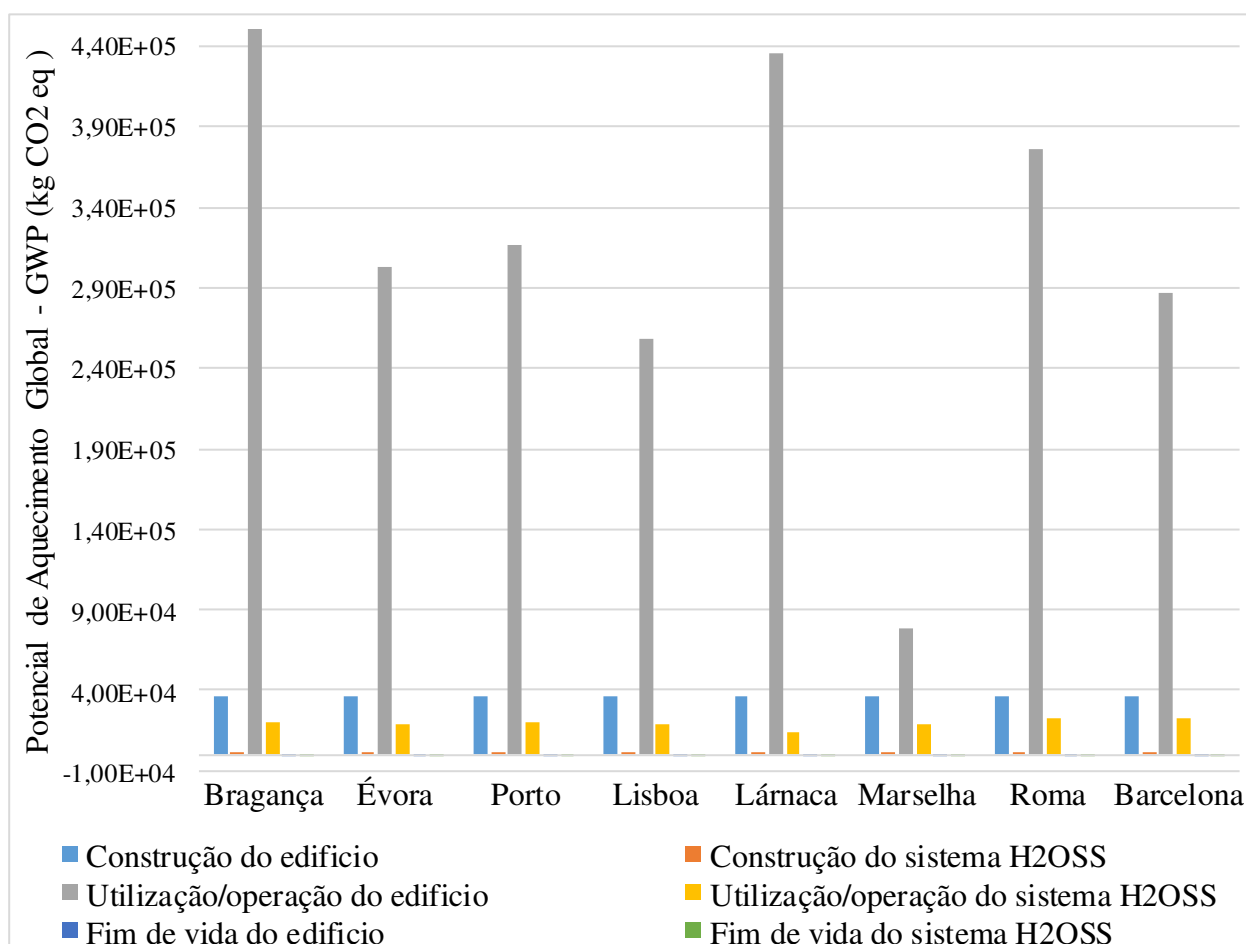


Figura 18 - Contribuição das diferentes fases de ciclo de vida para os impactos ambientais totais do cenário 2, considerando o potencial de aquecimento global

Os valores apresentados na Figura 18 servem de exemplo dos restantes, dentro do modelo base, uma vez que as conclusões no que diz respeito aos valores de GWP são iguais nos outros cenários analisados. Existe uma localização que se destaca pelo valor baixo em termo de utilização/operação do edifício, Marselha, devido principalmente ao fato do *mix* energético correspondente a França ser o mais benéfico para o meio ambiente, pois esta localização é das que mais consome energia para satisfazer as necessidades do edifício.

Para Portugal, o *mix* energético é igual nas 4 localizações, mas Bragança destaca-se pelo seu valor elevado, e isto devido ao fato de ser a localização com mais consumo de energia elétrica por parte do edifício.

Em relação ao sistema solar térmico integrado, neste caso H2OSS, o local onde a sua utilização tem valores mais baixos de Potencial de Aquecimento Global é Lárnaca, uma vez que esta localização tem uma incidência solar muito maior que nas restantes localidades. Neste caso os resultados expressos na Figura 19 dizem respeito ao edifício com a colocação de sistema H2OSS para satisfazer as mesmas necessidades que o sistema solar térmico padrão sendo Lárnaca o local em que a quantidade de energia que o sistema auxiliar tem que produzir é muito menor que nos restantes locais analisados, fazendo da fase de utilização do sistema a com menores valores no que diz respeito ao GWP.

Como se pode ainda observar na Figura 18 os valores referentes ao fim de vida do sistema, do edifício e da construção do sistema são residuais, sendo as fases correspondentes pouco influenciáveis nos valores totais.

Na Tabela 75 estão apresentadas as áreas de absorção usadas nos cenários 2, 3, 4, 5 e 6 no que diz respeito ao sistema solar térmico integrado nas caleiras.

Tabela 75 – Áreas do coletor H2OSS para os cenários 2 a 6

Localizações	Áreas de coletor H2OSS				
	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Bragança	3,3 m ²	1,3 m ²	2,7 m ²	6,5 m ²	68,4 m ²
Évora	3,2 m ²	1,1 m ²	2,4 m ²	5,1 m ²	68,4 m ²
Porto	3,3 m ²	1,3 m ²	2,6 m ²	5,5 m ²	68,4 m ²
Lisboa	3,1 m ²	1,1 m ²	2,3 m ²	4,9 m ²	68,4 m ²
Lárnaca	3,2 m ²	0,9 m ²	1,9 m ²	3,3 m ²	32,6 m ²
Marselha	3,2 m ²	1,2 m ²	2,5 m ²	5,7 m ²	68,4 m ²
Roma	3,1 m ²	1,3 m ²	2,8 m ²	6,9 m ²	68,4 m ²
Barcelona	3,0 m ²	1,3 m ²	2,7 m ²	6,1 m ²	68,4 m ²

Para os cenários 2, 3, 4, 5 e 6 foi necessário calcular a área de coletor H2OSS correspondente ao pretendido em cada cenário, e para isso utilizou-se como base a produção de 1m^2 de área de absorção.

A área de $68,4\text{m}^2$ apresentada para o cenário 6 não garantem as necessidades pretendidas uma vez que a cobertura não tem mais área orientada a sul para ser coberta por coletores. Já para se obter esta área foi necessário alterar a cobertura existente no modelo base de forma a aumentar a área orientada para sul, e para isso passou de 4 águas para 2 águas, ficando com o aspeto presente na Figura 19.



