



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Verónica Marisa Martins Fernandes

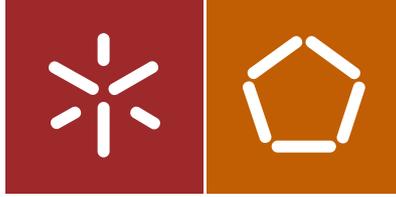
Avaliação de ciclo de vida de
sistemas solares térmicos em edifícios

Avaliação de ciclo de vida de
sistemas solares térmicos em edifícios

Verónica Marisa Martins Fernandes

UMinho | 2014

Julho de 2014



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Verónica Marisa Martins Fernandes

Avaliação de ciclo de vida de
sistemas solares térmicos em edifícios

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

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Ricardo Mateus

e coorientação do
Professor Doutor Luís Bragança

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Ricardo Mateus, por sempre me apoiar e orientar ao longo deste período. Os seus ensinamentos, conselhos e experiências foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sem ele muitos obstáculos não teriam sido ultrapassados.

Ao Professor Luís Bragança por se mostrar disponível nos momentos oportunos.

Aos meus pais e à minha irmã que sempre me apoiaram incondicionalmente, sem nunca duvidarem das minhas capacidades. O seu carinho e atenção foram fulcrais para o empenho e dedicação contemplados neste trabalho.

Aos meus amigos, sempre dispostos a ajudar, agradeço a paciência e a compreensão que demonstraram nos momentos mais difíceis.

Fica ainda o meu agradecimento a todos os amigos e colegas da Universidade do Minho que tornaram esta passagem académica inesquecível.

Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos em edifícios

RESUMO

A presente dissertação aborda fundamentalmente conceitos de cariz ambiental e económico aplicados ao ciclo de vida de sistemas solares térmicos para águas quentes sanitárias.

Com este trabalho pretende-se alertar os projetistas para a problemática atual das alterações climáticas, de forma a privilegiar o uso de energias renováveis, mais concretamente de energia solar. Para tal serão apresentados e discutidos conceitos e noções sobre a legislação e o mercado dos sistemas solares térmicos, assim como os principais componentes que constituem esses sistemas.

No fim do estudo apresenta-se uma metodologia de avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos com base numa análise LCA e LCC, que desencadeou o desenvolvimento de um programa informático que tem como objetivo a integração mais rápida do sistema solar térmico na construção e, portanto, promover a sua sustentabilidade.

O programa permite o cálculo dos potenciais impactes ambientais tais como aquecimento global, acidificação, eutrofização, destruição da camada de ozono, energia incorporada, etc., decorrentes do ciclo de vida do sistema solar térmico, os impactes desse sistema ao longo do tempo de vida do edifício e a sua viabilidade económica. Posteriormente, o programa produz um relatório onde constam os tempos de retorno ambiental, energético e económico do sistema selecionado. No final do trabalho foi desenvolvida uma aplicação prática desse programa, que consiste na sua aplicação a um projeto real de um sistema solar térmico. Deste estudo conclui-se que o sistema termossifão é economicamente mais viável que um sistema de circulação forçada quando aplicado a uma moradia unifamiliar.

A melhor compreensão da relação custo-benefício económica e ambiental dos sistemas solares térmicos é crucial para que os projetistas formulem uma decisão consciente e ponderada, visto a obrigatoriedade legal implícita na instalação dos sistemas solares.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Sistema Solar Térmico, Avaliação de ciclo de vida (LCA), Custos de ciclo de vida (LCC), Programa Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos.

Life cycle assessment of solar hot water systems in buildings

ABSTRACT

This thesis embraces environmental and economic concepts applied to the life cycle of solar hot water systems.

This work is aimed at alerting engineers to the current problem of climate change, in order to promote the use of renewable energy, specifically solar energy. The concepts and notions about the law and the market for solar thermal systems will be presented and discussed, as well as the main components that make up these systems.

A methodology for life cycle assessment of solar hot water systems based on LCA and LCC analysis will be presented at the current study, which triggered the development of a software that is aimed to faster the integration of solar thermal system in building and therefore to promote their sustainability.

This software allows the calculation of the potential environmental impacts such as global warming, acidification, eutrophication, destruction of the ozone layer, embodied energy, etc., arising from the life cycle of the solar thermal system, the impacts of this system over the lifetime of the building and its economic viability. After that, the software produces a report with carbon payback period, energy payback period and the cost payback period. One practical application of this program was carried out in the end of this work. This study concluded that the passive solar collector for domestic warm water is more economically viable than a solar water heating systems when applied to a single family house.

The better understanding of cost-benefit and economic and environmental performance of solar thermal systems is crucial to designers be able to formulate a conscious and weighted decision, given the implied legal obligation in the installation of solar systems.

KEY-WORDS: Solar Energy, Solar water heating, Life cycle assessment (LCA), Life cycle cost (LCC), Program Life cycle assessment of solar hot water systems.

ÍNDICE GERAL

NOTAS DE APRESENTAÇÃO.....	iii
----------------------------	-----

PARTE I

Apresentação e Enquadramento da Dissertação

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Enquadramento (Relevância da temática)	1
1.2 Objetivos do Trabalho	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
Capítulo 2 – Definições e Fundamentos de Energia Solar	5
2.1 Alterações Climáticas.....	5
2.2 Eficiência Energética	7
2.3 Energias Renováveis	10
Capítulo 3 – Sistema Solar Térmico	17
3.1 Noções de Radiação e Geometria Solar	17
3.1.1 Movimento Terra – Sol	17
3.1.2 Fundamentos de geometria solar	17
3.1.3 Obstrução Solar.....	20
3.2 Tipo de Coletores Solares	22
3.2.1 Coletores simples.....	22
3.2.2 Coletores planos	23
3.2.3 Coletores de tubos de vácuo	23
3.2.4 Concentradores solares	25
3.2.5 Coletores Parabólicos Compostos (CPC).....	25
3.3 Modo de ligação entre coletores solares	25
3.3.1 Ligação em Paralelo	25
3.3.2 Ligação em série	26
3.3.3 Ligação em paralelo de canais	27
3.4 Sistemas Solares Térmicos.....	28
3.4.1 Sistema de circulação natural (Sistema de termossifão)	29
3.4.2 Sistemas de circulação forçada	31
3.5 Acessórios e Depósitos de acumulação	32
3.5.1 Depósitos de acumulação	32
3.5.2 Sistemas Auxiliares	33
3.5.3 Fluido Térmico	34
3.5.4 Bomba de Circulação	35

3.5.5	Válvulas	35
3.5.6	Vaso de expansão	35
3.6	Integração de sistemas solares térmicos em edifícios	37
3.7	Certificação de coletores e sistemas solares térmicos	42
Capítulo 4 – Noções de Avaliação de ciclo de vida (LCA)		47
4.1	Enquadramento ao método LCA.....	47
4.2	Aplicação LCA em edifícios e respetiva normalização.....	49
4.3	Análise do método LCA	53
4.3.1	Definição de objetivo e âmbito	54
4.3.1.1	Unidade Funcional (UF).....	55
4.3.1.2	Limites do Sistema	56
4.3.2	Inventário de ciclo de vida (LCI)	57
4.3.3	Avaliação dos impactes de ciclo de vida.....	57

PARTE II

Metodologia aplicada

Capítulo 5 – Avaliação do ciclo de vida de Sistemas Solares Térmicos		61
5.1	Enquadramento.....	61
5.2	Avaliação do ciclo de vida de edifícios	61
5.2.1	Fase de produção dos materiais	63
5.2.2	Fase de construção do edifício	63
5.2.3	Fase de operação do edifício.....	63
5.2.3.1	Manutenção.....	64
5.2.4	Fase de fim de vida do edifício	65
5.3	Integração de sistemas solares térmicos em edifícios	65
5.4	Avaliação do ciclo de vida de sistemas solares térmicos.....	66
5.4.1	Definição de objetivo e âmbito	67
5.4.2	Inventário de ciclo de vida (LCI)	68
5.4.2.1	Fase de produção	68
5.4.2.2	Fase de utilização	69
5.4.2.3	Manutenção	74
5.4.3	Fim de vida	74
5.5	Índices de Sustentabilidade.....	75
5.5.1	Tempo de retorno energético	75
5.5.2	Tempo de retorno ambiental.....	75
Capítulo 6 – Custos de Ciclo de Vida (LCC)		77
6.1	Enquadramento.....	77

6.2	Taxa de desconto real.....	79
6.3	Relação entre valor presente e valor futuro	80
6.4	Medidas Suplementares	82
6.4.1	Poupança líquida.....	83
6.4.2	Rácio entre poupança e investimento (SIR)	83
6.4.3	Taxa interna de retorno modificada (TIRM)	84
6.4.4	Período de Retorno (PR).....	84

PARTE III

Apresentação do programa desenvolvido e aplicação prática

Capítulo 7 – Desenvolvimento do programa informático para Avaliação do ciclo de vida de sistemas solares térmicos.....	87
7.1 Enquadramento	87
7.2 Manual de utilização do programa.....	87
Capítulo 8 – Caso de Estudo	101
8.1 Descrição do caso de estudo	101
8.2 Simulação	103
8.3 Estudo de Otimização	112

PARTE IV

Conclusões e Trabalhos Futuros

Capítulo 9 – Considerações Finais.....	115
9.1 Conclusões.....	115
9.2 Trabalhos Futuros	117
Referências Bibliográficas.....	119

ANEXOS

ANEXO I.....	127
ANEXO II.....	129
ANEXO III.....	133
ANEXO IV	139
ANEXO V.....	143
ANEXO VI.....	149

NOMENCLATURA

APA - Agencia Portuguesa do Ambiente

APREN - Associação de Energias Renováveis

AQS – Água Quente Sanitária

CEN - Comité Europeu de Normalização

COP – Coefficient of Performance (Coeficiente de Eficiência Energética)

CQNUAC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

DGEG - Direção geral de Energia e Geologia

Esolar - Contribuição de sistemas solares térmicos para o aquecimento de AQS

ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation

GEE - Gases de efeito de estufa

IEA - International Energy Agency

ISO - International Organization for Standardization

kWh/ano – Quilowatt-hora por ano

LCA – Life Cycle Assessment

LCC – Life Cycle Cost

NS - Net Saving

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

REN - Redes Energéticas Nacionais

REPA - Resource and Environmental Profile Analysis

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

SIR - Savings to Invest Ratio

TIRM – Taxa Interna de Retorno Modificada

TR – Tempo de Retorno

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Conceito de Desenvolvimento Sustentável	6
Figura 2: Repartição do consumo de energia final por sector	8
Figura 3: Distribuição do consumo de energia no sector doméstico por tipo de utilização - Portugal, 2010	9
Figura 4: Produção de eletricidade por fontes em Portugal, 2012	11
Figura 5: Produção de eletricidade por fontes em Portugal, 2013	11
Figura 6: Peso das fontes de energia em Portugal, 2013	12
Figura 7: Utilização de energias renováveis nos 27 Estados-Membros da UE em 2011 ..	13
Figura 8: Mapas da radiação solar em Portugal Continental e na Europa.....	14
Figura 9: Plano Elíptico	17
Figura 10: Radiação Solar	18
Figura 11: Incidência Solar.....	18
Figura 12: Altura Solar	19
Figura 13: Carta Solar para a latitude da cidade do Porto, Portugal.....	20
Figura 14: Sombreamento em coletores solares	21
Figura 15: Coletor simples.....	23
Figura 16: Secção transversal de um coletor plano.....	23
Figura 17: Tubos de vácuo	24
Figura 18: Ligação em paralelo	26
Figura 19: Ligação em série.....	27
Figura 20: Ligação em paralelo de canais	27
Figura 21: Classificação dos sistemas solares térmicos	29
Figura 22: Medidas de referência para a instalação de termossifões	30
Figura 23: Sistema de circulação natural (termossifão)	30
Figura 24: Sistema termossifão	31
Figura 25: Sistema de circulação forçada.....	31
Figura 26: Depósito de acumulador com dois permutadores	33
Figura 27: 1º) Bomba de Calor; 2º) Esquentador; 3º) Caldeira	34
Figura 28: Fluido térmico	34
Figura 29: Bomba de circulação	35
Figura 30: Vaso de expansão	36
Figura 31: Sistema solar térmico integrado no telhado do edifício	37

Figura 32: Sede da Caixa Geral de Depósitos em Lisboa	38
Figura 33: Centro de Controlo Operativo da BRISA em Carcavelos	39
Figura 34: Sistema Totalmente Centralizado	40
Figura 35: Sistema solar centralizado com apoios individuais.....	41
Figura 36: Sistema de coletores centralizados.....	41
Figura 37: Sistema totalmente individual.....	42
Figura 38: Estruturação Normativa para certificação de coletores e sistemas solares térmicos	43
Figura 39: Marca de certificação Solar Keymark	44
Figura 40: Marca CERTIF.....	44
Figura 41: Etapas do ciclo de vida de um produto ou serviço.....	49
Figura 42: Etapas LCA.....	54
Figura 43: Ciclo de vida de um edifício	62
Figura 44: Cenários representativos da fase de operação do edifício	66
Figura 45: Estágios LCA aplicados aos sistemas solares térmicos	67
Figura 46: Metodologia de cálculo das necessidades energéticas para AQS	71
Figura 47: Modelo de funcionamento do programa Solterm	73
Figura 48: Ramificação do Custo Global	78
Figura 49: Ilustração esquemática do SPV.....	81
Figura 50: Ilustração esquemática do UPV	81
Figura 51: Ilustração esquemática do UPV*	82
Figura 52: Fluxo de informação do programa desenvolvido.....	87
Figura 53: Janela "Iniciar"	88
Figura 54: Primeiro separador do programa (Edifício).....	90
Figura 55: Manual de utilizador.....	90
Figura 56: Ajuda 1: Fator de eficiência hídrica	91
Figura 57: Ajuda 2: Variação da temperatura	91
Figura 58: Separador "Sistemas Solares Térmicos"	92
Figura 59: Separador "Análise Ambiental e Energética"	93
Figura 60: Janela de confirmação	93
Figura 61: Separador "Análise Económica"	94
Figura 62: Plano de Manutenção - opção 1	95
Figura 63: Plano de Manutenção - opção 2.....	95

Figura 64: Plano de Manutenção - opção 3	96
Figura 65: Exemplo de preenchimento do separador "Análise Económica"	97
Figura 66: Separador "Relatório Final"	98
Figura 67: Janela "Tempo de Retorno Económico"	98
Figura 68: Janelas "Tempo de retorno do CO ₂ " e "Tempo de retorno Energético"	98
Figura 69: Planta da Cobertura e alçado Sul do edifício em estudo	101
Figura 70: SolTerm 5.1.3, localização do caso de estudo	104
Figura 71: SolTerm 5.3.1, caracterização do sistema solar	104
Figura 72: SolTerm 5.3.1, desempenho do sistema solar	105
Figura 73: Preenchimento do separador "Edifício"	108
Figura 74: Preenchimento do separador "Sistemas Solares Térmicos"	109
Figura 75: Preenchimento do separador "Análise Ambiental e Energética"	109
Figura 76: Preenchimento do separador "Análise Económica"	110
Figura 77: Preenchimento do separador "Relatório Final"	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Inclinação de coletores solares	19
Tabela 2: Tipos de válvulas	36
Tabela 3: Fatores de caracterização – GWP	58
Tabela 4: Indicadores ambientais incluídos neste estudo.....	68
Tabela 5: Avaliação dos impactes do ciclo de vida de sistemas solares térmicos (Fase de produção).....	69
Tabela 6: Avaliação dos impactes do ciclo de vida de sistemas solares térmicos (Fase de utilização)	70
Tabela 7: Número de ocupantes em função da tipologia da fração (Quadro VI.1 do RCCTE).....	71
Tabela 8: valores do fator de eficiência hídrica	72
Tabela 9: Sistemas solares do programa desenvolvido (Parte I)	99
Tabela 10: Sistemas solares do programa desenvolvido (Parte II)	100
Tabela 11: Dados e pressupostos das soluções propostas	102
Tabela 12: Desempenho dos Sistemas (SolTerm 5.3.1).....	107
Tabela 13: Resultados extraídos do programa desenvolvido	111
Tabela 14: Desempenho dos Sistemas com inclinação otimizada (SolTerm 5.3.1)	112
Tabela 15: Resultados extraídos do programa desenvolvido	114

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos coletores solares:	24
Quadro 2: Vantagens e desvantagens da ligação em paralelo	26
Quadro 3: Vantagens e desvantagens da ligação em série	27
Quadro 4: Vantagens e desvantagens da ligação em paralelo de canais	28
Quadro 5: Vantagens e Desvantagens da circulação natural e da circulação forçada.....	32
Quadro 7: Vantagens e desvantagem de Unidades Funcionais	56
Quadro 8: Métodos intermédios e métodos finais.....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Mercado de coletores solares térmicos recém-instalados em Portugal	15
Gráfico 2: Desenvolvimento dos principais mercados - Capacidade de coletores recém- instalados (per 1000 Capita)	15
Gráfico 3: Solução de Referência, fração solar e Esolar	106
Gráfico 4: Solução de Referência, produção de AQS	106
Gráfico 5: Solução de Referência otimizada, fração solar e Esolar	113
Gráfico 6: Solução de Referência otimizada, produção de AQS	113

PARTE I

Apresentação e Enquadramento da Dissertação

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento (Relevância da temática)

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente as alterações climáticas têm vindo a ser identificadas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta e a humanidade enfrentam na atualidade (APA, 2014). O aumento da temperatura global pode resultar numa catalisação de efeitos ambientais, devido ao aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos.