Figura 19 – Edifício que representa o modelo base com a alteração da cobertura e colocação do sistema H2OSS

Mesmo alterando a cobertura, de forma a aumentar a área desta orientada a sul, em todas as localizações, exceto em Lárnaca, não foi possível satisfazer 100% das necessidades energéticas para a preparação das AQS.

A relação entre as áreas de coletor usadas e a percentagem de necessidades que cada uma satisfaz apresentada na Figura 20, permitem concluir, que mesmo Lárnaca possuindo a área de absorção mais baixa, a utilização deste sistema solar térmico integrado nas caleiras não é vantajoso para satisfazer mais que 70% das necessidades de preparação de AQS.

Para mais que 70% das necessidades de preparação de AQS a área sobe exponencialmente tornando a colocação deste sistema pouco viável devido à limitação da cobertura.

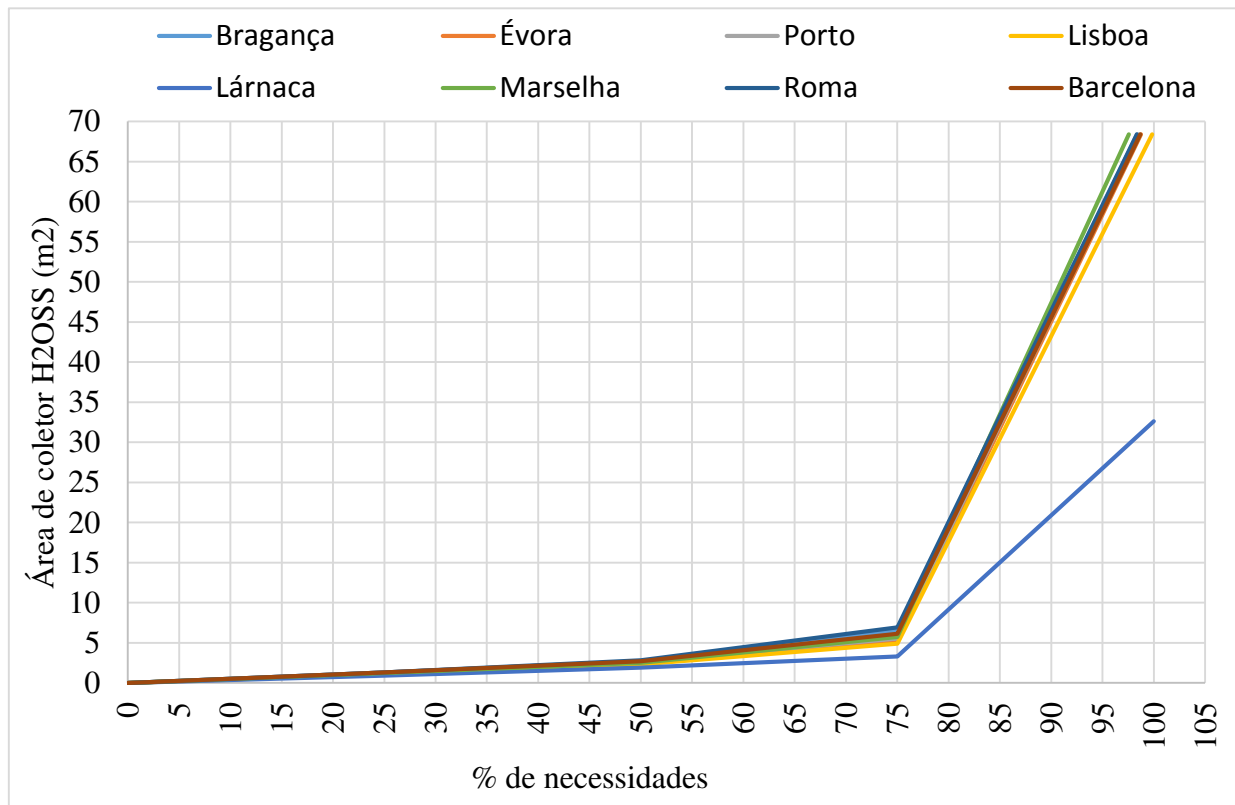


Figura 20 - Relação entre a área de coletor usada e as necessidades energéticas satisfeitas para o sistema H2OSS

Apesar de se ter simulado este modelo bem como calculado os impactos ambientais para o cenário 6 é fácil perceber que este caso nunca seria possível implementar na realidade uma vez que o sistema H2OSS é integrado nas caleiras, e é limitado na sua área de absorção às caleiras orientadas a sul que neste caso teriam 10m de comprimento. A sua área de absorção seria igual a 1m², uma vez que os módulos tem cerca de 10cm de largura o equivalente a largura das caleiras.

A localização de Lárnaca tem uma área de coletor cerca de metade das outras localizações, no cenário 6, o que nos permite concluir que esta localização tem um índice de incidência muito maior que as restantes localizações, como já referido anteriormente.

Analisando agora os valores do cenário base e do cenário 7 , que representam o edifício sem qualquer intervenção de reabilitação e o edifício considerando as soluções de reabilitação de custo ótimo, respetivamente. Conclui-se que os valores totais diminuiram, mesmo com o

aumento na fase de construção do edifício, devida à colocação dos materiais da reabilitação. Isto leva a afirmar-se que as medidas de reabilitação, agravam os impactes ambientais associados ao edifício mas em contrapartida o lucro ambiental que se tem no fim da vida útil deste é muito maior que esse agravamento, fazendo destas medidas de reabilitação um mais valia a longo prazo.

Para além disso a quantidade de energia para preparação das AQS passa de 5666,43kWh/ano para 3900,30kWh/ano, diminuindo cerca de 31%, e isto deve-se ao fato de fazer parte das medidas de reabilitação a substituição do esquentador a gás por um com um rendimento maior levando a que seja necessário menos quantidade de gás para aquecer a mesma quantidade de água.

Do cenário 1 para o cenário 8 existe uma diminuição considerável dos valores dos impactes ambientais o que significa que as medidas de reabilitação interferiram muito na quantidade de energia consumida pelo edifício como se pode verificar com a análise das Figuras 21 e 22.

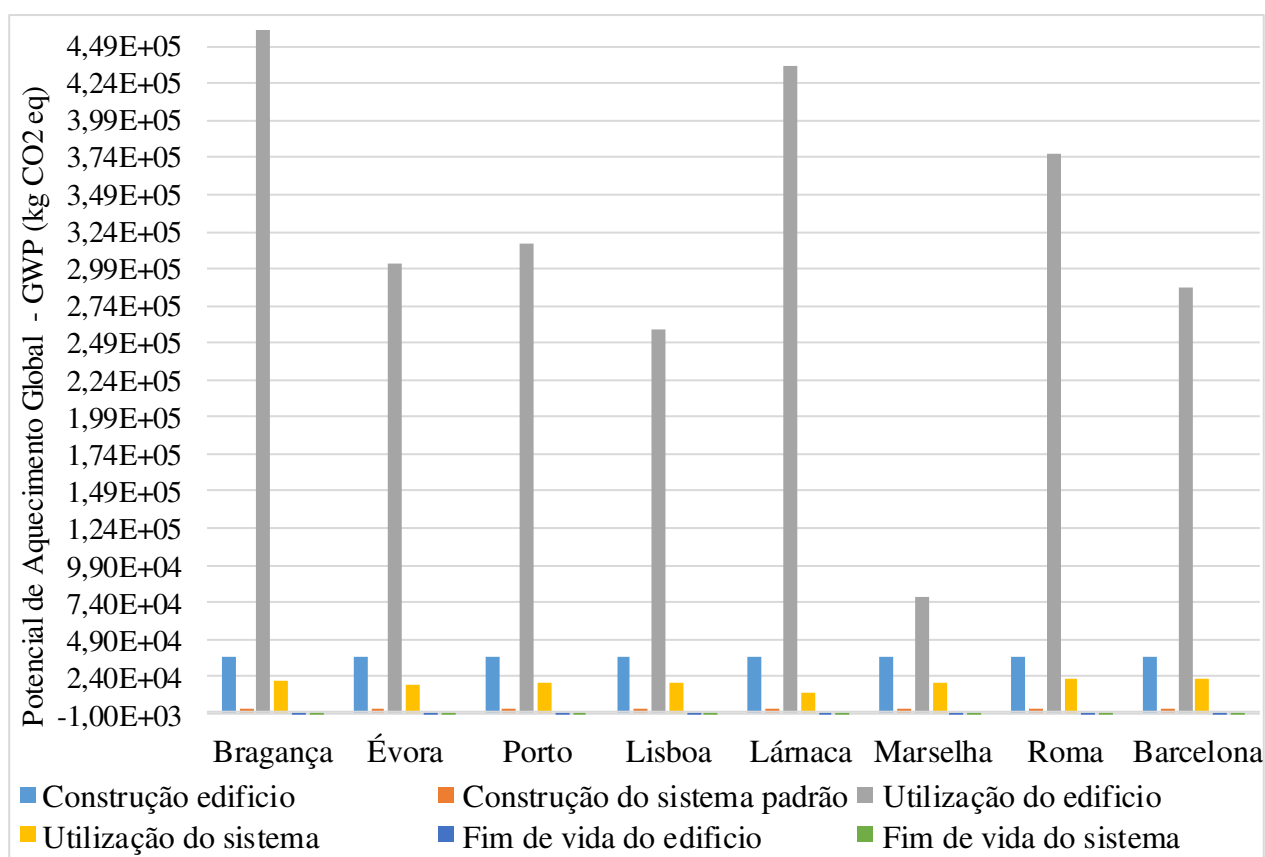


Figura 21 - Contribuição das diferentes fases do ciclo de vida para os impactes totais no cenário 1 (Análise da categoria de impacte GWP)

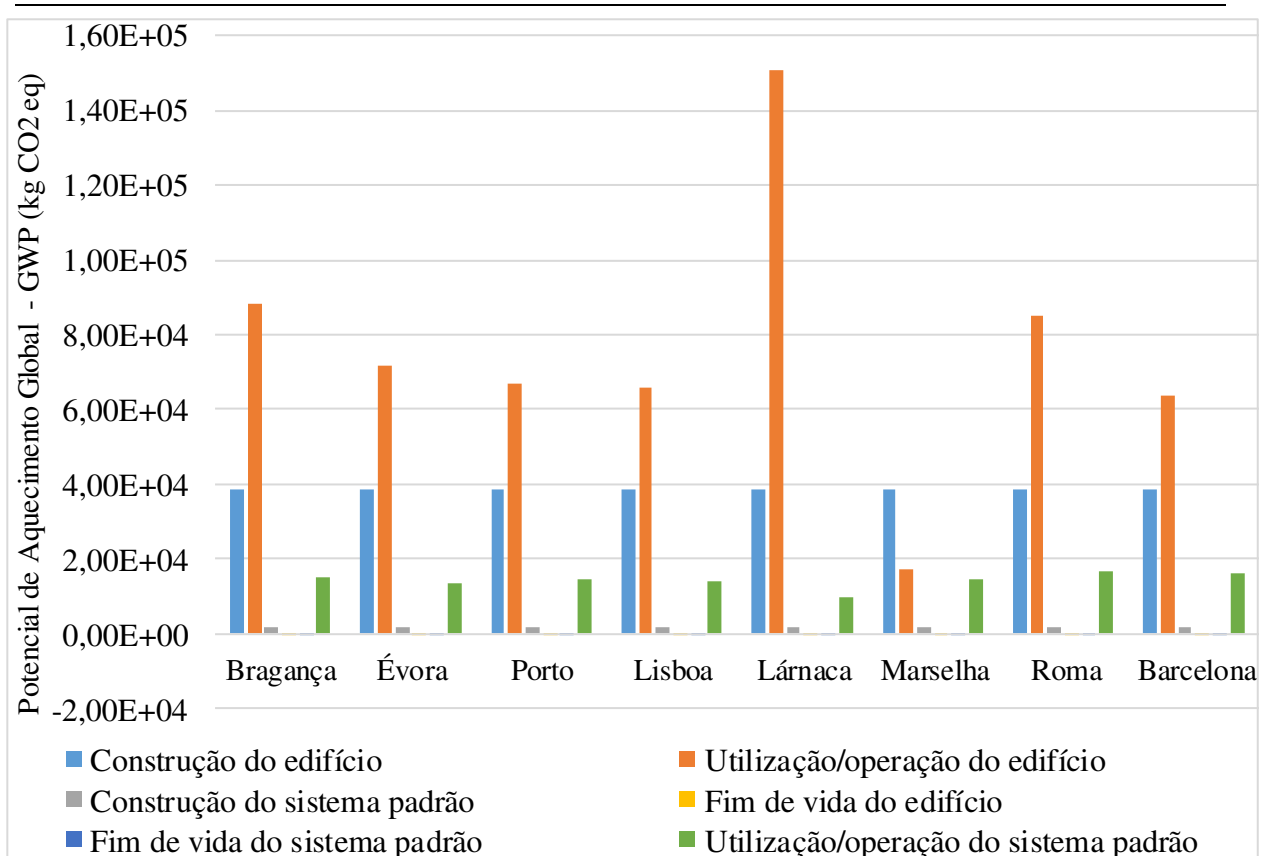


Figura 22 - Contribuição das diferentes fases do ciclo de vida para os impactes totais no cenário 8 (Análise da categoria de impacte GWP)

Após a análise da Figura 22 verifica-se que existe a uma localização onde a construção do edifício é mais influente nos impactes ambientais totais do que a sua própria utilização/operação, Marselha. O que significa que o seu *mix* energético não produz grandes impactes ambientais uma vez que é a localização que mais energia necessita para satisfazer as necessidades do edifício. Antes de se considerar a reabilitação já era esta a localização onde a fase de utilização do edifício tinha menor valor, como se pode verificar na Figura 22.

Em Lárnaca, os valores do Potencial de Aquecimento Global da fase de utilização do edifício continuam muito elevados, o que se deve ao fato, como dito anteriormente, de esta localização ter grandes impactes ambientais associados à produção de energia elétrica.