Inevitavelmente, as alterações climáticas resultantes da emissão de gases de efeito de estufa que por sua vez, resultam do consumo excessivo de combustíveis fósseis, levaram a humanidade a refletir sobre o seu contributo ambiental. Assim sendo, ao longo das últimas décadas, os países têm vindo a debater políticas e métodos em prol da redução de poluentes causadores do aquecimento global. Esta resposta política traduziu-se na implementação de medidas que minimizam os impactes resultantes da intervenção humana e que preparam a sociedade para lidar com os impactes que já afetam o planeta.

O Pacote Energia-clima da União Europeia estabeleceu para Portugal uma redução até 2020 de pelo menos 20% das emissões de gases com efeito de estufa em relação a 1990. Neste contexto, Portugal propôs-se a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e a privilegiar o uso de fontes de energias renováveis.

Neste âmbito, torna-se necessário divulgar os benefícios, quer a nível ambiental quer a nível socioeconómico, resultantes da integração de sistemas solares térmicos em edifícios. A seleção destes sistemas deve ser feita de forma a otimizar a sua eficiência, reduzindo os custos com a energia e minimizando os impactes ambientais.

1.2 Objetivos do Trabalho

O parque edificado é um dos principais consumidores de energia (Alves, 2011). Neste contexto a utilização de energia solar em edifícios tornou-se um tema relevante para a sociedade, passando a ser vista como uma fonte alternativa às energias convencionais. Contudo não é uma visão uníssona pois a energia solar é a menos utilizada no sector doméstico em Portugal.

Neste âmbito surge como objetivo principal deste trabalho desenvolver um programa capaz de avaliar os benefícios ambientais e económicos resultantes da integração de sistemas solares térmicos em edifícios, utilizando uma metodologia de avaliação de ciclo de vida (LCA). Para isso, será necessário estudar o ciclo de vida completo dos sistemas solares térmicos mais usuais em Portugal, fazendo uma análise detalhada de todos os impactes resultantes destes sistemas. Posteriormente uma análise do tempo de retorno ambiental, energético e económico levará à resposta da problemática proposta: “Qual a relação custo-benefício económica e ambiental destes sistemas e qual o seu contributo para o ciclo de vida dos edifícios?” Com estes resultados pretende-se auxiliar os projetistas na análise de ciclo de vida dos sistemas solares térmicos de modo a tomarem a melhor decisão (escolha do sistema) em prol da otimização do desempenho destes sistemas.

Um outro objetivo deste trabalho consiste na criação de uma metodologia padrão capaz de auxiliar os projetistas na quantificação dos impactes ambientais e económicos. Esta metodologia será posteriormente integrada numa aplicação informática, para usufruo dos projetistas.

A metodologia proposta foi desenvolvida com base nas normas atuais, nomeadamente a nível ambiental nas normas internacionais ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 e na norma EN 15804:2012 desenvolvida pelo CEN/TC 350, que se destina a avaliar a sustentabilidade na construção. A nível económica esta metodologia seguirá os critérios estabelecidos pelo *Federal Energy Management Program* (FEMP), onde são apresentadas as medidas económicas fundamentais para avaliar um projeto, resultando no fim numa análise do tempo de retorno económico.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação intitulada “Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos em edifícios” encontra-se estruturada em quatro partes, constituídas por nove capítulos. O desencadeamento estrutural desta dissertação começa pela análise de conceitos e noções imprescindíveis para a compreensão da metodologia proposta e para a utilização do programa criado.

A Parte I desta dissertação compreende os capítulos 1, 2, 3 e 4. No primeiro capítulo são abordados os objetivos e o enquadramento do trabalho. No segundo os conceitos de radiação e geometria solar e no terceiro capítulo caracterizam-se e definem-se os sistemas solares térmicos. No último capítulo da primeira parte apresenta-se todos os fundamentos e objetivos de uma análise LCA, desde o enquadramento histórico do método até à sua aplicabilidade ao longo dos anos.

Na Parte II apresenta-se a metodologia elaborada neste trabalho, repartida pelo capítulo 5 e 6. No capítulo 5 é explicado os passos necessários para uma análise LCA, desde a contabilização dos impactes dos sistemas solares térmicos até à sua integração nos edifícios. Finalizando com o processo de cálculo dos índices de sustentabilidade. No último capítulo da Parte II apresentam-se os conceitos e métodos de cálculo para uma análise económica.

A Parte III desta dissertação corresponde a uma secção mais dinâmica pois apresenta-se o programa informático desenvolvido, com origem na metodologia proposta. No final procede-se à sua aplicação a um caso de estudo. No capítulo 7 são estruturados todos os passos para a utilização do programa, formulando um manual de utilizador. No capítulo 8 desenvolve-se a aplicação da metodologia e a otimização do sistema solar térmico a aplicar numa moradia unifamiliar a construir em Penafiel.

Por fim a Parte IV, constituída pelo capítulo 9, apresenta as conclusões desta dissertação e uma análise aos objetivos propostos no início do trabalho. São também apresentadas propostas para trabalhos futuros no âmbito desta dissertação.

Capítulo 2 – Definições e Fundamentos de Energia Solar

2.1 Alterações Climáticas

Desde o marco histórico que foi a revolução industrial até ao final do século passado, o planeta sofreu metamorfoses que levaram ao aparecimento de diversos fenómenos climáticos e a alterações da capacidade de renovação dos ecossistemas (DGEG, 2007).

Estas agitações no planeta devem-se ao elevado consumo de recursos naturais, principalmente do sector energético, que utiliza fontes não renováveis para a produção de energia. Os impactos ambientais destas atividades têm despertado um alerta a nível mundial (DGEG, 2007).

Atualmente, o problema das alterações climáticas já não passa despercebido pois tem afetado cada vez mais a população mundial, tornando-se evidente a necessidade de atuar no sentido de reverter esta tendência.

Estas alterações climáticas resultam essencialmente do Aquecimento Global. Este processo pode ser explicado da seguinte forma: Quando o dióxido de carbono (CO_2) se encontra na camada superior da atmosfera, em níveis considerados normais tem-se um equilíbrio climático, pois o CO_2 é utilizado na fotossíntese para a produção de oxigénio. Contudo, a contínua desflorestação e a utilização massiva de combustíveis fósseis, elevam de tal forma os níveis de dióxido de carbono na atmosfera, que a área florestal disponível no planeta é incapaz de utilizar a totalidade deste gás no processo de fotossíntese. Desencadeia-se assim, um efeito de estufa que promove a subida da temperatura da superfície terrestre, levando a impactos desastrosos na população, nos ciclos naturais do planeta, na capacidade de renovação dos ecossistemas e nos padrões de determinadas culturas alimentares (DGEG, 2007).

As alterações climáticas podem ser assinaladas como o maior desafio do século XXI (DGEG, 2007). Nestas circunstâncias houve a preocupação e a necessidade de desenvolver iniciativas e instrumentos a nível mundial, no sentido de estabilizar as concentrações de gases de efeito de estufa (GEE) na atmosfera de forma a possibilitar a adaptação natural dos ecossistemas e a reduzir a interferência antropológica no sistema climático. Tornou-se assim necessário garantir um desenvolvimento económico

sustentável através da operacionalidade de ações e iniciativas que combatam os problemas mencionados. Seguem-se a título de exemplo algumas iniciativas que têm vindo a ser desenvolvidas ao longo dos anos com o objetivo de colmatar o problema das alterações climáticas: Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) e a sua pioneira Conferência do Rio, Protocolo de Quioto, Agenda 21 e os Acordos de Copenhaga, Cancun e Durban (DGEG, 2007).

Em 1992, realizou-se na cidade do Rio de Janeiro uma conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento onde foi redigido um documento denominado de “Agenda 21”. Este documento continha informações e recomendações para atingir o desenvolvimento sustentável. Desta forma surgiu a apresentação do conceito “desenvolvimento sustentável”, definido no Relatório de Brundtland (*World Commission on Environment and Development*, 1987) como: “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.” O desenvolvimento sustentável é atualmente, um conceito muito mais amplo, baseando-se na ligação de três dimensões: o desenvolvimento económico, a coesão social e a proteção ambiental (Mateus, 2009). Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (2007) “a estas três dimensões deve ainda acrescentar-se a vertente institucional, que visa as formas de governação das instituições e dos sistemas legislativos, bem como da participação dos grupos de interesse e da sociedade civil” (Figura 1).

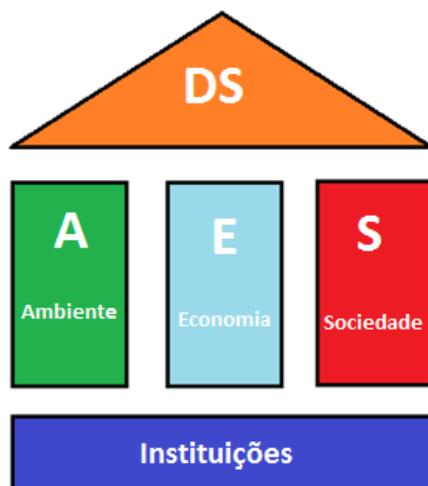


Figura 1: Conceito de Desenvolvimento Sustentável (DGEG, 2007)

A “Agenda 21” e a “Declaração do rio” forneceram orientações de trabalhos que teriam de ser realizados quer a nível internacional, quer a nível nacional de forma a se consagrar os compromissos políticos impostos na conferência das Nações Unidas (DGEG, 2007).

De modo a materializar a visão global de desenvolvimento e ambiente foram definidas estratégias para o desenvolvimento sustentável através da aplicação de medidas e metas. A nível da União Europeia foram apresentadas as seguintes áreas prioritárias de intervenção: combate às alterações climáticas, gestão de recursos naturais, limitação de riscos para a saúde pública e transportes mais sustentáveis (APA, 2014).

O contributo de um único país pode ser pequeno para o combate a estes problemas mundiais, contudo, a união e a cooperação pode ser a única salvação do planeta.

2.2 Eficiência Energética

A energia tornou-se numa fonte vital para a sociedade e para a economia mundial, levando a preocupações relacionadas com a integração das políticas energéticas e ambientais. Neste âmbito, é importante reduzir a dependência do petróleo e a emissão de GEE através de tecnologias mais limpa e energeticamente eficientes. É fundamental promover a utilização de energias renováveis e a introdução de tecnologias de baixo carbono, aumentar a diversidade de energias sustentáveis, a competitividade das empresas e o crescimento económico dos países (DGEG, 2007). Tendo como base as atuais fontes de energias renováveis conhecidas, a Direção Geral de Energia e Geologia, foca a importância de apostar no melhoramento tecnológico destas energias de maneira a alcançar uma maior eficiência energética. Considerando contudo que é primordial sensibilizar a população, através da sua participação e consciencialização para a necessidade de mudança do comportamento social (APA, 2014).

Segundo Castro (2011), Portugal é um país muito dependente de energia resultante de combustíveis fósseis. No âmbito do Protocolo de Quioto, Portugal assumiu o compromisso de limitar o crescimento das suas emissões GEE não excedendo até 2010 27% do valor que tinha em 1990. Contudo em 2005 Portugal já estava a emitir GEE em mais de 50% do valor estipulado (DGEG, 2007). No sentido de colmatar o sucedido,

foram implantadas políticas com o objetivo de reduzir as emissões de gases poluentes e um programa de integração de energias renováveis na rede elétrica (Castro, 2011), estabelecendo-se as seguintes metas até 2020: uma redução de 20% do consumo de energias primárias, incorporação de 20% de energias renováveis no consumo bruto de eletricidade e uma redução de 20% de gases com efeito de estufa.

Portugal tem vindo a evoluir energeticamente, passando a ser necessária a utilização de energia num maior número de sectores sociais. Na Figura 2 apresenta-se o Balanço Energético de 2009, em que o sector doméstico é o terceiro maior consumidor de energia depois dos sectores dos transportes (37,5%) e da indústria (30,5%). Apesar do sector doméstico não representar a maior parte da parcela de consumos, este torna-se o sector mais importante, pois é aquele que pode ser mais facilmente trabalhado a nível da eficiência energética. Este sector apresenta um grande potencial na implantação de energias renováveis, assim como na redução das emissões de GEE, podendo tornar-se num sistema energeticamente sustentável (Alves, 2011).

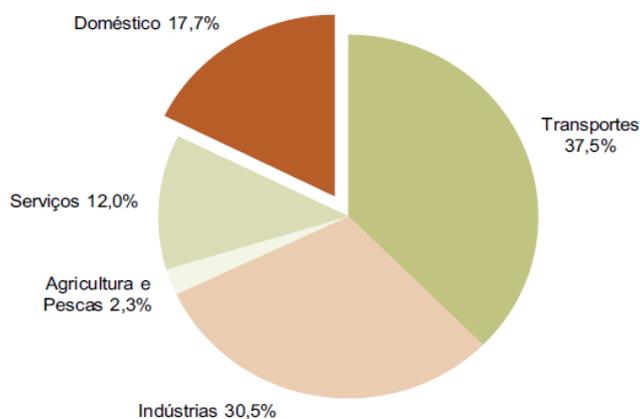


Figura 2: Repartição do consumo de energia final por sector (I.P./DGEG, 2011)

Estudos realizados pela Direção Geral de Energia e Ecologia (2007) referem que “o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal. Porém, mais de 50% desse consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética.”

No que concerne ao consumo energético do parque edificado, de acordo com a informação disponibilizada pela Direção Geral de Energia e Geologia, os gastos energéticos dos edifícios são repartidos por três grupos. O primeiro grupo diz respeito à

climatização, seguido da iluminação e outros e por fim as cozinhas e águas quentes sanitárias. Segundo a Figura 3, em 2010, estes grupos apresentavam as percentagens de 22%, 15% e 63% respetivamente.

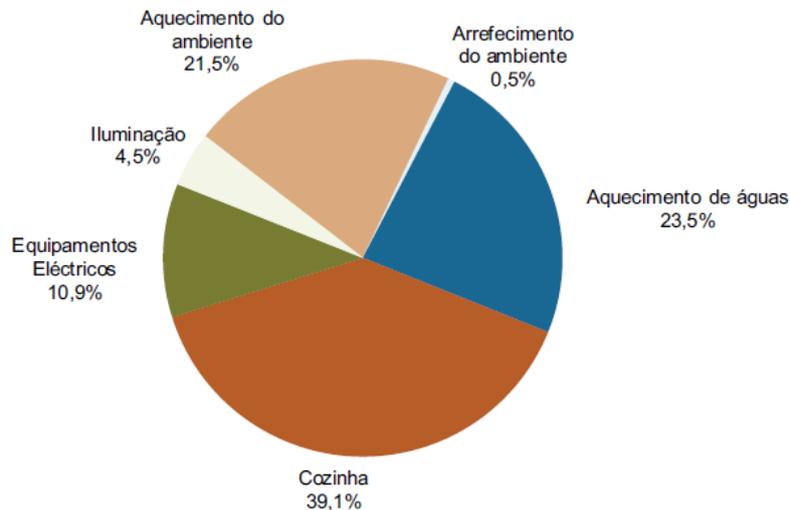


Figura 3: Distribuição do consumo de energia no sector doméstico por tipo de utilização - Portugal, 2010 (I.P./DGEG, 2011)

Com esta realidade surge a Diretiva 2002/91/CE e da sua reformulação a Diretiva 2010/31/EU com o objetivo dos Estados-membros disporem medidas capazes de melhorar a eficiência energética e o conforto térmico dos edifícios. Com a publicação em 20 de Agosto de 2013 do Decreto-Lei 118/2013, foi assegurada a transposição da Diretiva 2010/31/EU, assim como a revisão da legislação nacional, nomeadamente dos Decretos-Lei números 78/2009, 79/2009 e 80/2009, relacionados com o desempenho energético dos edifícios. Nesta nova diretiva surge a importância da promoção dos edifícios com balanço energético nulo, estabelecendo metas até 2020 de que todos os novos edifícios apresentem um desempenho energético eficiente, de tal modo que as poucas necessidades energéticas do edifício sejam satisfeitas por energias renováveis.

2.3 Energias Renováveis

As primeiras sociedades já usufruíam de fontes de energia renováveis para sobreviver, como por exemplo a energia solar, a biomassa, a água e o vento. Contudo, em meados do século XVIII, iniciou-se em Inglaterra a Revolução Industrial, surgindo o primeiro combustível fóssil, o carvão. Esta descoberta proporcionou uma evolução do nível industrial que levou à maior procura e exploração de combustíveis fósseis, caminhando para o esquecimento das energias limpas. Posteriormente ao carvão surge o petróleo e mais tarde o gás natural. A ideia de que os combustíveis fósseis seriam uma fonte de energia alternativa, abundante e barata, tornou-se cativante entre as sociedades, que apenas queriam satisfazer as suas necessidades energéticas o mais economicamente possível. Esta filosofia está refletida hoje em dia na sociedade onde três quartos das necessidades energéticas do mundo são satisfeitos através dos combustíveis fósseis (Castro, 2011).