Como aconteceu para os cenários antes da reabilitação, para os cenários 9 a 13 tiveram que se calcular as áreas de coletor correspondentes para cada um destes cenários de forma a satisfazer as necessidades pretendidas, assim apresentam-se na Tabela 76 as correspondentes áreas de absorção para o coletor H2OSS.

Tabela 76 - Áreas do coletor H2OSS para os cenários 9 a 13

Localizações	Áreas do coletor H2OSS				
	Cenário 9	Cenário 10	Cenário 11	Cenário 12	Cenário 13
Bragança	3,2 m ²	1,3 m ²	2,6 m ²	6,1 m ²	69,9 m ²
Évora	3,2 m ²	1,1 m ²	2,4 m ²	5,0 m ²	69,9 m ²
Porto	3,2 m ²	1,3 m ²	2,6 m ²	5,3 m ²	69,9 m ²
Lisboa	3,0 m ²	1,1 m ²	2,3 m ²	4,6 m ²	69,9 m ²
Lárnaca	3,1 m ²	0,9 m ²	1,9 m ²	3,3 m ²	32,9 m ²
Marselha	3,2 m ²	1,2 m ²	2,5 m ²	5,5 m ²	69,9 m ²
Roma	3,0 m ²	1,3 m ²	2,8 m ²	6,7 m ²	69,9 m ²
Barcelona	3,0 m ²	1,3 m ²	2,7 m ²	6,0 m ²	69,9 m ²

Com a análise da Tabela 76 é possível verificar que no cenário 13 as áreas são muito elevadas e isto devido ao mesmo motivo já apresentado para o cenário 6. Mesmo assim em relação ao cenário 6 as áreas do cenário 13 tem valores mais elevados e isto devido ao fato de com a implementação da solução de reabilitação para as paredes exteriores, estas terem aumentado a sua espessura o que faz com que a cobertura aumente ligeiramente de área, condição imposta pelo DesignBuilder.

Na Figura 23 estão representadas as fases de ciclo de vida do cenário 10, que corresponde ao edifício considerando as soluções de reabilitação com o sistema H2OSS integrado para satisfazer 25% das necessidades de AQS, e como se pode verificar a fase de utilização do edifício, que corresponde à energia consumida por este, continua a ser a fase que mais influencia os resultados finais.

Pode-se verificar que para Marselha isso já não é verdade uma vez que os valores do Potencial de Aquecimento Global associados à fase de utilização do edifício são mais baixos que os da fase de construção do próprio edifício. E como se conclui antes da reabilitação,

deve-se ao fato de em França a produção de energia elétrica não ter impactes tão elevados como nas outras localizações.

Mas em contrapartida a produção de gás natural, fase de utilização do sistema H2OSS, é mais gravosa para o meio ambiente do que a produção da eletricidade, como se pode verifica na Figura 23.

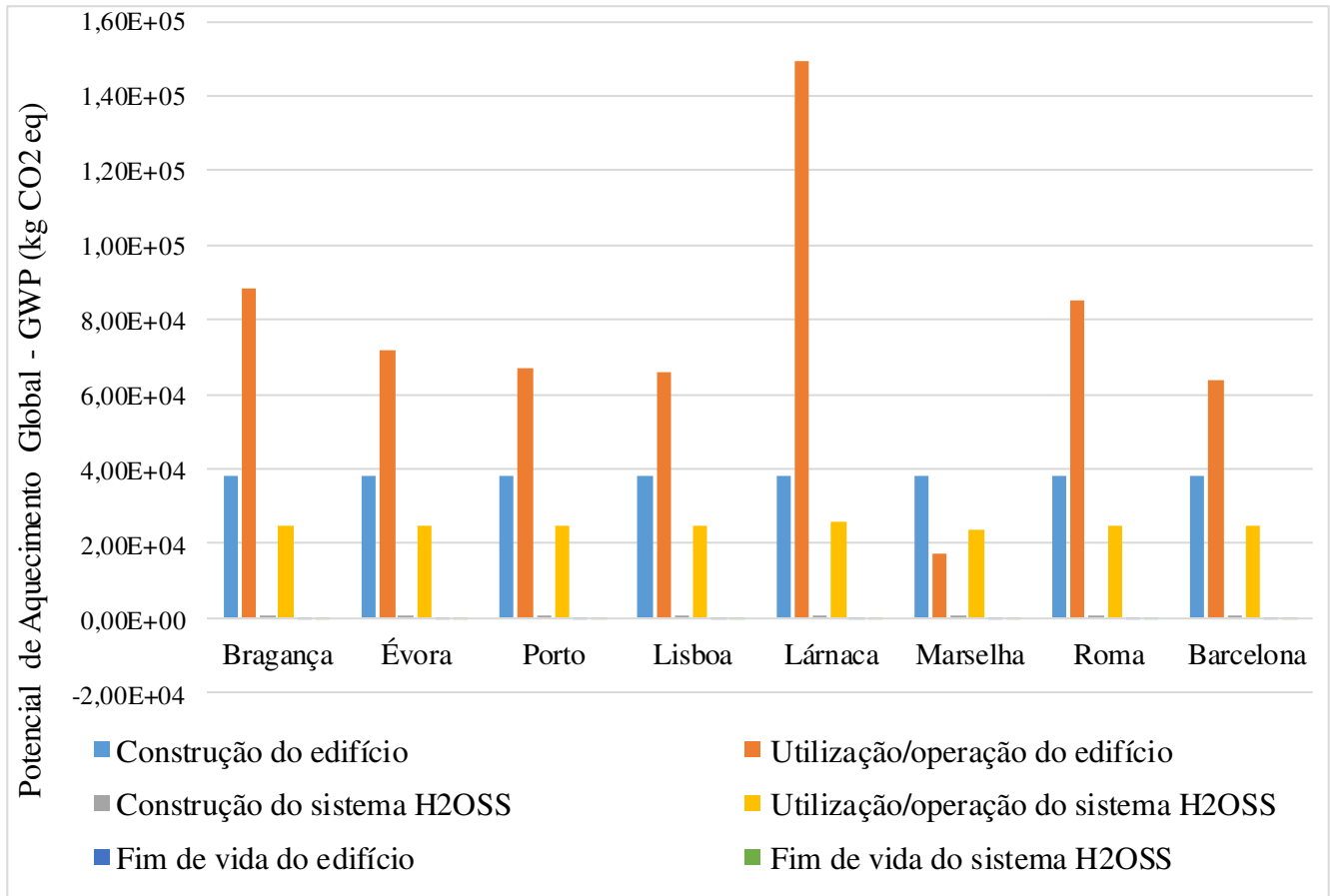


Figura 23 - Contribuição das diferentes fases do ciclo de vida para os impactes totais no cenário 10 (Análise da categoria de impacte GWP)

5.6 Análise do tempo de retorno do GWP

O conceito de Potencial de Aquecimento Global foi desenvolvido para se poder comparar a capacidade de cada gás enquanto potencial de efeito de estufa. Ou seja, esta categoria de impacte está relacionada com a emissão de gases de efeito de estufa na atmosfera.