No entanto, durante a década de 1970 surge a primeira crise petrolífera e a humanidade descobre que este recurso não é renovável. Este é o ponto de viragem para a sociedade que percebe que a energia de origem fóssil deixou de ser barata. Com o aumento do preço do petróleo aumentam as preocupações com o meio ambiente.

Atualmente, a preocupação acerca da sustentabilidade dos combustíveis fósseis encontra-se no auge do pensamento da humanidade, levando ao reaparecimento do interesse pelas fontes de energias renováveis. A notável preocupação de Portugal é visível nas Figura 4 e Figura 5 que comparam a produção de eletricidade por fontes. Destaca-se a evolução da utilização de fontes de energias renováveis em comparação com as fontes de energias fósseis em apenas um ano.

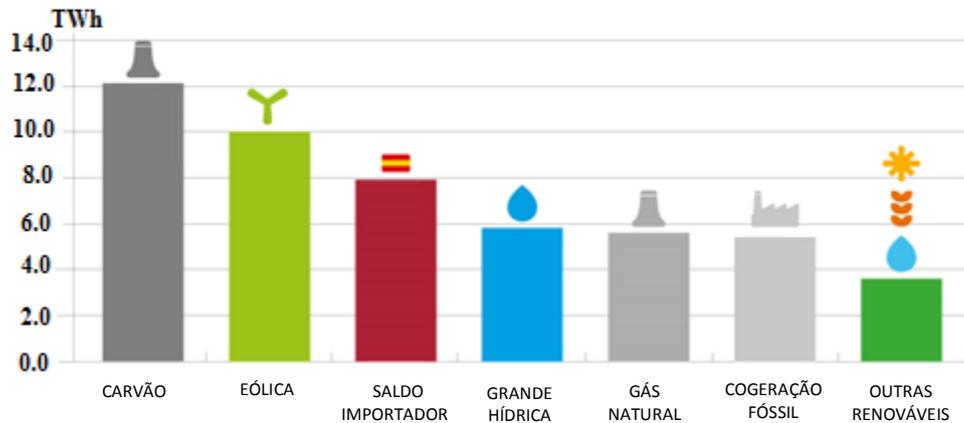


Figura 4: Produção de eletricidade por fontes em Portugal, 2012 (APREN, 2014)

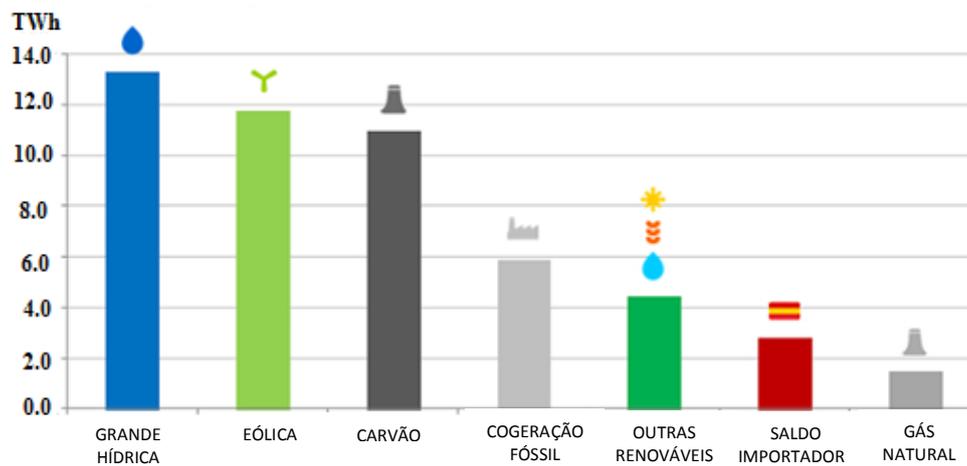


Figura 5: Produção de eletricidade por fontes em Portugal, 2013 (APREN, 2014)

A Figura 6 apresenta o peso das fontes de energia em Portugal destacando o elevado peso que as energias renováveis apresentam para o país, aproximando-se cada vez mais das metas que se comprometeu a cumprir.

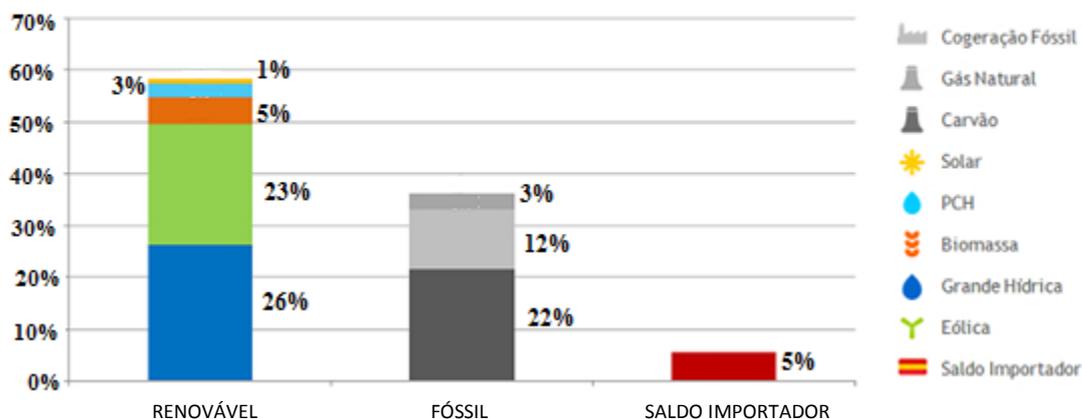


Figura 6: Peso das fontes de energia em Portugal, 2013 (APREN, 2014)

A Associação de Energias Renováveis (APREN) apelidou o ano de 2013 como “o ano mais renovável deste século”, devido aos elevados índices de produção renovável verificados nesse ano. Num recente comunicado de imprensa da APREN a 10 de Fevereiro de 2014 e de acordo com dados publicados pelas Redes Energéticas Nacionais (REN), Portugal voltou a privilegiar o uso de fontes de energias renováveis no primeiro mês de 2014 (APREN, 2014). Nesse comunicado pode ser lido que a produção de energia elétrica proveniente de fontes de energia renováveis contabilizava no final de Janeiro de 2014, 91% do consumo final em Portugal Continental.

A nível Europeu apresenta-se na Figura 7 um estudo realizado em 2011 sobre a utilização de fontes renováveis para a produção de energia elétrica nos 27 Estados-Membros da União Europeia. Nesse gráfico destaca-se a Alemanha como o maior produtor de energia através de fontes renováveis. Portugal aparece entre os países da Europa com menor produção de eletricidade com recurso a fontes de energias renováveis, salientando-se o facto do uso de energia solar ser praticamente nulo.

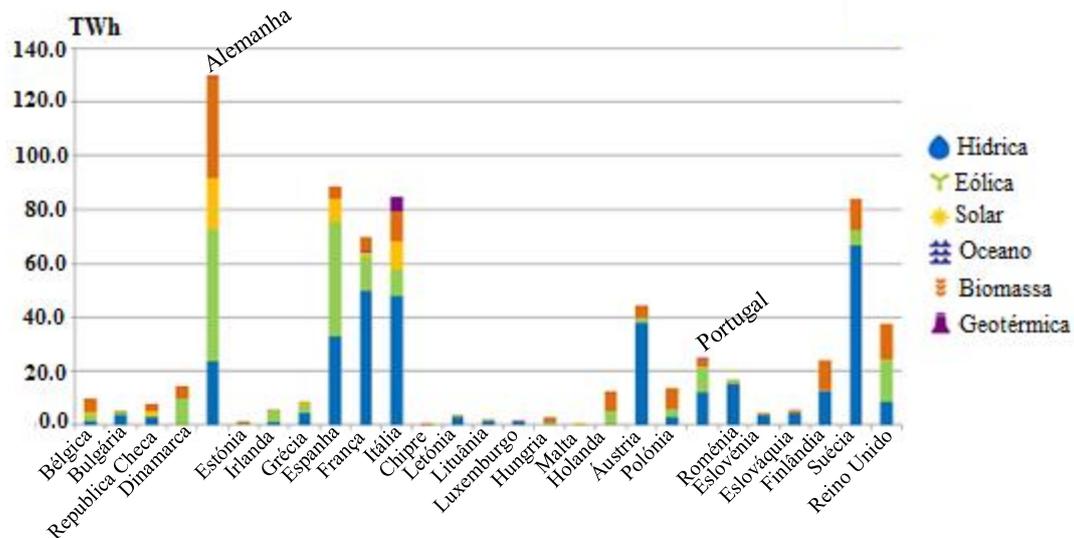


Figura 7: Utilização de energias renováveis nos 27 Estados-Membros da UE em 2011 (APREN, 2014)

2.4 Energia solar em edifícios

A energia solar é uma fonte indispensável para a sobrevivência da humanidade, tratando-se de um recurso praticamente inesgotável e constante (DGEG, 2007).

A radiação solar pode ser aproveitada para o aquecimento dos edifícios sob a forma de sistemas passivos e ativos. O primeiro aproveitamento é conseguido através da arquitetura do edifício e dos materiais de construção, que permitem uma boa qualidade térmica do edifício, proporcionando menores gastos energéticos e ao mesmo tempo diminuindo os potenciais impactos ambientais. O princípio que está na base do solar térmico passivo, consiste na acumulação da radiação solar durante o dia através da inércia térmica¹ do edifício, levando ao seu aquecimento. O arrefecimento é obtido durante a noite, quando o ar exterior está a uma temperatura inferior ao interior, através da perda de energia por radiação noturna e pela ventilação natural (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

Para obter temperaturas superiores às temperaturas de conforto térmico através da radiação solar são aplicados sistemas solar térmicos ativos. As centrais solares e os sistemas de aquecimento de águas sanitárias e ambiente interior de edifícios são exemplos dessa aplicação (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

¹ Capacidade de armazenamento e distribuição de calor

O sistema solar térmico de uma maneira geral apresenta um funcionamento simples. A radiação solar que incide no coletor é absorvida e transferida sobre a forma de energia térmica para o fluido que nele circula. Posteriormente um permutador de calor transmite o calor armazenado no fluido para a água de consumo a ser utilizada no Edifício (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010). Uma análise mais detalhada poderá ser vista no Capítulo 3.

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação- REH (correspondente ao antigo RCCTE), os edifícios novos, assim como grandes reabilitações que utilizem águas quentes sanitárias (AQS), devem instalar obrigatoriamente painéis solares para o aquecimento das mesmas. Ou seja, impõe-se esta solução quer seja económica ou não. No entanto, esta medida traz vantagens a nível nacional na concretização do programa “Água Quente Solar para Portugal” que tem como objetivo aumentar a área de coletores solares implantados em Portugal. Infelizmente este programa encontra-se em dificuldades para alcançar a meta desejada. Segundo a ADENE – Agência para a Energia, Portugal é um dos países da Europa com maior insolação (Figura 8), apresentando um elevado potencial, quer para a produção de calor como para a produção de eletricidade.

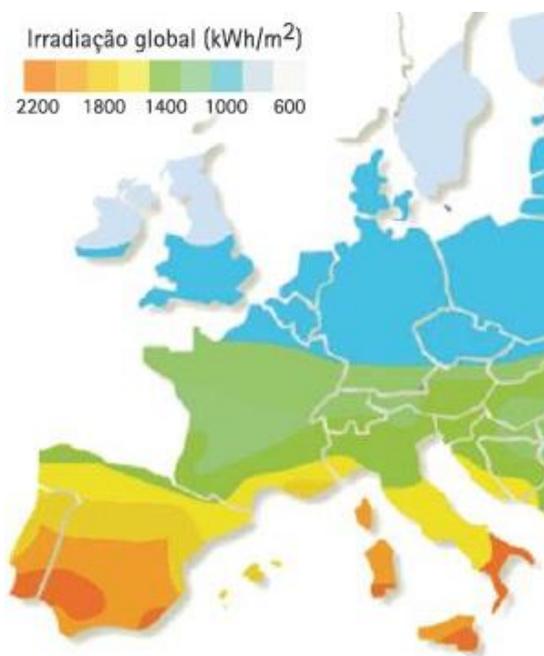


Figura 8: Mapas da radiação solar na Europa (IP-AQSpP, 2004)

Num estudo recente realizado pela *European Solar Thermal Industry Federation* (ESTIF, 2014), Portugal faz parte do grupo de países com menos área (m^2) de coletores térmicos, vindo a sofrer uma queda acentuada desde 2011 no mercado dos coletores recém-instalados (Gráfico 1). No Gráfico 2 são comparados os principais mercados do solar térmico (m^2 per 1000 capita), destacando-se a Áustria, a Grécia e a Alemanha como os líderes desse mercado. Contudo também esses países sofreram em 2013 uma retração no mercado dos coletores (Gráfico 2).

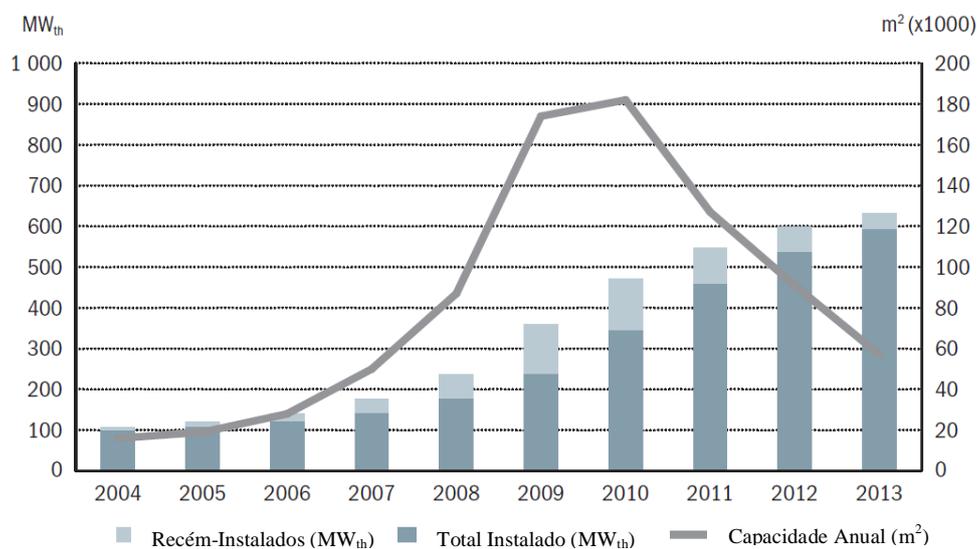


Gráfico 1: Mercado de coletores solares térmicos recém-instalados em Portugal (ESTIF, 2014)

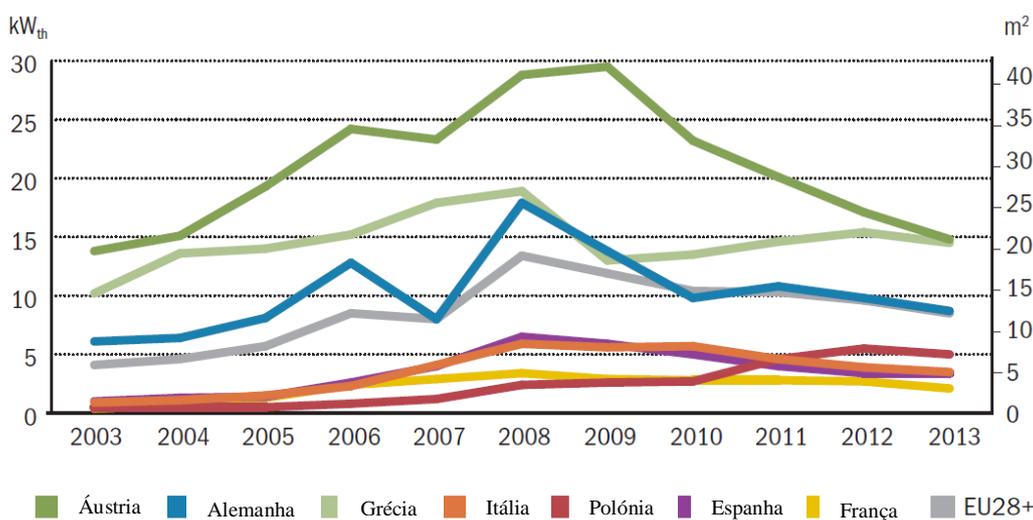


Gráfico 2: Desenvolvimento dos principais mercados - Capacidade de coletores recém-instalados (per 1000 Capita) (ESTIF, 2014)

Segundo as estatísticas da ESTIF, em 2013 o mercado português foi de cerca de 40 MW_{th} ($57\ 234\ m^2$), o que representou uma evolução anual de -37%. Neste contexto, pode-se concluir que é fulcral promover a utilização de sistemas solares térmicos em Portugal.

Capítulo 3 – Sistema Solar Térmico

3.1 Noções de Radiação e Geometria Solar

3.1.1 Movimento Terra – Sol

O planeta Terra é caracterizado pelo seu movimento de rotação e de translação em torno do Sol. A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol a qual se denomina de plano elíptico (Figura 9). O eixo sobre o qual a Terra gira sobre si própria denomina-se de eixo polar e encontra-se inclinado em relação ao plano da órbita em cerca de $23,45^\circ$. Esta declinação solar é responsável pelas estações do ano. Nos equinócios de primavera (21 de Março) e de Outono (21 de Setembro) os dias são iguais às noites, porque a declinação solar é nula. No solstício do verão (21 de Junho) a declinação solar é de $23,45^\circ$ e o período diurno é maior que o período noturno. Por outro lado, no solstício do Inverno (21 de Dezembro) a declinação solar é de $-23,45^\circ$ e o período diurno é menor que o noturno.

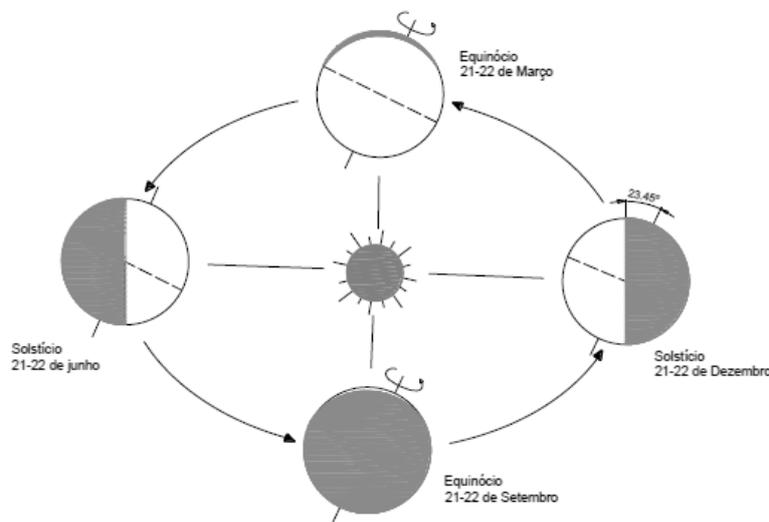


Figura 9: Plano Elíptico (Falcão, 2007)

3.1.2 Fundamentos de geometria solar

A intensidade de radiação solar no espaço, por unidade de tempo e por unidade de área, apresenta um fluxo de energia de aproximadamente 1400W/m^2 variando ao longo do ano pelo facto de a Terra girar em torno do Sol numa trajetória elíptica.

A intensidade de radiação num plano terrestre depende do ângulo solar, da massa atmosférica que a radiação tem de passar, da altitude do lugar e da concentração de vapor, nuvens e aerossóis na atmosfera (Figura 10).

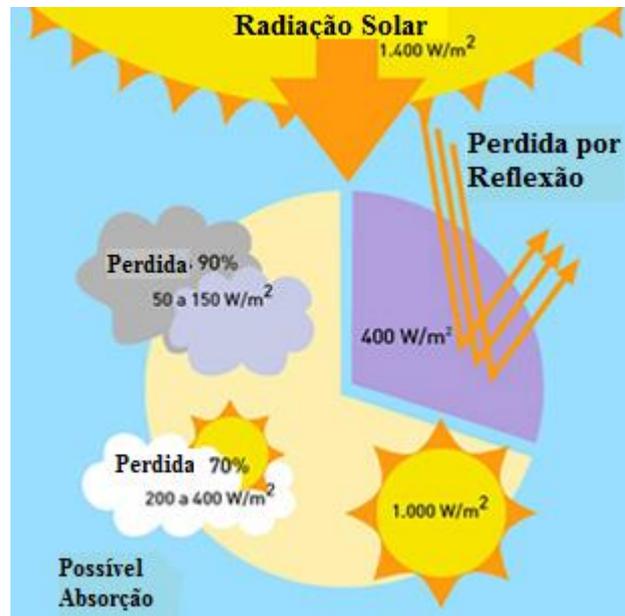


Figura 10: Radiação Solar (Empresa Eficiente, 2014)

A quantidade de energia solar recebida por uma superfície terrestre, num local e data pré-definidos, é condicionada pela direção dos raios solares. Se se considerar um dia de céu limpo, ao meio dia, com uma radiação de 1000 W/m^2 e se a altura solar for de 90° (na vertical) obtém-se uma radiação de 1000 W por 1 m^2 de solo, ou seja, a área sobre a qual a energia se distribui é mínima e a insolação é máxima (Figura 11). Caso a altura solar seja menor (ângulo θ da figura) a mesma radiação distribuir-se-á por uma área maior de solo, proporcionando uma menor insolação (Figura 11).

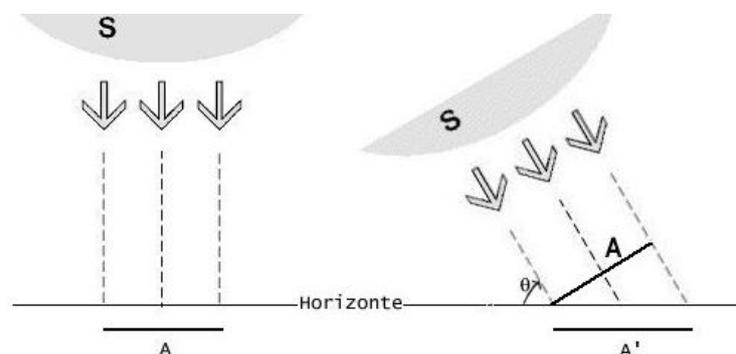


Figura 11: Incidência Solar (Filho & Saraiva, 2003)

A Figura 12 esquematiza a variação da altura solar ao longo do dia em função das estações do ano. No Verão a altura solar será quase perpendicular ao horizonte ao passo que no inverno a inclinação dos raios será maior e por conseguinte obtém-se uma menor altura solar.

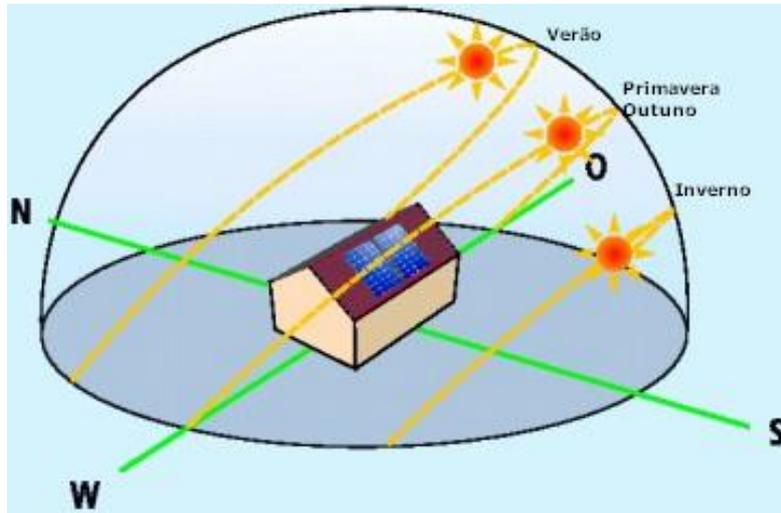


Figura 12: Altura Solar (Electrónica, 2014)

O ângulo ideal para um coletor solar seria igual ao ângulo da altura solar ao longo do dia, o que na prática se traduziria no movimento constante dos painéis solares. Visto que a maioria dos painéis não se movem é necessário encontrar um ponto de equilíbrio em função do local, do seu clima e da utilidade do sistema solar. Em suma a Tabela 1 apresenta as inclinações ideais para cada caso de utilização.

Tabela 1: Inclinação de coletores solares (IP-AQSpP, 2004)

Utilização	Inclinação
Verão (casa de férias, hotéis de praia,...)	Latitude -15°
Inverno (aquecimento ambiental, ...)	Latitude $+15^{\circ}$
Anual (Águas quentes sanitárias,...)	Latitude -5°

Os coletores solares devem estar orientados de forma a aproveitar a máxima radiação incidente. Estes devem estar orientados a Sul geográfico não coincidente com o Sul magnético definido pela bússola, sendo que desvios até 20° relativo à orientação Sul não afetam gravemente o rendimento e a energia térmica fornecida pelo equipamento solar (Lebeña & Costa, 2007).

3.1.3 Obstrução Solar

Para a determinação das coordenadas solares (azimute e altura Solar) recorre-se ao uso de cartas solares. Estas representam o percurso do sol na abóbada celeste nas diferentes horas do dia e períodos do ano. Na Figura 13 apresenta-se um exemplo de uma carta solar. As linhas curvas horizontais representam os meses e as verticais as horas do dia. A carta solar, além de variar em função da data e da hora também varia com a latitude do lugar.

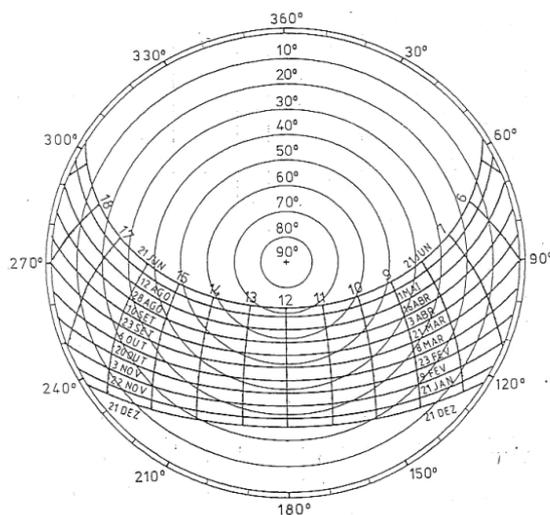


Figura 13: Carta Solar para a latitude da cidade do Porto, Portugal (Falcão, 2007)

A carta solar é uma ferramenta muito útil para conhecer as sombras projetadas pelos obstáculos a qualquer hora do dia.

A colocação de painéis solares nem sempre se encontra isenta de sombra, assim sendo, é conveniente conhecer as sombras causadas por elementos presentes nas imediações dos coletores. A determinação da sombra projetada sobre os painéis solares devido a obstáculos próximos efetua-se observando ao redor desde o ponto médio da aresta inferior do coletor, tomando como referência a linha Norte – Sul (Lebeña & Costa, 2007). Este critério também é aplicável à separação entre linhas de coletores (Figura 14) para que a sombra da aresta superior do coletor da frente se projete no máximo até à aresta inferior do coletor de trás.

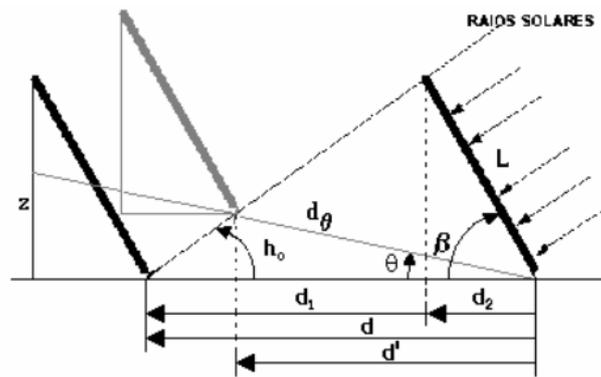


Figura 14: Sombreamento em coletores solares (Lebeña & Costa, 2007)

A distância mínima entre o obstáculo e o coletor deve de ser calculada para as 12:00h do dia mais desfavorável do ano (21 de Dezembro no hemisfério Norte), sendo a altura do sol para esse dia às 12:00h calculada pela expressão 1 (Lebeña & Costa, 2007):

$$h_0 = (90^\circ - \text{Latitude do lugar}) - 23,5^\circ \quad (1)$$

Na Figura 14 está representada a distância mínima entre fileiras de coletores de forma a não provocar sombreamento. Essa distância calcula-se com o auxílio da expressão 2:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{z}{\tan h_0} + \frac{z}{\tan \beta} = L \times \left(\frac{\sin \beta}{\tan h_0 + \cos \beta} \right) \quad (2)$$

Em Dezembro e na primeira metade de Janeiro esta distância poderá não chegar, apesar de não ser um fator crítico, é recomendável um aumento de 25% da distância calculada pela fórmula (3.2), no caso de não existir problemas de espaço (Lebeña & Costa, 2007).

Se as fileiras de coletores estiverem colocadas sobre uma superfície inclinada (ângulo θ), como por exemplo um telhado, então a distância entre coletores (d_θ) calcula-se através da expressão 3 e 4:

$$d_\theta = \frac{d'}{\cos \theta} \quad (3)$$

$$d' = L \times \left(\frac{\sin(\beta - \theta)}{\tan(h_0 + \theta) + \cos(\beta - \theta)} \right) \quad (4)$$

3.2 Tipo de Coletores Solares

Uma condição importante para se projetar e instalar sistemas solares térmicos consiste em conhecer as diferentes concepções possíveis e os diferentes equipamentos e acessórios que constituem esses sistemas, de forma usufruir do máximo desempenho de um sistema solar térmico. Com base nesta reflexão, torna-se indispensável uma análise aos tipos de painéis solares térmicos existentes.

O objetivo geral de todos os coletores solares consiste em absorver o máximo da energia radiante incidente e posteriormente fornecer essa energia ao fluido que se pretende aquecer. Assim interessa minimizar as perdas de energia para o exterior por condução, convecção e radiação. Na tentativa de alcançar a máxima captação de energia e minimizar as perdas, os coletores possuem um absorsor, encarregue de absorver a radiação solar e de a transferir ao fluido circulante, uma cobertura e uma caixa termicamente isolada para reduzir as perdas de calor para o exterior (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010). Apresenta-se de seguida uma análise aos três principais tipos de coletores solares.

3.2.1 Coletores simples

Os coletores simples são os mais fáceis de instalar. São constituídos apenas pelo absorsor e por tubos flexíveis ligados em paralelo (Figura 15). Estes coletores simples apresentam uma elevada eficiência ótica², mas também um coeficiente de perdas elevado. No entanto, se o objetivo for alcançar temperaturas baixas, isto é, próximas da temperatura ambiente como por exemplo para aquecimento de piscinas, estes coletores são a solução ideal (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

² Situação em que o fluido do painel se encontra à temperatura ambiente, não ocorrendo perdas por condução-convecção

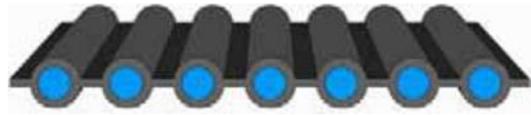


Figura 15: Coletor simples (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010)

3.2.2 Coletores planos

Os coletores mais utilizados são os coletores solares planos (Figura 16), que podem ser de baixa ou de alta temperatura em função do tipo de absorvedor usado, do tipo de revestimento da superfície absorvedora, do tipo de vidro da cobertura, do nível de isolamento térmico e do percurso do fluido no painel. Os coletores de baixa temperatura são utilizados quando se pretende utilizar água com temperaturas próximas dos 60°C, como é o caso das habitações.

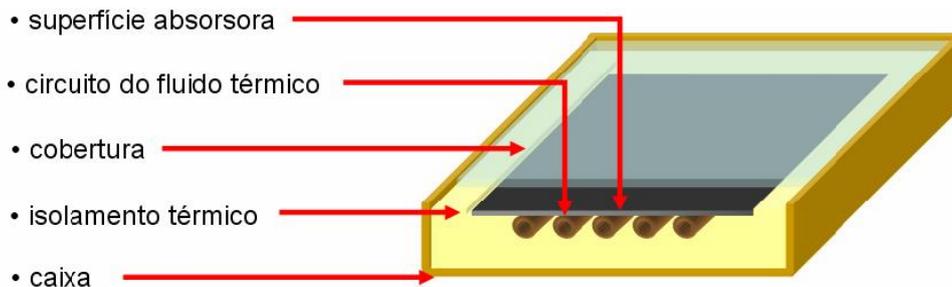


Figura 16: Secção transversal de um coletor plano (colectores solares térmicos, 2014)

3.2.3 Coletores de tubos de vácuo

Os coletores de tubos de vácuo (Figura 17) são painéis planos constituídos por tubos concêntricos por onde circula o fluido térmico. Estes apresentam cor escura no interior para absorver a radiação solar e o exterior em vidro para serem transparentes à radiação solar, ao mesmo tempo que são opacos à sua radiação. Podem ser utilizados no aquecimento das águas sanitárias e no aquecimento do gerador dos sistemas frigoríficos de absorção, podendo atingir temperaturas próximas dos 100°C. Os coletores utilizam fenómenos de mudança de fase para transferir calor, isto é, na extremidade que recebe a radiação solar o líquido contido no tubo sofre evaporação, o vapor descola-se por difusão para a outra extremidade que ao condensar liberta calor e aquece o fluido térmico que circula no painel. A vantagem destes coletores em relação aos outros é o facto de poderem ser sujeitos a temperaturas muito baixas próximas dos -3°C, sem que

ocorra a formação de gelo nos tubos (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

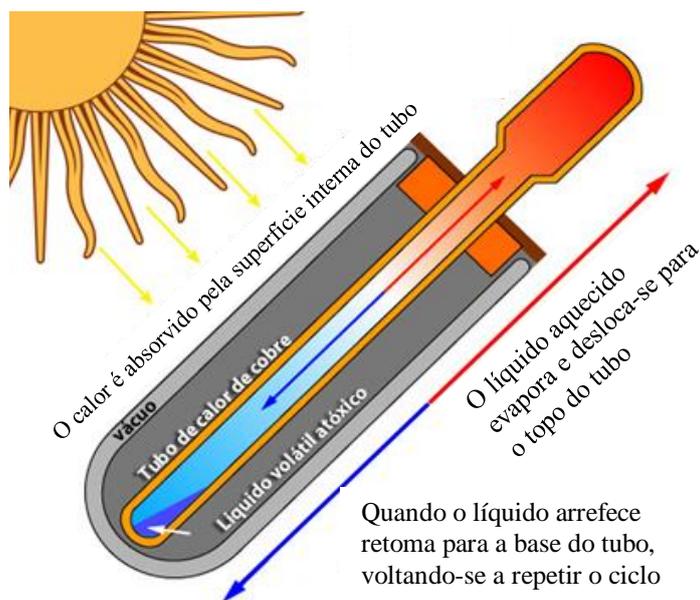


Figura 17: Tubos de vácuo (Marla Energias, 2014)

O Quadro 1 apresenta um resumo de algumas vantagens e desvantagens dos coletores solares referidos:

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos coletores solares

Coletores Simples	
Vantagem	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Mais económico • Facilidade de instalação • Aplicação para piscinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdas elevadas • Pouco versátil • Não aplicável a altas temperaturas
Coletores planos	
Vantagem	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Satisfaz as necessidades habitacionais • Mais económico que os tubos de vácuo 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlo mais exigente
Coletores de tubo de vácuo	
Vantagem	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada capacidade de AQS • Pode ser sujeito a baixas temperaturas exteriores 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlo mais exigente • Preço

A escolha do coletor deve ser feita em função das necessidades e da utilidade pretendida de maneira a obter a solução mais eficiente. Muitas dessas necessidades dizem respeito à temperatura pretendida, ao investimento e ao aspeto estético (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010). Embora estes sejam os principais critérios de escolha é fundamental não negligenciar os obstáculos presentes na implantação destes coletores, como por exemplo a falta de espaço, pouca insolação ou a presença de obstáculos de sombreamento em torno da casa. Todos estes fatores devem ser tidos em consideração de forma a ser feita a melhor escolha.