Esta análise tem como termo de comparação o cenário base do estudo, que contempla o edifício sem sistema solar térmico e com o esquentador a gás como sistema para a preparação

das AQS. Apresentam-se os gráficos de comparação do Potencial de Aquecimento Global acumulado ao longo dos 30 anos de vida útil do edifício para os vários cenários sendo comparados ao cenário base. Para além desta comparação estão representados os tempos de retorno do Potencial de Aquecimento Global para todos os cenários analisados.

Optou-se por apresentar os dados só para a localização portuguesa que possuía piores valores de impactes ambientais, Bragança.

5.6.1 Apresentação dos resultados

Os valores acumulados do potencial de aquecimento global dos cenários analisados foram comparados ao cenário base e por isso dividiu-se em dois grupos os resultados de forma a facilitar a análise. Neste caso os cenários de 1 a 6 que corresponde ao modelo base e os cenários 7 a 13 que correspondem ao modelo ótimo que representa o edifício depois da reabilitação.

I. Cenário 1 a 6

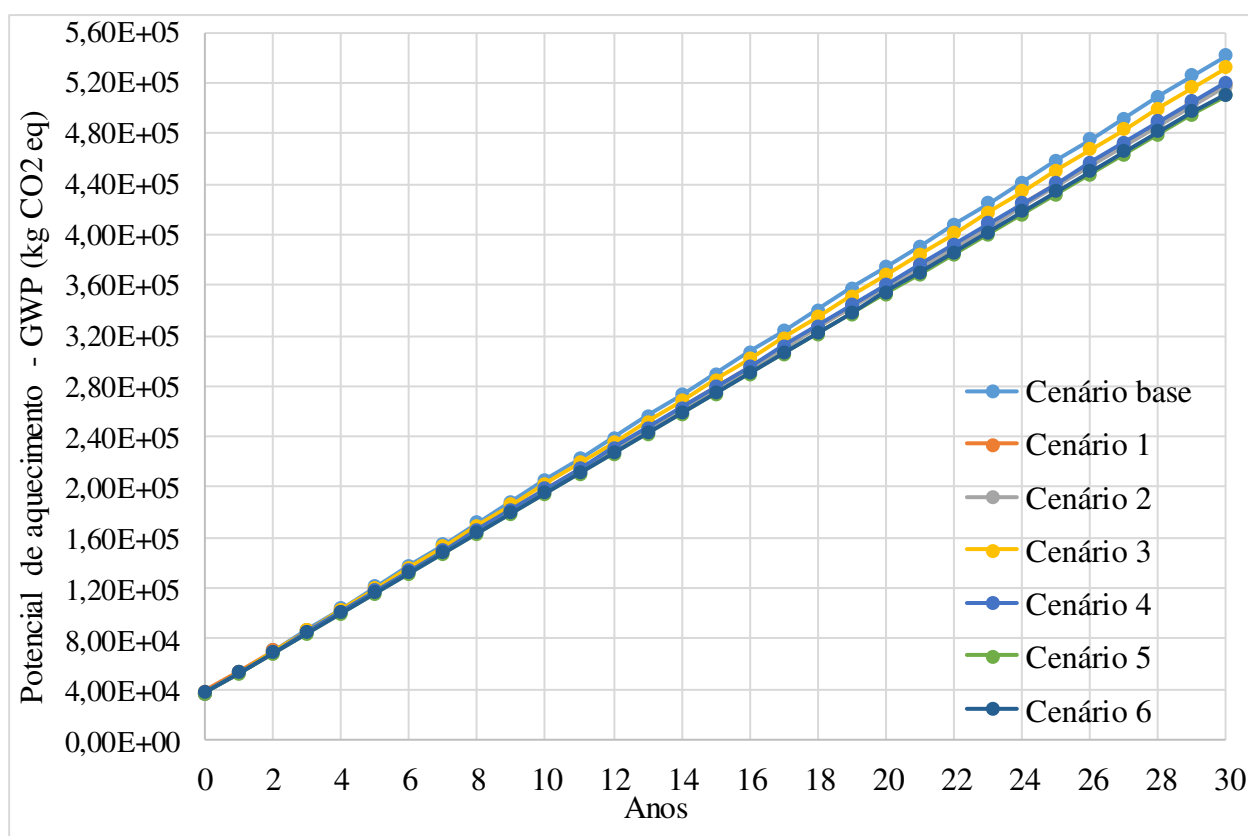


Figura 24 – Valores do GWP acumulados ao longo da vida útil (30 anos), para a localização de Bragança dos cenários 1 a 6

Como se pode verificar todos os cenários do 1 ao 6 são mais vantajosos do que o cenário base ao fim a vida útil considerada.

Com a análise comparativa entre o cenário base e os cenários 1 a 6 foi possível calcular o tempo de retorno do potencial de aquecimento global como se pode verificar na Figura 25 do cenário 1, que serve de exemplo para os restantes apresentados na Tabela 77.

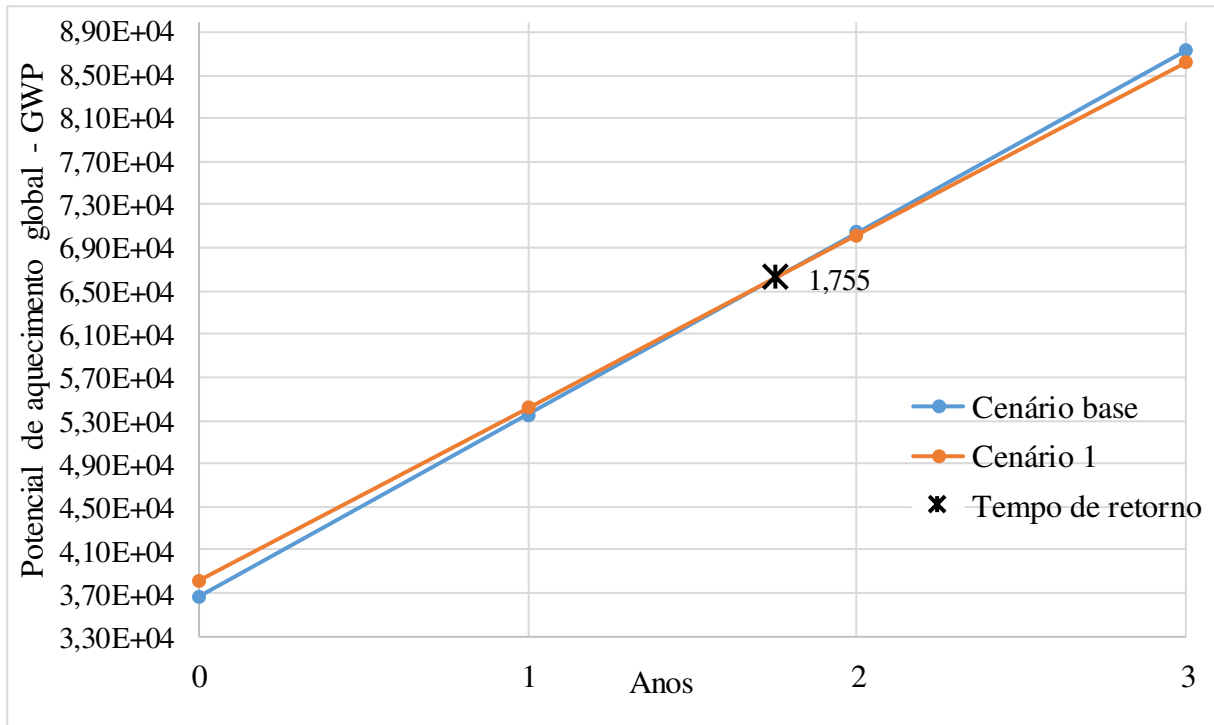


Figura 25 – Tempo de retorno do valor do GWP para a localização de Bragança no cenário 1

Tabela 77 – Tempo de retornos dos cenários 1 a 6

Cenários	Tempo de retorno do GWP (anos)
Cenário 1	1,8
Cenário 2	0,3
Cenário 3	0,8
Cenário 4	0,3
Cenário 5	0,3
Cenário 6	0,5

II. Cenário 7 a 13

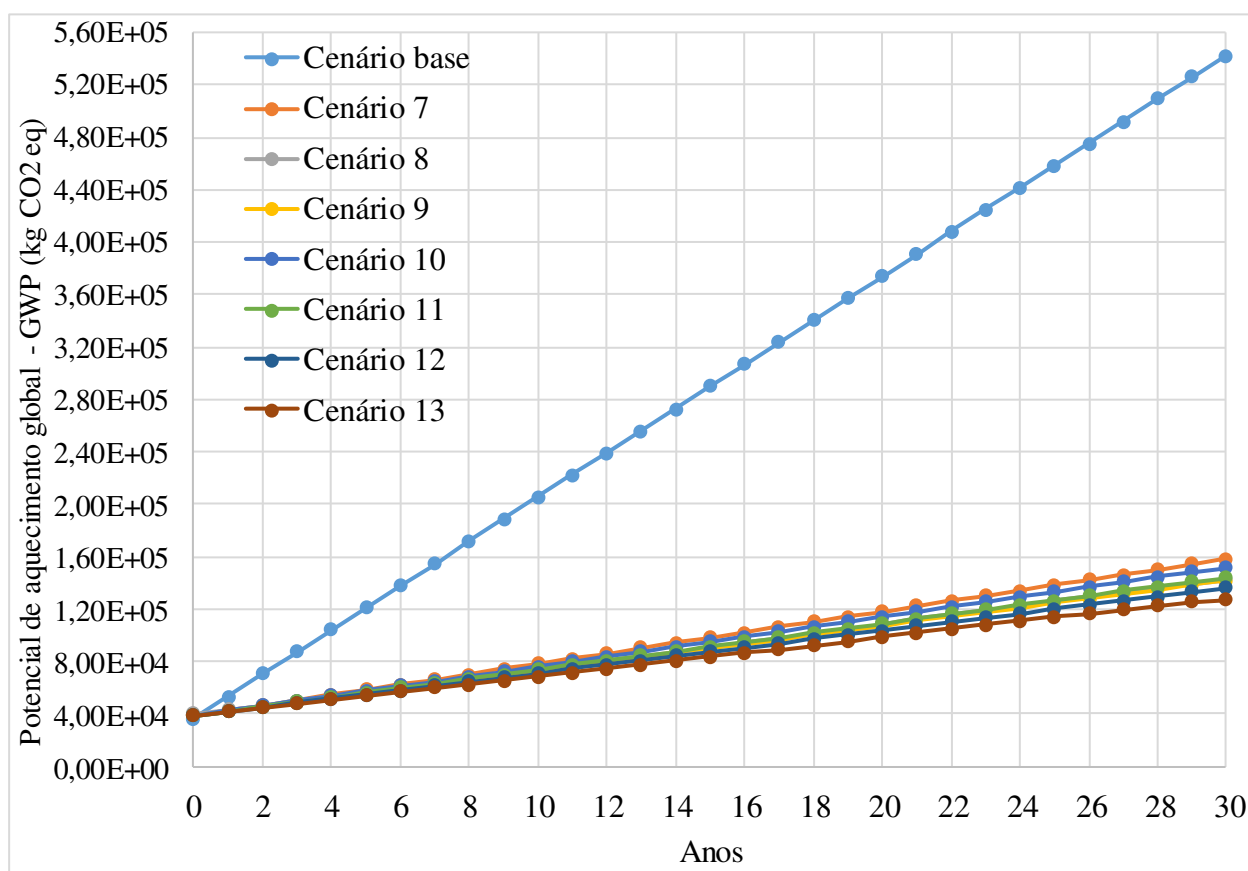


Figura 26 - Valores do GWP acumulados ao longo da vida útil (30 anos), para a localização de Bragança dos cenários 7 a 13

5.6.2 Discussão dos resultados

Anteriormente foram apresentados os valores do Potencial de Aquecimento Global acumulados ao longo da vida útil considerada neste estudo (30 anos) bem como o tempo de retorno do GWP em relação ao cenário base.

Com a análise das Figuras anteriores é de fácil compreensão que o cenário base tem valores mais baixos no ano zero e mais elevados no ano 30 comparado com os outros cenários analisados, o que nos permite concluir que este cenário é de longe o mais prejudicial em relação ao ambiente. O fato dos valores no ano zero serem mais baixos para o cenário base devem-se ao fato de nos outros cenários serem incrementados sistemas solares térmicos ou medidas de reabilitação no edifício base.

Em relação às diferenças no ano 30 da vida útil do edifício estas são visíveis do cenário 1 ao 6 e muito mais visíveis do cenário 7 ao 13, uma vez que nestes últimos as soluções de reabilitação diminuíram significativamente a quantidade de energia consumida pelo edifício aumentando a diferença verificada nos primeiros cenários.

Nos cenários 1 a 6 a diferença verificada no ano 30 é devida ao fato da colocação de sistemas solares térmicos, neste caso no cenário 1 do sistema solar térmico padrão e a partir do cenário 2 até ao 6 do sistema H2OSS, uma vez que este vão diminuir a quantidade de gás consumida pelo esquentador para a preparação das AQS em relação ao cenário base.

Se analisarmos a Figura 35 em parceria com os dados já enumerados dos impactes totais é fácil perceber que a diferença sentida no ultimo ano de vida útil do edifício em relação ao cenário base do valor do Potencial de Aquecimento Global é menor que no cenário 5, o que reforça o já dito anteriormente que os sistema solar térmico integrado nas caleiras não são uma mais valia quando usados para cobrir 100% das necessidades de preparação das AQS.

Sendo também maior a diferença no ano zero uma vez que a área de absorção correspondente a este cenário é muito elevada fazendo aumentar também o incremento de Potencial de Aquecimento Global aquando da sua colocação no edifício.

No que diz respeito aos cenários do 7 ao 13 a diferença verificada no ano 30 é muito mais acentuada levando com que os declives das retas representantes a estes cenários sejam menores que a do cenário base. Isto devido, como já referido, à diminuição significativa da quantidade de energia consumida pelo edifício neste caso no cenário 7, e do cenário 8 ao 13 é também devido à diminuição do consumo de gás para a preparação das AQS uma vez que os sistemas solares térmicos tem essa função.

Com isto pode-se afirmar que a integração de sistemas solares térmicos nos edifícios unifamiliares é um benefício para o ambiente uma vez que ao fim de 30 anos as poupanças verificadas no que diz respeito aos valores do GWP são consideráveis, isto porque diminui-se a quantidade de energia não renovável consumida pelo edifício.