3.2.4 Concentradores solares

Os concentradores solares são normalmente utilizados em centrais solares térmicas e não são utilizados para sistemas de aquecimento de edifícios devido à elevada temperatura que podem atingir (cerca de 300°C) (Roriz et al.,2010).

3.2.5 Coletores Parabólicos Compostos (CPC)

Os coletores CPC apresentam uma superfície de espelhos côncavos permitindo o aproveitamento de raios oblíquos da primavera e outono ou de horas iniciais e finais do dia. A concentração da radiação solar permite ter um absorvedor com menor área, assim reduzem-se as perdas térmicas, tendo em conta que estas são proporcionais à área do absorvedor em contraposição com a área de abertura (Energia Solar térmica, 2004).

3.3 Modo de ligação entre coletores solares

Durante o dimensionamento de um sistema solar térmico pode ser necessário o uso de um ou mais painéis solares. A ligação entre os coletores deverá ser concebida de forma a proporcionar um equilíbrio hidráulico natural e a potenciar o rendimento do coletor (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010). Existem três configurações possíveis de ligações entre os painéis, são estas: a ligação em paralelo, a ligação em série e a ligação em paralelo de canais.

3.3.1 Ligação em Paralelo

Na ligação em paralelo (Figura 18) os painéis encontram-se posicionados entre dois tubos principais, sendo um encarregue da distribuição do fluido e outro encarregue pela

recolha desse mesmo fluido. Neste tipo de ligação os painéis trabalham de forma independente tendo todos o mesmo rendimento e variação de temperatura. A perda de carga total do sistema é igual à perda de carga de um painel mais a perda de carga nos tubos de ligação ao painel mais afastado da origem (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010). O Quadro 2 apresenta as vantagens e desvantagens deste sistema.

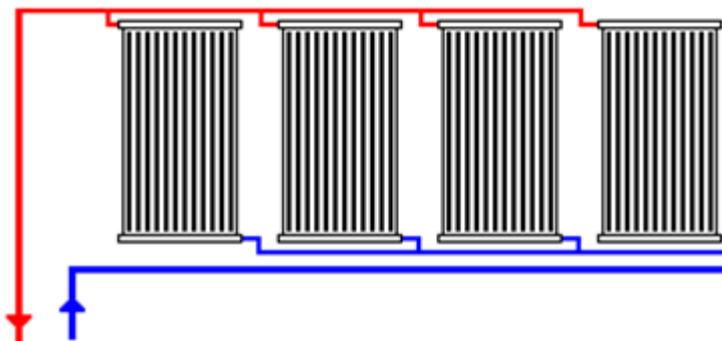


Figura 18: Ligação em paralelo (AQSpP, 2014)

Quadro 2: Vantagens e desvantagens da ligação em paralelo

Ligação em Paralelo	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptação a qualquer coletor • Perda de carga baixa • Bom rendimento térmico • Ligação com número ilimitado de coletores 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior comprimento de tubagens • Instalação complexa • Custos de instalação mais elevados • Maior número de acessórios

3.3.2 Ligação em série

Na ligação em série (Figura 19) o fluido percorre todos os coletores, o que implica que o primeiro painel apresentará melhor rendimento que o ultimo painel da série. Nesta ligação a perda de carga total é igual à perda de carga de cada painel mais a perda de carga nos tubos de ligação (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010). O Quadro 3 apresenta as vantagens e desvantagens deste sistema.

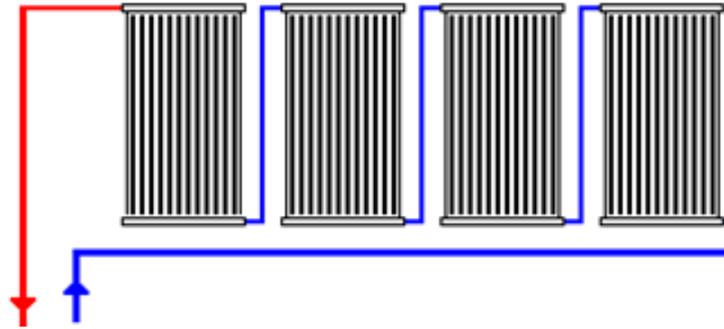


Figura 19: Ligação em série (AQSpP, 2014)

Quadro 3: Vantagens e desvantagens da ligação em série

Ligação em Série	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptação a qualquer coletor • Instalação Simples • Baixo custo de instalação e operação • Menor comprimento de tubagens 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo rendimento • Custos elevados com a energia de apoio • Ligação com número limitado de coletores

3.3.3 Ligação em paralelo de canais

A ligação em paralelo de canais (Figura 20) assemelha-se à ligação em paralelo, contudo neste caso existe uma menor perda de carga e um rendimento mais elevado (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010). As vantagens e desvantagens deste sistema encontram-se resumidas no Quadro 4.

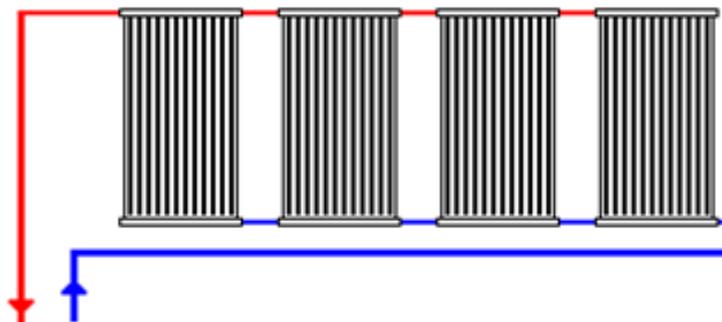


Figura 20: Ligação em paralelo de canais (AQSpP, 2014)

Quadro 4: Vantagens e desvantagens da ligação em paralelo de canais

Ligação em Paralelo de canais	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Perda de carga reduzida• Bom rendimento térmico• Instalação Simples• Menor comprimento de tubagens	<ul style="list-style-type: none">• Não é adaptável a todos os painéis• Ligação com número limitado de coletores (máximo de 4 painéis)

3.4 Sistemas Solares Térmicos

Um fator importante para a escolha do sistema solar térmico consiste no tipo de aquecimento pretendido. Nos edifícios de habitação os sistemas solares térmicos podem servir para aquecimento das águas sanitárias, havendo casos de serem utilizados para aquecimento ambiente. Segundo Roriz, et al. (2010) “É importante ter sempre presente que não existe “o sistema ideal” mas sim diferentes sistemas que se adaptam de forma distinta a diferentes situações.”

Os sistemas solares térmicos podem ser classificados em função da sua finalidade, do movimento do fluido e dos circuitos existentes. O Figura 21 apresenta as diversas ramificações dessas classificações.

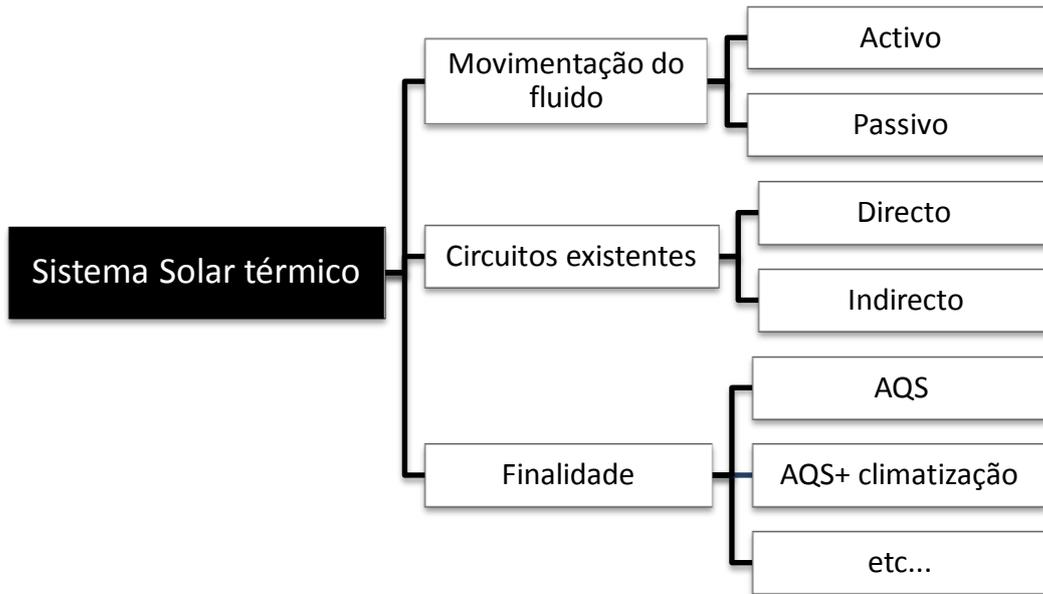


Figura 21: Classificação dos sistemas solares térmicos

Após esta pequena análise e de forma a serem abordadas as diversas classificações propostas, serão de seguida expostos alguns sistemas utilizados para o aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) com o intuito de perceber o seu funcionamento e utilidade.

3.4.1 Sistema de circulação natural (Sistema de termossifão)

A Figura 22 ilustra um sistema passivo (sistema termossifão) constituído por um depósito de acumulação acoplado no painel solar. Essencialmente, o funcionamento deste sistema passivo pode ser explicado se for considerado que o sistema se encontra sem consumos. Nesse caso, a radiação que incide no painel será absorvida por este e transmitida à água no seu interior. Posteriormente, quando a água do interior do painel atingir temperaturas elevadas tenderá a subir no interior do sistema e a água mais fria tenderá a descer, pois é mais densa que a água quente, criando-se um circuito de convecção natural, sem o auxílio de bombagem (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010). Contudo, durante a noite a circulação da água no circuito poderia inverter-se. A solução usual passa por colocar um desnível de pelo menos 300 mm entre o topo do painel e o depósito de acumulação, como se pode observar na Figura 23. Outra medida importante é a distância em perfil transversal entre o reservatório térmico e o coletor solar (H_{dc}) que deve ser menor que dez vezes a distância H_{cd} (Komeco, 2008).



Figura 22: Sistema de circulação natural (termossifão) (ESTIF, 2014)

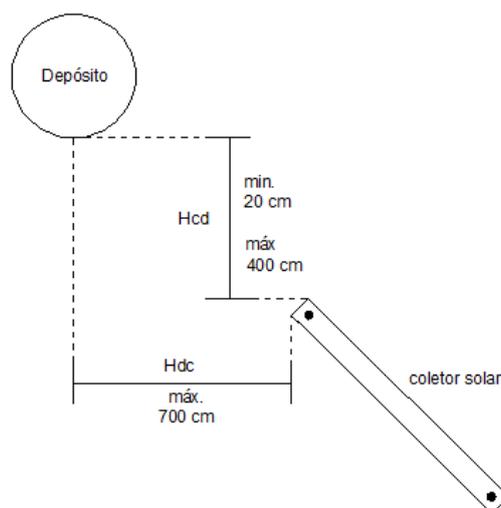


Figura 23: Medidas de referência para a instalação de termossifões (Komeco, 2008)

Em função dos circuitos existentes, os sistemas solares térmicos podem ainda tomar a classificação de diretos ou indiretos (Figura 24). Essencialmente nos sistemas diretos, o fluido que circula nos painéis solares é a própria água potável do edifício, logo aparece um único circuito. Pelo contrário, nos sistemas indiretos o circuito do painel solar e o circuito das águas sanitárias do edifício são distintos (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

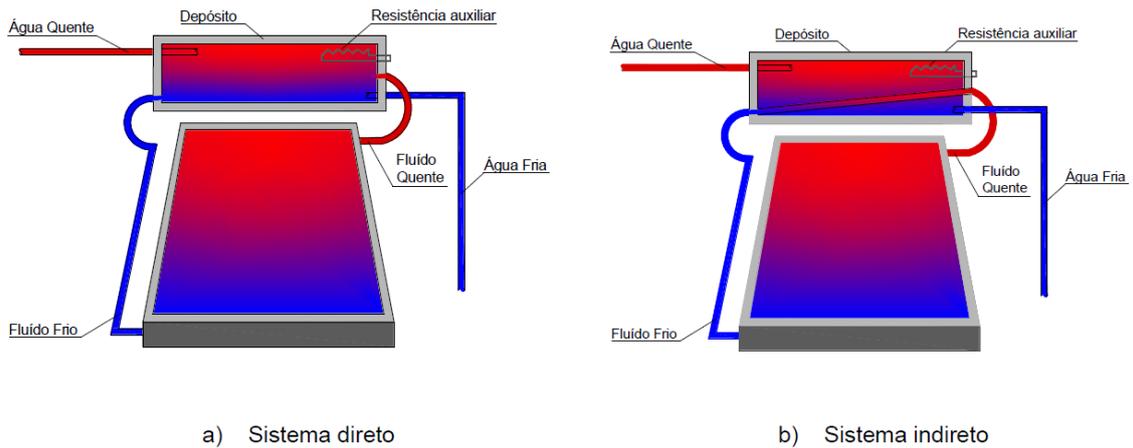


Figura 24: Sistema termosifão (Ribeiro V. , 2014)

3.4.2 Sistemas de circulação forçada

Os sistemas de circulação forçada (Figura 25) são do tipo ativos, ou seja, a circulação é feita através de bombagem. Neste caso, a bomba pode ser ligada à rede elétrica, possuindo um relógio que controla o seu funcionamento em função da temperatura pretendida. Assim a bomba é acionada quando existe uma diferença maior que 5°C entre o topo do coletor e o fundo do depósito. A mesma desliga-se quando a diferença de temperaturas é inferior a 2°C (Komeco, 2008).



Figura 25: Sistema de circulação forçada (ESTIF, 2014)

Normalmente este sistema é utilizado quando não é possível a instalação de um sistema de termosifão devido a problemas de atrito ou perdas de carga nas tubagens pelo facto

do painéis solares estarem instalados ao mesmo nível ou acima do depósito térmico.

No Quadro 5 resumem-se algumas vantagens e desvantagens destes dois sistemas.

Quadro 5: Vantagens e Desvantagens da circulação natural e da circulação forçada

Sistema de Termossifão	
Vantagem	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Mais barato• Facilidade de instalação• Fácil controlo	<ul style="list-style-type: none">• Inestético• Baixo volume de AQS• Menor rendimento
Sistema de circulação forçada	
Vantagem	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Elevada capacidade de AQS• Mais eficiente• Melhor integração no edifício• Configurável	<ul style="list-style-type: none">• Controlo mais exigente• Preço• Projeto mais exigente

3.5 Acessórios e Depósitos de acumulação

3.5.1 Depósitos de acumulação

A radiação solar capturada pelos coletores solares não é uniforme e raramente coincide com as necessidades de AQS, por esta razão torna-se necessário armazenar o calor capturado para uma utilização posterior, através de depósitos de acumulação (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010). Estes depósitos podem ser em aço inoxidável ou aço revestidos de plástico. O primeiro material é mais leve e durável, contudo é mais sensível a águas com cloro. O aço com revestimento em plástico é uma solução mais barata mas mais exposta a problemas de corrosão (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010).

Os depósitos de acumulação podem possuir ou não permutador em função do tipo de sistema solar utilizado. No caso de sistemas diretos sem apoio ou sistemas com apoio instantâneo, como por exemplo um esquentador para aquecimento apenas de AQS, o depósito de acumulação não tem permutador.

Para sistemas indiretos com sistema auxiliar que mantêm a temperatura pré-definida, como por exemplo uma caldeira ou uma resistência, o depósito de acumulação terá um permutador. Nos sistemas responsáveis pelo aquecimento de AQS e pela climatização da habitação o depósito de acumulação terá dois permutadores. O circuito do painel, fica na base do depósito e o circuito do sistema de apoio, fica colocado mais próximo do topo do depósito (Figura 26).