Em relação ao tempo de retorno de cada cenário quando comparado com o cenário base estes variam. Na Tabela 78 estão compilados para os diferentes cenários analisados os tempos de retorno do Potencial de Aquecimento Global.

Como se pode verificar na Tabela 78 o tempo de retorno de GWP mais elevado diz respeito ao cenário 1, ou seja o cenário que contempla o edifício base com a colocação do sistema

solar térmico padrão para satisfazer as necessidades de AQS com o esquentador a gás como sistema auxiliar. O que significa que é necessário 1,8 anos para anular o valor do Potencial de Aquecimento Global incrementado devido à colocação do sistema solar térmico padrão, com o benefício da produção de energia limpa por parte do sistema.

Tabela 78 – Tempo de retorno do Potencial de Aquecimento Global para os respetivos cenários

Cenários	Tempo de retorno do GWP (anos)
Cenário 1	1,8
Cenário 2	0,3
Cenário 3	0,8
Cenário 4	0,3
Cenário 5	0,3
Cenário 6	0,5
Cenário 7	0,1
Cenário 8	0,2
Cenário 9	0,1
Cenário 10	0,2
Cenário 11	0,1
Cenário 12	0,1
Cenário 13	0,2

A partir do cenário 7 os valores do tempo de retorno do potencial de aquecimento global são mais baixos como se pode verificar nas Figuras apresentadas anteriormente e na Tabela 77, isto deve-se ao fato de neste cenário existir uma diminuição significativa na quantidade de energia elétrica consumida pelo edifício e na quantidade de gás consumida pelo esquentador, no caso do cenário 7, e dos restantes devida também a quantidade de energia limpa que os sistemas solares térmicos produzem para a preparação de AQS diminuindo assim a quantidade de gás.

O valor mais baixo é o do cenário 7, isto porque a quantidade de Potencial de Aquecimento Global a mais que existe no ano zero devida às soluções de reabilitação de custo ótimo incrementadas no edifício, é anulada rapidamente porque a energia que se poupa com estas soluções é demasiado alta, levando a que seja rapidamente anulado o seu valor.

CAPITULO 6 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões gerais

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar os benefícios de ciclo de vida resultantes da integração de sistemas solares térmicos nos edifícios, ou seja, perceber se a colocação deste tipo de sistemas nos edifícios unifamiliares é vantajosa em termos ambientais. Para atingir esse objetivo, e considerando as características do parque habitacional português, a escolha do tipo de edifício a estudar foi feita de modo a que o estudo a desenvolver fosse o mais abrangente possível. Para esse efeito foi selecionado um edifício típico das décadas 60 a 90, que ao nível nacional é o mais representativo, correspondendo a aproximadamente 45% do total de edifícios existentes até 2011.

Com base nesse edifício foi feito um modelo em formato 3D, no DesignBuilder, com as características geométricas iguais ao edifício tipo em estudo, permitindo depois proceder à simulação térmica dinâmica desse modelo.

A primeira simulação consistiu em avaliar as necessidades energéticas do edifício, antes de implementar as medidas de reabilitação e da colocação de qualquer sistema solar térmico para cobrir necessidades de AQS, para as localizações pretendidas no estudo. Foram obtidas as necessidades energéticas para os vários locais escolhidos, chegando à conclusão que a maior parte da energia consumida pelo edifício é para o aquecimento do mesmo.

As simulações seguintes tinham como objetivo avaliar a colocação do sistema solar térmico padrão e o sistema solar térmico integrado nas caleiras – H2OSS, no edifício de forma a diminuir a quantidade de energia consumida na preparação das AQS, chegando à conclusão que os sistemas solares térmico não devem ser colocados para satisfazer 100% das necessidades de AQS.

Este processo repete-se para o edifício depois de sofrer a reabilitação através de soluções de custo ótimo comercializadas atualmente em termos de reabilitação, chegando às mesmas conclusões verificadas antes da reabilitação.

Após a simulação dinâmica e a obtenção das necessidades energéticas do edifício foram calculados os impactes ambientais associados a cada fase do ciclo de vida de cada cenário descrito bem como para cada localização pretendida, através do SimaPro.

Em todos os cenários definidos chegou-se à mesma conclusão, que a fase de ciclo de vida que mais influencia os impactes ambientais totais é a fase de utilização/operação do edifício, o que significa que o que mais prejudica o meio ambiente é a utilização de energia proveniente de fontes não renováveis, uma vez que a energia utilizada pelo edifício é elétrica proveniente da rede e gás natural proveniente também da rede.

O objetivo principal deste trabalho foi perceber se compensa em termos ambientais a integração de sistemas solares térmicos em edifícios habitacionais unifamiliares. Para isso comparou-se todas as hipóteses de colocação de sistemas solares térmicos no edifício estudado com o chamado cenário base que representa o edifício sem qualquer tipo de sistema solar térmico.

Em relação à categoria de impacte ambiental de Potencial de Aquecimento Global – GWP, chegou-se à conclusão que independentemente do sistema a ser integrado no edifício existe no fim de vida útil uma grande compensação em termos dos valores de GWP.

Chegou-se também à conclusão que não compensa uma grande área de absorção, no que diz respeito ao coletor usado, uma vez que a área não é diretamente proporcional à quantidade de energia produzida.

Em relação ao período de retorno do potencial de aquecimento global – GWP aquando da integração de sistemas solares térmicos verificou-se que todos os períodos de retorno são inferiores a 2 anos e na sua maioria inferiores a 1 ano. Pode-se concluir que estes tempos de retorno são muito baixos uma vez que se considerou uma vida útil de 30 anos.

A integração de sistemas solares térmicos tem potencialidades, do ponto de vista energético e ambiental. Conduz a reduções das necessidades energéticas que indiretamente diminuem os impactes ambientais libertados para o ambiente.

6.2 Perspetivas futuras

A integração de sistemas solares térmicos nos edifícios é um tema que atualmente está em cima da mesa, devido ao fato de ser cumprido o chamado horizonte 2020. Existe uma imensa variedade de produtos neste ramo, sendo que é necessário uma escolha acertada quando a decisão é poupar em termos energéticos e ambientais.

Para trabalhos futuros era importante avaliar outros tipos de edifícios, como por exemplo edifícios multifamiliares, ou mesmo edifícios comerciais de forma a perceber os benefícios

ambientais provenientes da colocação destes sistemas. É também importante avaliar outros sistemas de apoio ou seja outros sistemas auxiliares associados aos sistemas solares térmicos.

Uma avaliação do custo-benefício existente na colocação deste tipo de sistemas nos edifícios unifamiliares é uma trabalho que pode ser desenvolvido no futuro de forma a enriquecer este trabalho desenvolvido.

Referencias Bibliográficas

ADENE. (2012). Guia de Eficiência energética. Consultado 8 de Abril de 2015, de http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee_v1310.pdf

ADENE. (2016). Certificação Energética de Edifícios | ADENE - Agência para a energia. Consultado 24 de Fevereiro de 2015, de <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>

Água Quente Solar. (2017a). Como funciona um sistema de circulação forçada? Consultado 4 de Junho de 2015, de <http://www.aguaquentesolar.com/faq/questao.asp?id=8>

Água Quente Solar. (2017b). Como funciona um sistema em termosifão? Consultado 4 de Junho de 2015, de <http://www.aguaquentesolar.com/FAQ/questao.asp?id=9>

Amado, MIGUEL P., Pinto, A. J., Santos, C. V, & Cruz, A. (2007). The Sustainable Building Process. *Proceedings of XXXV IAHS World Congress on Housing Science, Melbourne, Australia*, 4–7.

APIsolar. (2013). *Observatório Solar Térmico | 2013*.

Ardente, Fulvio, Beccali, Giorgio, Cellura, Maurizio, & Lo Brano, Valerio. (2005). Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy*, 30(7), 1031–1054. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.009>

Barroso, Luís Pedro Marques. (2010). *Construção sustentável - soluções comparativas para o uso eficiente da água nos edifícios de habitação*. Consultado de <http://run.unl.pt/handle/10362/4112>

Bojić, Milorad, Johannes, Kévyn, & Kuznik, Frédéric. (2014). Optimizing energy and environmental performance of passive Trombe wall. *Energy and Buildings*, 70, 279–286. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.062>

Brundtland, Gro Harlem. (1987). *Report of the World Commission on environment and development: « our common future. »* United Nations.

Cardoso, Filipa. (2011). Edifícios e Energia - O que é preciso cumprir? Consultado 26 de Fevereiro de 2015, de <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/o-que-e-preciso-cumprir>

Clark, By. (2005). *Energy Efficiency 2nd report of session 2005–06* (Great Brit).

Correia Guedes, M., Pinheiro, M., & Manuel Alves, L. (2009). Sustainable architecture and urban design in Portugal: An overview. *Renewable Energy*, 34(9), 1999–2006. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2009.02.014>

Costa, Rui Paiva, & Silva, Sandra Monteiro da. (2014). *Integração de sistemas solares na reabilitação de edifícios*. Guimarães. Consultado de [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31354/1/1976-Integra%C3%A7%C3%A3o de sistemas solares na reabilita%C3%A7%C3%A3o de edif%C3%ADcios_Rui Costa.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31354/1/1976-Integra%C3%A7%C3%A3o%20de%20sistemas%20solares%20na%20reabilita%C3%A7%C3%A3o%20de%20edif%C3%ADcios_Rui%20Costa.pdf)

Diakoulaki, D., Zervos, a., & Sarafidis, J. (2001). Cost benefit analysis for solar water heating systems. *Energy Conversion and Management*, 42, 1727–1739. [http://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00153-9](http://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00153-9)

Diário da República. Decreto Lei nº118/2013 (2013). Consultado de <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>

Direção Geral de Energia e Geologia. (2007). Energia Solar. Consultado de <http://www.dgeg.pt/>

GREEN PRO. (2004). *Solar Térmico - Manual Sobre Tecnologias, Projecto E Instalação*. Consultado de <http://www.greenpro.de/po/solartermico.pdf>

Hammond, Prof Geoff, & Jones, Craig. (2008). Inventory of Carbon & Energy (Ice).

Hang, Yin, Qu, Ming, & Zhao, Fu. (2012). Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States. *Energy and Buildings*, 45, 181–188. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.057>

INETI. (2007). *Instalações Solares Térmicas*. Consultado de <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/SolarTermico2007INETI.pdf>

Instituto Nacional de Estatística. (2011). EDIFÍCIOS, SEGUNDO A ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO, POR ESTADO DE CONSERVAÇÃO. Consultado 15 de Outubro de 2015, de http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros_edif

Kalogirou, Soteris a. (2004). Environmental benefits of domestic solar energy systems. *Energy Conversion and Management*, 45(18-19), 3075–3092. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.12.019>

Kalogirou, Soteris A. (2013). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Consultado de <https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=wYRqAAAAQBAJ&pgis=1>

Kibert, Charles J. (1994). Establishing principles and a model for sustainable construction. Em *Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction*. Tampa Florida, November.

Lamnatou, Chr., Notton, G., Chemisana, D., & Cristofari, C. (2014). Life cycle analysis of a building-integrated solar thermal collector, based on embodied

energy and embodied carbon methodologies. *Energy and Buildings*, 84, 378–387. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.011>

Mateus, Ricardo. (2004). *Novas Tecnologias Construtivas Com Vista À Sustentabilidade Da Construção*. Universidade do Minho.

Mateus, Ricardo, Neiva, Sara, Bragança, Luís, Mendonça, Paulo, & Macieira, Mónica. (2013). Sustainability assessment of an innovative lightweight building technology for partition walls - Comparison with conventional technologies. *Building and Environment*, 67, 147–159. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.05.012>

Mexa, Nuno Filipe dos Santos. (2011). *Sistemas Solares Térmicos - Simulação de perfis de consumo e cálculo do comportamento térmico a longo prazo*.

Mota, Luciana, & Mateus, Ricardo. (2011). *Contributo da fase de manutenção para os impactes de ciclo de vida de edifícios de habitação. Sustentabilidade na Reabilitação Urbana - O Novo Paradigma do Mercado da Construção*.

ONU. (2014). No primeiro Dia Mundial das Cidades, ONU destaca a necessidade de um planeamento urbano sustentável. Consultado 24 de Março de 2015, de <http://www.unric.org/pt/actualidade/31659-no-primeiro-dia-mundial-das-cidades-onu-destaca-a-necessidade-de-um-planeamento-urbano-sustentavel>

Otanicar, Todd P., & Golden, Jay S. (2009). Comparative environmental and economic analysis of conventional and nanofluid solar hot water technologies. *Environmental science & technology*.

Pinheiro, Manuel Duarte. (2003). *CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – MITO OU REALIDADE? VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*. Consultado de

https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571242058/PaperAPEA_ConstrucaoSustentavel.pdf

Pinheiro, Manuel Duarte. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável (in Portuguese Environment and Sustainable Construction)*.

Report, Technical, Ant, Marco, & Ara, Catarina. (2014). PORTUGAL EPBD National report on calculation of cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for residential buildings Níveis Ótimos de Rentabilidade, (December 2015). <http://doi.org/10.13140/2.1.1543.7124>

Rui J. G. Costa, Luís Bragança, Ricardo Mateus, João Carlos Bezerra. (2014). *Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade*. Consultado de https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30758/1/RCosta_LBraganca_RMateus_JCBezerra_EngCivil.pdf

SUSTENTÁVEL, CÚPULA MUNDIAL SOBRE DESENVOLVIMENTO. (2002). *Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável*. Joanesburgo. Consultado de http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/DesenvolvimentoSustentavel/2002_Declaracao_Joanesburgo.pdf

Tsiliniridis, G., & Martinopoulos, G. (2010). Thirty years of domestic solar hot water systems use in Greece - energy and environmental benefits - future perspectives. *Renewable Energy*, 35(2), 490–497. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.001>

Vieira, Jeann Cunha. (2007). *Sustentabilidade*. Consultado de http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce04007_Sustentabilidade.pdf

Waters, Brian. (2013). *Introduction to Environmental Management: For the NEBOSH Certificate in Environmental Management*. Routledge.