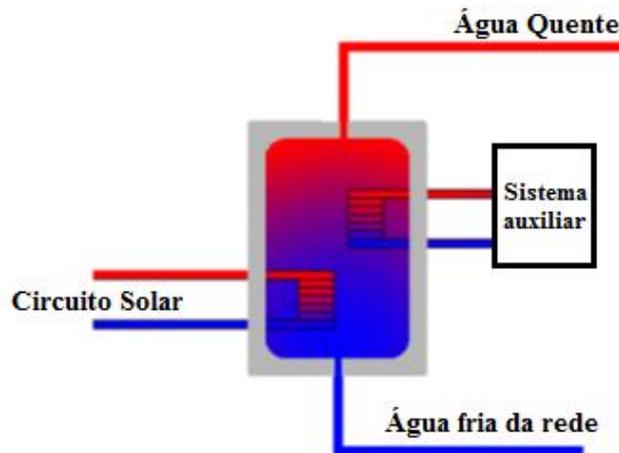


Figura 26: Depósito de acumulador com dois permutadores (Ribeiro V. , 2014)

A capacidade do depósito de acumulação a ser utilizado no sistema solar térmico deve ser 1,5 a 2 vezes a quantidade de água quente diária utilizada na habitação (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010).

3.5.2 Sistemas Auxiliares

Os sistemas solares térmicos nem sempre fornecem a energia necessária para a preparação de AQS. No caso de ausência de radiação ou nos momentos de pico de consumo é necessário que o sistema solar seja auxiliado por um equipamento de apoio que dê total prioridade à utilização de energia proveniente do sol e que funciona apenas para compensar a energia em falta.

Os sistemas auxiliares podem ser do tipo instantâneo ou produção de AQS por acumulação. Exemplos do primeiro tipo de sistema são os esquentadores e as caldeiras de água instantâneas (Figura 27). Exemplos do segundo tipo são os termoacumuladores, as caldeiras de água por acumulação e as bombas de calor (Figura 27).



Figura 27: 1º) Bomba de Calor; 2º) Esquentador; 3º) Caldeira (Vulcano, 2013)

3.5.3 Fluido Térmico

Na maioria das instalações solares o fluido (Figura 28) que circula nos tubos é constituído por uma mistura de água com um produto anticongelante, por exemplo etileno glicol. Este produto protege o fluido de uma mudança de fase nos casos em que os painéis solares estão submetidos a temperaturas muito baixas. Contudo também apresenta algumas desvantagens em relação à água tais como (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010):

- Maior viscosidade, o que leva a perdas de carga maiores;
- Coeficiente de expansão superior, o que proporciona um maior volume no vaso de expansão;
- Degradação ao longo do tempo devido às altas temperaturas.



Figura 28: Fluido térmico (Ribeiro V. , 2014)

O cumprimento dos critérios definidos na manutenção dos sistemas solares em relação à substituição do fluido é um fator importante para assegurar a eficiência do sistema solar térmico.

3.5.4 Bomba de Circulação

As bombas de circulação (Figura 29) utilizadas para movimentar o fluido térmico nos sistemas de circulação forçada são bombas do tipo centrífugo. Este tipo de bombas são normalmente constituídas pelo impulsor, motor elétrico e corpo da bomba.



Figura 29: Bomba de circulação (Wilo, 2014)

3.5.5 Válvulas

As válvulas presentes nos circuitos hidráulicos dos sistemas solares térmicos caracterizam-se pela função que desempenham. A Tabela 2 apresenta os diferentes tipos e funções de algumas dessas válvulas.

3.5.6 Vaso de expansão

O vaso de expansão (Figura 30) tem como finalidade absorver a dilatação e as contrações da água no interior do sistema hidráulico, de modo que a pressão se mantenha dentro dos parâmetros definidos. Este equipamento é constituído por um depósito em aço carbono dentro do qual está colocada uma membrana elástica. Esta membrana faz a separação entre a zona que recebe a água do circuito hidráulico e a zona preenchida com ar ou com um gás inerte (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

A instalação do vaso de expansão deverá ser feita no circuito antes dos coletores solares pois aí o fluido está mais frio o que proporciona uma maior durabilidade do vaso de expansão (Roriz, Rosendo, Lorenzo, & Calhau, 2010).

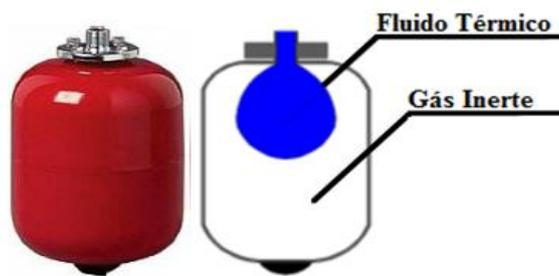


Figura 30: Vaso de expansão (EMMETI, 2014)

Tabela 2: Tipos de válvulas (Roriz, Rosendo, Lorenço, & Calhau, 2010) (Ribeiro V. , 2014)

Válvulas	
<p>Corte</p> 	<p><u>Variável controlada:</u> Caudal</p> <p><u>Função:</u> Secciona determinada secção ou componente permitindo assim a sua desativação.</p>
<p>Retenção</p> 	<p><u>Variável controlada:</u> Caudal</p> <p><u>Função:</u> Impedir que o fluxo se dê num dado sentido, permitindo no entanto que este se processe no sentido oposto.</p>
<p>Segurança</p> 	<p><u>Variável controlada:</u> Pressão e Caudal</p> <p><u>Função:</u> Destina-se a proteger equipamentos ou instalações de sobrepressões.</p>
<p>Equilibradora</p> 	<p><u>Variável controlada:</u> Caudal</p> <p><u>Função:</u> Impedir que o caudal máximo que atravessa o ramal por ela servido ultrapasse o valor de projeto.</p>
<p>Misturadora termostática</p> 	<p><u>Função:</u> Responsável pela correção da temperatura</p>

3.6 Integração de sistemas solares térmicos em edifícios

Portugal não é um país com costumes no que se refere à integração dos sistemas solares térmicos em edifícios. Normalmente os edifícios apenas disponibilizam os telhados para a colocação destes sistemas. Mas mesmo esta solução deve ser cuidada, de forma a minimizar os impactes arquitetónicos provenientes de uma má integração e de uma má gestão de espaço.

No caso de Portugal a orientação ótima para os sistemas solares corresponde ao Sul, com uma inclinação de 38°. No entanto, uma orientação compreendida entre os 45° que vão de Sul a Este ou então de Sul a Oeste, também seriam uma posição favorável para a captação de radiação solar, desde que a inclinação do coletor fosse reduzida para 25° (IP-AQSpP, 2004).

Um bom exemplo de aplicação dos sistemas solares em edifícios (Figura 31) corresponde à instalação dos sistemas respeitando a inclinação do telhado da habitação, assegurando sempre uma inclinação mínima de 8°. Quando possível, o ângulo com a horizontal será o de Latitude do local $\pm 5^\circ$ (IP-AQSpP, 2004).



Figura 31: Sistema solar térmico integrado no telhado do edifício (Energia Lateral, 2014)

Existindo impossibilidade na adoção das orientações mencionadas, devido a fatores arquitetónicos ou impactes estéticos, devem ser tomadas menores inclinações para beneficiar a captação da radiação.

A eficiência energética tornou-se um tema primordial do século XXI, levando várias empresas e associações a implementarem sistemas solares contribuindo para o programa AQSpP (Águas Quente Solar para Portugal) e para a redução das emissões de gases de

efeito de estufa. Contudo, estes sistemas teriam de apresentar uma aparência harmoniosa para os utilizadores, reduzindo ao mínimo os impactes visuais causados pela implantação dos sistemas solares. A título de exemplo apresenta-se o Edifício da sede da Caixa Geral de Depósitos em Lisboa e o Centro de Controlo Operativo da BRISA em Carcavelos como dois casos de sucesso da integração de sistemas solares térmicos em edifícios.

O edifício da sede da CGD (Figura 32) encontra-se em funcionamento desde 2008, é a maior central solar térmica instalada em Portugal e a maior da Europa com chiller de absorção (CGD, 2010). No total, o edifício tem 158 coletores solares térmicos instalados na cobertura perfazendo uma área total de 1600 m². Apesar do telhado privilegiar de orientação a sul, a CGD optou pela não implantação de coletores neste quadrante devido aos impactes visuais que daí provinham.

Em termos energéticos a central solar térmica do edifício produz energia para aquecimento e arrefecimento de água necessária ao sistema centralizado de climatização e às instalações sanitárias. A poupança de energia elétrica obtida traduz-se em aproximadamente 5% do consumo de eletricidade do edifício. O investimento neste projeto foi de cerca de 1 milhão de euros, que prevê retorno entre nove a dez anos.

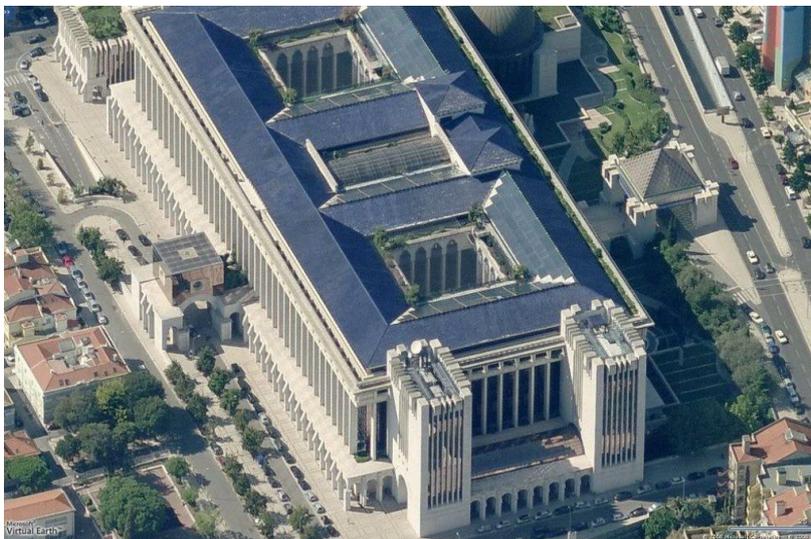


Figura 32: Sede da Caixa Geral de Depósitos em Lisboa (CGD, 2010)

O edifício do Centro de Controlo Operativo da BRISA (Figura 33) integra na sua arquitetura uma grande área de coletores solares térmicos, distribuída pelas fachadas do

edifício. A cobertura é composta por 144 coletores solares térmicos com uma área de aproximadamente 400 m², a fachada sul é constituída por 100 coletores solares com uma área aproximada de 200 m² e finalmente a fachada este e oeste constituída por 48 coletores solares com uma área aproximada de 96 m². O edifício caracteriza-se essencialmente por uma sala de operações que armazena grandes massas de ar quente (resultantes do calor libertado pelos equipamentos) junto à cobertura, que pode provocar radiação, causando o desconforto dos ocupantes, levando a que as necessidades energéticas de climatização do presente edifício sejam essencialmente de arrefecimento (Fonseca, 2007). Nestas circunstâncias foi adotado um sistema de arrefecimento por ciclo de absorção, com recurso a energia solar (Fonseca, 2007).



Figura 33: Centro de Controlo Operativo da BRISA em Carcavelos (Carrilho da Graça, 2004)

Tradicionalmente as habitações unifamiliares optam pela instalação de sistemas do tipo monobloco, isto é, sistemas de termossifão. Esta solução torna-se vantajosa pela sua fácil instalação em terraços e telhados com orientação a Sul e pela sua estrutura compacta (IP-AQSpP, 2004). Contudo problemas de incompatibilidade estética ou de instalação podem levar à adoção de outro tipo de sistema, como por exemplo os sistemas de circulação forçada.

Relativamente a edifícios multifamiliares a integração de sistemas solares térmicos pode ser feita com um destes quatro modelos: sistema totalmente centralizado, sistema solar centralizado com apoios individuais, sistema de coletores centralizados e sistema totalmente individual.

i) Sistema Totalmente Centralizado

Este sistema é constituído por coletores comuns colocados no telhado ou nas fachadas do edifício, depósito de água quente comum e sistema de apoio comum constituído normalmente por uma caldeira a gás (Figura 34).

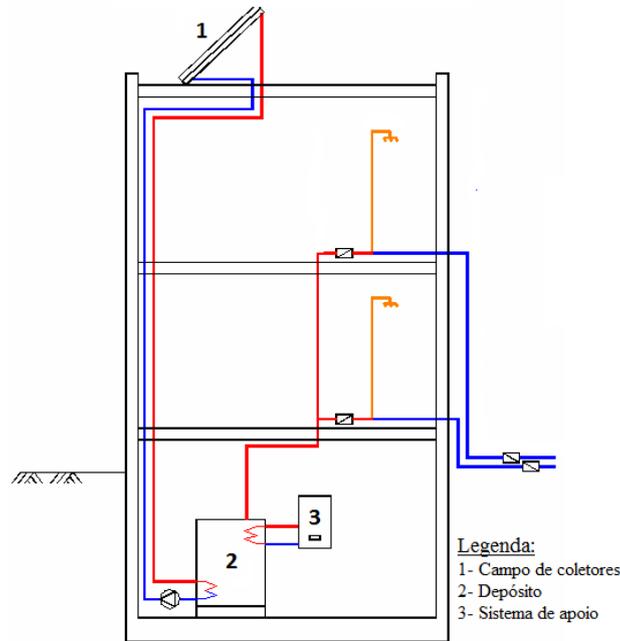


Figura 34: Sistema Totalmente Centralizado (Miranda, 2008)

ii) Sistema solar centralizado com apoios individuais

Este sistema é constituído por coletores comuns no telhado ou na fachada do edifício, depósito de água quente comum e sistema de apoio individual (esquentador, caldeira mural ou termoacumulador), para cada fração em linha com o depósito (Figura 35).

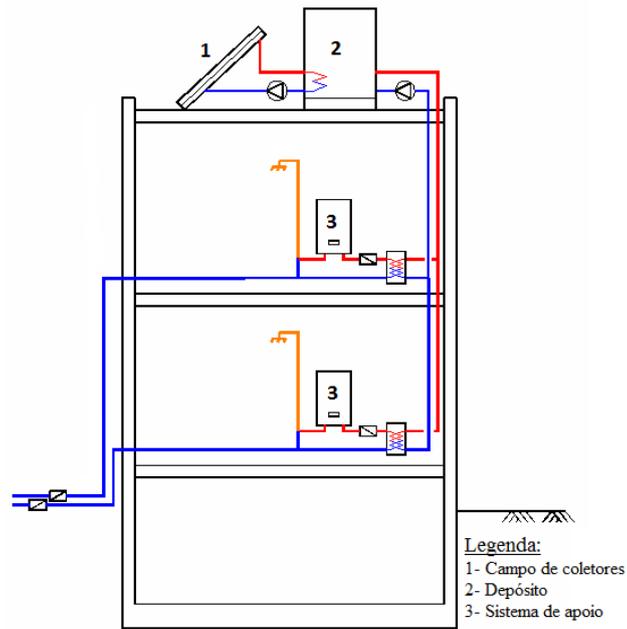


Figura 35: Sistema solar centralizado com apoios individuais (Miranda, 2008)

iii) Sistema de coletores centralizados

Este sistema é constituído por coletores comuns no telhado ou na fachada do edifício, depósitos de água quente e sistemas de apoio individuais para cada fração (Figura 36).

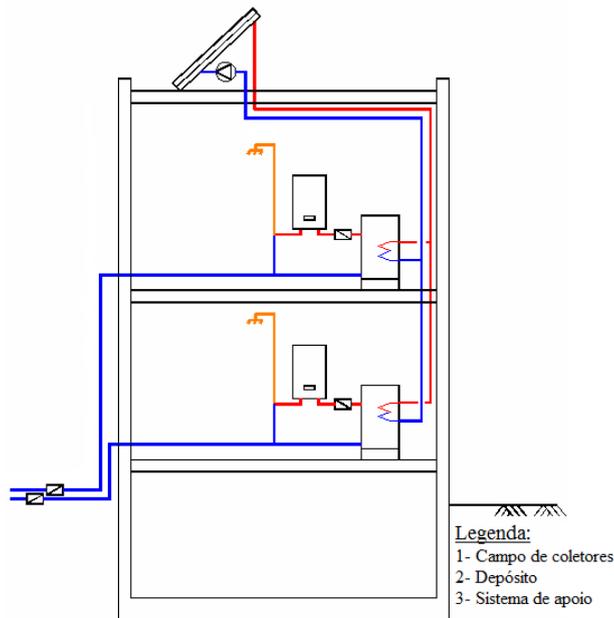


Figura 36: Sistema de coletores centralizados (Miranda, 2008)

iv) Sistema totalmente individual

Este sistema é constituído por coletores individuais no telhado ou na fachada do edifício, depósito de água quente e sistema de apoio individuais para cada fração (Figura 37). Este sistema assemelha-se ao sistema tipo monobloco dos edifícios unifamiliares.

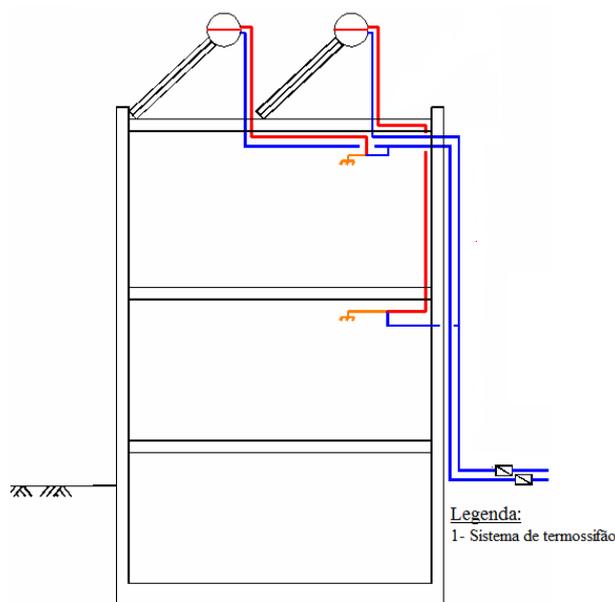


Figura 37: Sistema totalmente individual (Miranda, 2008)

3.7 Certificação de coletores e sistemas solares térmicos

A aquisição de um sistema solar térmico implica no mínimo a rentabilização do investimento inicial. Por esta razão, é necessário garantir a qualidade do sistema de modo a maximizar o tempo de vida útil do sistema, reduzir os custos de manutenção e garantir o comportamento térmico do sistema. Neste contexto, em 1985 foi desenvolvida em Portugal a Norma de ensaio NP 1802 para a determinação do rendimento destes sistemas, vindo mais tarde a ser substituída por Normas Europeias (Carvalho, 2011).

Em 1996 inicia-se a nível Europeu o desenvolvimento de normas para coletores e sistemas solares térmicos (Carvalho, 2011). Este processo considerou que os coletores e sistemas não deviam de ser apenas sujeitos a normas de ensaios mas também a normas de requisitos. Destes trabalhos nasceram as atuais normas de produto destinadas à

certificação, aprovadas entre 2000 e 2001. Na Figura 38 apresenta-se a estrutura das normas para a certificação dos produtos, dividida em duas vertentes. A primeira parte corresponde aos requisitos que o produto deve cumprir para ser certificado e a segunda parte descreve os ensaios a realizar para a verificação desses requisitos (Carvalho, 2011).

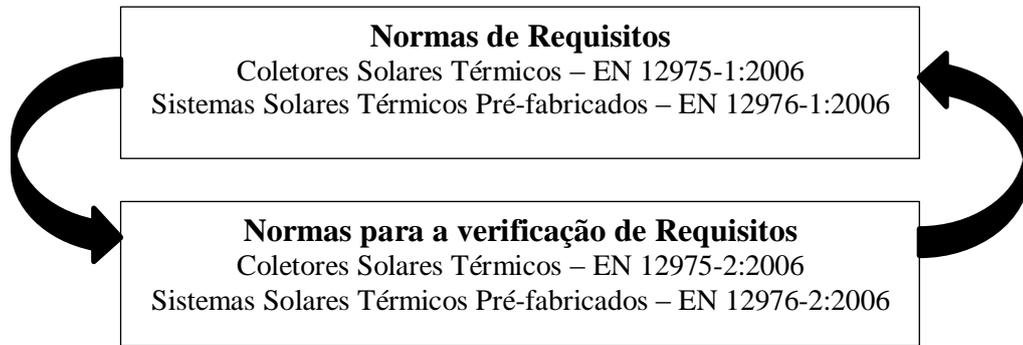


Figura 38: Estruturação Normativa para certificação de coletores e sistemas solares térmicos (Carvalho, 2011)

Apresenta-se no Anexo I uma síntese do conteúdo presente nas versões atuais das normas NP EN 12975-1:2006, NP EN 12975-2:2006, NP EN 12976-1:2006 e NP EN 12976-2:2006.

Com a aprovação das normas Europeias, iniciou-se um processo de definição de esquemas de certificação dos coletores e sistemas solares térmicos pré-fabricados. Por iniciativa da Federação Europeia da Indústria Solar Térmica (ESTIF) e pelo CEN (Comité Europeu de Normalização) em cooperação com os principais laboratórios de diferentes países Europeus, entre os quais o laboratório do INETI, foi apresentado um projeto ao Programa *Altener*, designado por *Solar Keymark*. Esta é a primeira marca de qualidade (Figura 39) para produtos solares térmicos e está amplamente disseminada no Mercado Europeu e fora dele (Solar Keymark, 2010). A *Solar Keymark* é baseada nos seguintes parâmetros:

- Ensaios iniciais de acordo com a EN 12975 ou EN 12976
- Implementação de um sistema de gestão da qualidade
- Revisão anual do sistema de gestão da qualidade e inspeção bianual ao produto.

A obtenção da *solar Keymark* clarifica a qualidade de fabrico do produto, tendo como objetivo reduzir barreiras à exportação destes equipamentos.



Figura 39: Marca de certificação Solar Keymark (Solar Keymark, 2010)

No âmbito da Iniciativa Pública Águas Quentes para Portugal (IP-AQpP) surge como objetivo criar um mercado sustentável de coletores solares com garantia de qualidade através do desenvolvimento da certificação de produtos Solares Térmicos assim como de Instaladores de Sistemas Solares Térmicos. A CERTIF, organismo de certificação de produtos acreditada pelo Sistema Português da Qualidade (SPQ), produziu um documento em que descreve o Sistema de Certificação. Este sistema de Certificação compreende duas fases (CERTIF, 2004):

- Realização de ensaios de concessão;
- Auditoria/Inspeção da produção.

Os ensaios de concessão de coletores e sistemas solares térmicos é desenvolvido no Laboratório de Energia Solar (LES) do LNEG. Este Laboratório é acreditado desde 1993, único em Portugal, é membro da Rede *Solar Keymark* e é reconhecido pelas entidades certificadoras CERTIF (Portugal) e DIN CERTCO (Alemanha).

A entidade certificadora (CERTIF) (Figura 40) realiza anualmente a inspeção da produção de modo a verificar a manutenção das condições de produção, para garantir que se mantêm as características do produto selecionado para os ensaios de concessão (CERTIF, 2004).



Figura 40: Marca CERTIF (Revista Energia Solar nº53, 2004)

Esta certificação é em tudo semelhante ao Solar Keymark o que refletiu numa boa aceitação que a certificação Solar Keymark teve em Portugal, como padrão para os requisitos de certificação no âmbito de programas de financiamento de sistemas solares térmicos e também no âmbito da obrigação de sistemas solares térmicos em edifícios (Carvalho, 2011).

Os atuais coletores solares térmicos e os sistemas solares térmicos do tipo "kit" certificados – Marca Produto CERTIF ou Marca Solar Keymark, podem ser consultados em (AQSpP, 2014).

Capítulo 4 – Noções de Avaliação de ciclo de vida (LCA)

4.1 Enquadramento ao método LCA

O estudo pioneiro referente ao método de avaliação de ciclo de vida (em inglês *Life-Cycle Assessment* (LCA)) foi desenvolvido no início da década de 70 por uma famosa marca de refrigerantes (Santiago, 2005). Esta tinha como objetivo comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante de forma a selecionar o mais adequado do ponto de vista ambiental, focando a preservação dos recursos naturais. Este processo de quantificação das emissões e recursos naturais utilizados na produção dos produtos passou a ser denominado de REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*) (Santiago, 2005).

Neste seguimento, muitos investigadores passaram a estudar a metodologia REPA, tendo contribuído para o seu melhoramento, através da introdução de novos critérios que possibilitaram uma melhor análise ambiental. Num estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente da Suíça, foi introduzido na metodologia REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais. Posteriormente, em 1991, com base nesse modelo foram desenvolvidos os primeiros programas informáticos para os estudos de REPA, os Ökobase I e II (Santiago, 2005).

Nos anos seguintes, realizaram-se várias campanhas de marketing com base em estudos sobre LCA aos mesmos produtos mas com modelos diferentes, tendo resultando numa série de resultados distintos que suscitou dúvidas quanto à validade do método. Tornando-se cada vez mais difícil a sua aplicação, principalmente com o aparecimento dos “Rótulos Ambientais”, que eram atribuídos com base em apenas um aspeto ambiental do produto ou serviço, desvalorizando todas as fases do ciclo de vida do produto. Contudo, os resultados controversos dessas iniciativas de rotulagem levaram à consideração da utilização da Avaliação do Ciclo de Vida como uma saída tecnicamente correta para o impasse dos rótulos ambientais. Com esta situação, surgiu a necessidade de se padronizar a LCA (Santiago, 2005).

Em resposta a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) iniciou os primeiros trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da LCA. Assim, em 1993 a *International Organization for Standardization* (ISO) criou o Comité Técnico TC 207 para elaborar normas de sistemas de gestão ambiental e suas ferramentas. A partir de 1997 foi normalizada uma das mais importantes séries de normas internacionais, a série ISO 14000.

Nesta série, destaca-se as seguintes normas de Avaliação de ciclo de vida: a ISO 14040:1988 que estabelece os princípios gerais do método LCA, a ISO 14041:1988 que aborda a definição do objetivo e âmbito e análise de inventário, a ISO 14042:2000 que destaca a avaliação de impactes ambientais e, finalmente, a ISO 14043:2000 que foca a interpretação do ciclo de vida. Em 1 de julho de 2006, estas quatro normas foram substituídas pela norma ISO 14040:2006, Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida- Princípios e enquadramento (ISO 14040, 2006) e pela norma ISO 14044:2006, Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida- Requisitos e diretrizes (ISO 14044, 2006).

Atualmente, a análise de ciclo de vida é uma metodologia analítica que permite a quantificação do potencial impacte ambiental associado ao ciclo de vida de um produto ou serviço (Neiva, Mateus, & Bragança, 2012) (Figura 41). Esta análise é baseada na comparação dos impactes ambientais causados por diferentes produtos ou serviços, através da quantificação de materiais e fluxos de energia.

Assim sendo, todos os estudos alusivos à Avaliação de ciclo de vida referem a LCA como uma metodologia que compreende as etapas que vão desde a extração da matéria-prima para a produção de um dado produto, até ao fim do ciclo de vida desse produto, contabilizando no processo as seguintes etapas:

- Produção de energia;
- Processos de fabricação;
- Consumo de energias não renováveis;
- Impactes relacionados com o uso e manutenção;
- Tratamento final do Produto (aterro ou reciclagem).

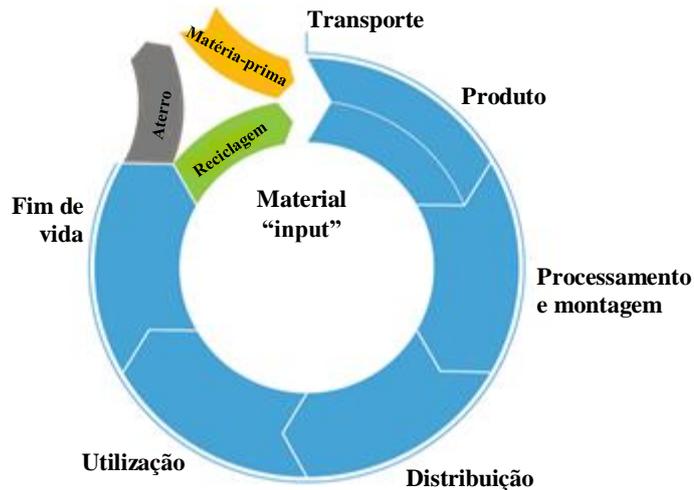


Figura 41: Etapas do ciclo de vida de um produto ou serviço (REC, 2014)

Em função destas etapas, a avaliação de ciclo de vida pode ainda apresentar três variantes conforme o tipo de análise realizada (Mateus, 2009). Assim, pode ser feita uma análise em que se considera a totalidade do ciclo de vida do produto desde a extração da matéria-prima até à fase de deposição, a qual se dá o nome de *cradle-to-grave* (“do berço à sepultura”). Uma análise do produto que vai desde a fase de extração até a porta da fábrica é denominada de *cradle-to-gate* (“do berço à porta”). E por fim, uma análise *cradle-to-cradle* (“do berço ao berço”) que é uma variante da primeira análise, diferenciando-se apenas pelo facto de a última fase do ciclo de vida do produto ser a reciclagem.

4.2 Aplicação LCA em edifícios e respetiva normalização

Atualmente, a aplicação da Avaliação de ciclo de vida encontra-se muitas vezes associada aos processos de tomada de decisões no sector da construção civil (Soares, Souza, & Pereira, 2006). A utilização deste método para avaliar os impactes ambientais dos edifícios teve início na década de 1970 com o objetivo de avaliar os fluxos de energia. Contudo foi no fim da década de 1980 que alguns investigadores apresentaram uma abordagem mais rigorosa e abrangente para a avaliação dos impactes ambientais de um edifício durante o seu ciclo de vida (Häkkinen, Huovila, Tattari, Vares, Seppälä, & Koskela, 2002).

A utilização da LCA para um produto não pode ter uma abordagem *standard* quando aplicada a um edifício. Ou seja, não se pode considerar que obras da engenharia que geralmente são caracterizadas por uma vida útil que se estende por décadas ou até séculos, sejam abordadas da mesma forma que um produto industrial que normalmente apresenta uma curta vida útil. Assim sendo, é necessário haver algumas alterações no desenvolvimento de estudos LCA quando aplicados a edifícios (Soares, Souza, & Pereira, 2006).

Em 1997, segundo o relatório do Diretório Geral para Ciência, Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Europeia, a metodologia LCA quando aplicada a edifícios deve assentar numa adaptação ao contexto temporal e estrutural de forma a poder ser utilizada em várias ou apenas numa fase do ciclo de vida da edificação. Assim, é possível idealizar que todas as etapas construtivas de uma obra passariam por uma avaliação de ciclo de vida, de modo a considerar a menor repercussão ambiental, associada às seguintes fases do ciclo de vida do edifício: Construção, utilização e demolição (Soares, Souza, & Pereira, 2006).

Na prática, a aplicação deste método aos edifícios torna-se bastante trabalhosa e complexa, pois, por um lado, um edifício incorpora centenas ou mesmo milhares de produtos cuja origem de produção de cada produto pode estar a cargo de uma empresa diferente e por outro lado, cada edifício é único, ou seja, não existe muitas padronizações na conceção dos edifícios (Kotaji, Schuurmans, & Edwards, 2003).

Apesar do método LCA se destacar na área da avaliação sustentável dos edifícios como um método completo para avaliação dos impactes ambientais, este não é muito utilizado pelos projetistas, vendedores ou compradores. Desta forma são normalmente utilizadas ferramentas e sistemas baseados apenas nas propriedades de certos materiais, como por exemplo o conteúdo reciclado, o potencial para reciclagem e as distâncias do local de produção para o local de construção (Carmody, Trusty, Meil , & Lucuik, 2007). A complexidade da maioria das ferramentas e sistemas baseados no método LCA leva a que estes apenas sejam utilizados por especialistas, na maioria em meio académico (Bragança & Mateus, 2012).

Encontra-se atualmente no mercado produtos e edifícios que se autoproclamam de mais sustentáveis que os convencionais. Contudo, a maior parte destes edifícios não foi

submetido a qualquer tipo de comparação com as soluções convencionais de forma a justificar o seu rótulo de “sustentável”. Esta abordagem é apenas um ato de marketing utilizado para potenciar a venda destes edifícios (Bragança & Mateus, 2012).

De forma a colmatar esta situação desenvolveram-se métodos de quantificação do desempenho ambiental que apesar de não serem consistentes com o método LCA estão integrados na certificação de sustentabilidade. Contudo, torna-se indispensável a utilização de métodos mais precisos para avaliar o desempenho ambiental, para posteriormente servirem de comparação com resultados provenientes da utilização de diferentes sistemas de certificação (Bragança & Mateus, 2012).

Segundo Bragança e Mateus (2012) a análise de ciclo de vida permite, de um modo geral, avaliar a carga de impacte ambiental associada a um determinado produto, processo ou serviço durante o seu ciclo de vida. Esta metodologia, apesar de orientada para produtos e materiais, pode também ser aplicada à construção. Assim sendo, numa sociedade que se preocupa cada vez mais em consolidar os pilares da sustentabilidade, surgiu a necessidade de desenvolver normas no domínio da avaliação do ciclo de vida e da sustentabilidade dos edifícios. De forma a definir critérios comuns de normalização a nível europeu, o Comité Europeu de Normalização (CEN) estabeleceu em 2005, o Comité Técnico 350 (CEN/TC 350), sob o nome de “Sustentabilidade da Construção”, que visa desenvolver normas europeias de sustentabilidade que servirão de modelo para a avaliação de sustentabilidade de edifícios desenvolvidos dentro dos países europeus. Estas normas destinam-se a arquitetos, engenheiros e consultores, que trabalham na avaliação europeia da sustentabilidade da construção (Dias, 2011). Esta comissão técnica discrimina os indicadores ambientais que devem ser usados no método de avaliação da sustentabilidade da construção europeia, com o objetivo de quantificar os impactes ambientais que serão objeto de estudo na avaliação de ciclo de vida de edifícios. As normas elaboradas pelo CEN/TC 350, podem ser aplicadas a edifícios novos ou existentes, pois fornecem métodos de cálculo que abrangem todo o ciclo de vida dos edifícios, englobando as fases de montagem, operação e demolição.

Com o trabalho realizado pelo CEN, surge a Norma EN 15804:2012 que se destina a avaliar a sustentabilidade das obras de construção. Esta Norma Europeia estabelece regras fundamentais para produtos e serviços de construção, através da elaboração da Declaração Ambiental de Produto ou o seu termo em inglês, *Environmental Product*

Declaration (EPD) (Ramos, 2012). Estas declarações ambientais regem-se por três tipos de parâmetros ambientais, são eles (Dias, 2011):

- i. Parâmetros que descrevem os impactes ambientais (Anexa II):
 - Alterações climáticas;
 - Destruição da camada de ozono;
 - Acidificação da terra e dos aquíferos;
 - Eutrofização;
 - Formação de ozono ao nível do solo.

- ii. Parâmetros de entrada de fluxos materiais e de energia:
 - Uso de materiais não renováveis;
 - Uso de materiais renováveis;
 - Uso de energia primária não renovável;
 - Uso de energia primária renovável;
 - Uso da água.

- iii. Parâmetros de saída de fluxos de materiais e energia:
 - Materiais para reciclagem;
 - Materiais para aproveitamento de energia;
 - Deposição em aterro de resíduos não perigosos;
 - Deposição em aterro de materiais perigosos;
 - Deposição em aterro de materiais radioativos.

A norma supramencionada fornece os meios para o desenvolvimento de uma declaração ambiental Tipo III de produtos de construção e faz parte do seguinte conjunto de normas que se destinam a avaliar a sustentabilidade das obras:

- CEN/TR 15941:2010, Sustentabilidade de obras de construção – Declaração ambiental de produto - Metodologia para a seleção e utilização de dados genéricos;
- EN 15942:2011, Sustentabilidade de obras de construção - Declaração ambiental de produto - formatos de comunicação;

- EN 15978:2011, Sustentabilidade de obras de construção - Avaliação do desempenho ambiental dos edifícios - Método de cálculo;
- EN 15643-1:2010, Sustentabilidade das obras - Avaliação de edifícios - Parte 1: Quadro geral;
- EN 15643-2:2010, Sustentabilidade das obras - Avaliação de edifícios - Parte 2: Quadro para a avaliação do desempenho ambiental.

Os trabalhos protagonizados pela CEN/ TC 350 não se restringem apenas a uma avaliação de impactes ambientais. Este comité tem a responsabilidade desenvolver métodos padronizados que descrevam uma metodologia adequada para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios e custo do ciclo de vida dos edifícios, bem como os aspetos de desempenho ligados à saúde e conforto nos edifícios (Dias, 2011). Como resultado destes trabalhos foram também desenvolvidas as seguintes normas:

- EN 15643-3:2012, Sustentabilidade das obras - Avaliação de edifícios - Parte 3: Estrutura para a avaliação do desempenho social;
- EN 15643-4:2012, Sustentabilidade das obras - Avaliação de edifícios - Parte 4: Estrutura para a avaliação do desempenho económico.

Não obstante da realidade estas normas podem não ser perfeitas, contudo são as primeiras normas europeias a servirem de modelo para a avaliação da sustentabilidade da construção (Dias, 2011).

4.3 Análise do método LCA

De encontro com a temática desta dissertação será realizada uma análise do método LCA, referenciando a sua aplicabilidade a sistemas solares térmicos.

Segundo as normas internacionais ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 a execução de uma análise LCA deve seguir as seguintes etapas (Figura 42), a saber:

- Definição de objetivo e âmbito;
- Inventário de ciclo de vida;
- Avaliação do impacte de ciclo de vida;
- Interpretação.

A Figura 42 resume as etapas da avaliação de ciclo de vida através da interligação das várias fases que tornam esta avaliação num processo iterativo.

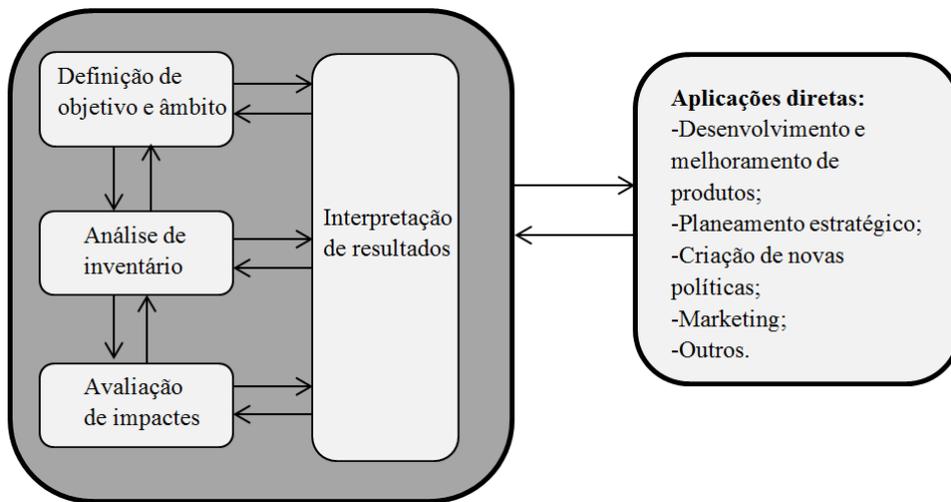


Figura 42: Etapas LCA (ISO 14040, 2006)

4.3.1 Definição de objetivo e âmbito

A primeira fase de um estudo LCA consiste na definição do objetivo e âmbito de estudo. Esta fase é crucial para atingir resultados precisos e suficientes para alcançar os objetivos delineados. A complexidade desta fase envolve a definição da chamada “unidade funcional” que é fundamental para a condução do estudo (Santiago, 2005).

Nesta fase da LCA são também definidas as fronteiras e limites do estudo, o tipo de público-alvo para quem se destina a apresentação dos resultados e as principais categorias de impacto ambiental (Neiva, Mateus, & Bragança, 2012).

Em suma, nesta primeira fase de LCA deve-se definir os seguintes elementos:

- Definição dos propósitos da análise;
- Definição dos limites do sistema;
- Estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema;
- Procedimentos de alocação;
- Requisitos dos dados;
- Hipóteses de limitações;
- Avaliação de impacto e quando necessário a metodologia a ser adotada.

A LCA é uma técnica iterativa, pelo que, o âmbito do estudo pode ser modificado. A complexidade do estudo e a recolha de nova informação pode justificar tal modificação (Ribeiro J. , 2012).

4.3.1.1 Unidade Funcional (UF)

O primeiro passo para uma avaliação do ciclo de vida consiste na escolha da unidade funcional. Segundo a norma ISO 14040 (2006) o principal objetivo de uma unidade funcional é fornecer uma referência para que os fluxos estejam relacionados. A utilização de uma base comum assegura a compatibilidade dos resultados de LCA quando se avaliam sistemas diferentes (Beccali, 2010).

No entanto, a escolha da UF nem sempre é imediata e única. Várias opções podem ser manipuladas, conduzindo a resultados muito diferentes (Ardente, Beccali, Cellura, & Brano, 2005). Desta forma a UF pode eventualmente referir-se a todo o sistema ou a valores específicos.

No primeiro caso, a utilização de todo o sistema como UF pode levar a um eco perfil completo do produto, a título de exemplo os autores Battisti (2005) e Ardente (2005) utilizam como unidade funcional o coletor solar. Contudo esta abordagem apresenta algumas limitações na comparação de sistemas que apesar de terem a mesma tipologia, apresentam tamanhos diferentes (Beccali, 2010).

A utilização de valores específicos como UF possibilita a comparação entre diferentes sistemas. A título de exemplo Hazami, et al. (2013) comparam o desempenho ambiental e energético de vários sistemas apresentando como UF o m² de superfície. A escolha da unidade funcional deve ser ponderada em função do sistema estudado. Por exemplo, considerar como UF de um coletor solar a energia produzida pode levar a um eco perfil diferente em função das condições climáticas do local de implantação (Beccali, 2010). O Quadro 6 resume as vantagens e as desvantagens referente à escolha da unidade funcional.

Quadro 6: Vantagens e desvantagem de Unidades Funcionais (Beccali, 2010)

Alternativas UF	Valores absolutos	Valores relativos/ específicos	
		Por unidade de parâmetro	Por unidade de produção de energia
Vantagens	Fornecer uma visão única e inequívoca do desempenho global do sistema estudado.	Fornecer uma base fácil para a comparação de vários sistemas.	Preocupar-se com a eficiência dos sistemas. Os resultados podem ser facilmente comparados.
Desvantagens	Dificuldades para comparar o desempenho de sistemas ou produtos com diferentes tamanhos ou para comparar diferentes tecnologias.	Não se preocupa com a eficiência dos sistemas.	O perfil ecológico está dependente dos parâmetros específicos do local (condições meteorológicas, radiação solar).

4.3.1.2 Limites do Sistema

Segundo a norma ISO 14040 (2006) o LCA é realizado através da definição de sistemas de produtos como os modelos que descrevem os elementos-chave de sistemas físicos. Nesta ordem, os limites do sistema definem os processos que serão incluídos na avaliação do ciclo de vida do produto de forma a refletir os objetivos definidos para o estudo. Segundo Beccali (2010) a definição de limites do sistema permite:

- Otimizar o tempo e os recursos necessários para a análise, focando a atenção sobre os elementos que são responsáveis pela maioria dos impactos ambientais;
- Comparar estudos LCA diferentes com base nos mesmos pressupostos iniciais;
- Reduzir o número de dados LCA e facilitar os cálculos sem comprometer a confiabilidade, integridade e representatividade dos resultados.

Normalmente, os autores utilizam uma análise LCA “cradle to grave” para definir os limites do sistema.

4.3.2 Inventário de ciclo de vida (LCI)

Esta fase pode-se tornar numa das fases mais demoradas e trabalhosas, pois engloba a recolha de informação associada à produção dos produtos junto das empresas. Para auxiliar esta tarefa é frequente recorrer-se à concretização de questionários para recolher os dados necessários à realização da análise de ciclo de vida (Mateus, 2009).

Atualmente este contratempo já está ultrapassado, pois aproximadamente 80% dos dados necessários para a realização de uma análise LCA já se encontram disponíveis em base de dados, bibliografias ou na internet (Pré-consultants, 2008). Contudo não deixa de ser importante manter um espírito crítico no que concerne à escolha da informação, principalmente aquela que provem de fontes desconhecidas ou que apresenta dados incompletos (Mateus, 2009).

Segundo a opinião dos especialistas em LCA, uma das fontes de informação mais plausíveis é a base de dados Ecoinvent. A primeira versão da Ecoinvent (v1.01) foi lançada em 2003, tendo obtido grande sucesso. Posteriormente em 2007 lançaram a versão 2.0, sendo que atualmente já se encontra disponível a versão 3.0. Esta nova versão contém a atualização dos dados existentes e a apresentação de novos dados referentes à geração de eletricidade, à produção de produtos químicos, às novas atividades de reciclagem e rotas de produção e aos transportes (incluindo novos dados sobre a mobilidade elétrica) (Weidema, et al., 2013).

4.3.3 Avaliação dos impactes de ciclo de vida

Na terceira fase da LCA o objetivo é avaliar a contribuição do produto para as categorias de impacto ambiental, ou seja, a avaliação dos impactes analisa o potencial efeito para o ambiente que resulta das intervenções ambientais identificadas na fase de análise de inventário (Ribeiro J. , 2012). Esta fase aborda os efeitos ecológicos e os efeitos na saúde humana assim como no esgotamento de recursos.

Segundo a norma ISO 14040 (2006), esta fase está organizada em duas etapas obrigatórias (classificação e caracterização) e duas opcionais (normalização e agregação).

Os resultados do inventário de ciclo de vida apresentam centenas de emissões e outros parâmetros relacionados com a extração de recursos. O primeiro passo consiste na

seleção das categorias de impacto que devem refletir um conjunto de questões ambientais relacionadas com o sistema e o objetivo definido na primeira fase da LCA.

A etapa de **classificação** consiste em distribuir os resultados obtidos na fase LCI (emissões, resíduos, recursos) pelas categorias de impacto ambiental. Por exemplo, o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) contribuem para o aquecimento global (Lippiatt, 2007). Contudo, é possível ter determinadas emissões em diferentes categorias de impacto. A título de exemplo, o dióxido de enxofre (SO₂) pode ser atribuído às categorias Saúde Humana e/ou Doenças Respiratórias (Mateus, 2009).

A **caracterização** resulta da contribuição potencial de cada um dos resultados LCI ao correspondente impacto ambiental (Lippiatt, 2007). Assim sendo, é necessário definir fatores de caracterização para que cada emissão tenha uma contribuição diferente na mesma categoria de impacto (Mateus, 2009). A título de exemplo, apresenta-se na Tabela 3 os fatores de caracterização associados às diversas emissões que contribuem para o Potencial de Aquecimento Global (GWP), segundo o método LCA “BEES” (Lippiatt, 2007).

Tabela 3: Fatores de caracterização – GWP (Lippiatt, 2007)

Emissões	Fator de caracterização - GWP_i (CO₂ equivalente)
Dióxido de Carbono (CO ₂ , fóssil)	1
Tetracloroeto de carbono (CCl ₄)	1800
Tetrafluorometano (CF ₄)	5700
CFC-12 (CCl ₂ F ₂)	10600
Clorofórmio (CHCl ₃ , HC-20)	30
Halon 1301 (CF ₃ Br)	6900
HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	1700
Metano (CH ₄)	23
Brometo de Metilo (CH ₃ Br)	5
Cloreto de Metilo (CH ₃ Cl)	16
Cloreto de Metileno (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	10
Óxido Nitroso (N ₂ O)	296
Tricloroeteno (1,1,1- CH ₃ CCL ₃)	140

Na Tabela 3 o GWP é associado num único índice, expresso em gramas de dióxido de carbono por unidade funcional de um produto, que mede a quantidade de dióxido de carbono com o mesmo potencial de aquecimento global ao longo de um período de 100 anos (Lippiatt, 2007).

A etapa da **normalização** permite a comparação entre os diversos indicadores através da conversão dos valores dos impactes numa mesma unidade (Neiva, Mateus, & Bragança, 2012). O passo seguinte, a **agregação**, facilita a determinação de indicadores globais através da atribuição de pesos a cada categoria de impacte ambiental, conforme a sua importância relativa (Mateus, 2009).

Atualmente existem duas grandes tendências para avaliar os impactes de ciclo de vida, através de métodos intermédios e de métodos finais. O primeiro método permite a obtenção de indicadores de impacte ambiental, isto é, o mecanismo que causa o problema (Neiva, *et al.*, 2012). Enquanto o segundo método é orientado para o problema, como por exemplo a saúde humana, a extinção de espécies e a disponibilidade de recursos para as gerações futuras, entre outros (Mateus, 2009). A título de exemplo são apresentados no Quadro 7 alguns métodos intermediários e finais. O tipo de método utilizado depende do objetivo do estudo.

Quadro 7: Métodos intermédios e métodos finais

Métodos intermédios	Métodos finais
CML 2 baseline 2000	Eco-Indicator 99
Cumulative Energy Demand	EPS
TRACI	EDIP 2000 e 2003
	Impact 2002+

4.3.4 Interpretação dos resultados

A última fase é a interpretação, esta é uma fase de reflexão onde devem ser dadas respostas às perguntas “O que significam os resultados?” e “Para que servem estes resultados?” (Ashby, 2009). Esta fase é considerada a mais importante pois serve de resposta ao objetivo e ao âmbito do estudo (Neiva, Mateus, & Bragança, 2012). Com os resultados obtidos desta fase é possível identificar a origem dos impactes, comparar soluções, fazer uma análise de possíveis melhorias e revisar e avaliar os resultados LCI (Mateus, 2009).

PARTE III

Metodologia aplicada

Capítulo 5 – Avaliação do ciclo de vida de Sistemas Solares Térmicos

5.1 Enquadramento

A utilização de sistemas com recurso a energias renováveis para melhorar a eficiência energética dos edifícios tem sido um foco importante no desenvolvimento sustentável. Contudo é necessário averiguar se o consumo adicional de energia na fase de produção não ultrapassa os benefícios ambientais e económicos da fase de utilização (Sornes, 2011). Como tal, será necessário avaliar os impactes ambientais e o consumo de energia relacionados com os sistemas de aquecimento.

Segundo Citherlet, Favre e Perriset (2013), a avaliação do desempenho de um sistema solar térmico deve assentar na sua integração em edifícios novos ou restaurados. Assim sendo, pretende-se promover a aplicação do método LCA a fim de melhorar o desempenho quer de edifícios quer de sistemas solares, contribuindo para um parque edificado mais sustentável.

A metodologia apresentada compreende os passos necessários para a realização de uma análise ambiental e económica do ciclo de vida de sistemas solares térmicos, tendo como finalização a apresentação de um programa que permitirá auxiliar os projetistas na otimização do desempenho sustentável do edifício.

5.2 Avaliação do ciclo de vida de edifícios

A maior incerteza nos estudos de análise ambiental e energética ao longo do ciclo de vida dos edifícios deve-se aos contínuos progressos tecnológicos. A cada ano, realizam-se novas descobertas e aperfeiçoam-se técnicas que melhoram a eficiência e a vida útil dos sistemas, resultando em novos materiais “*inputs*” e na diminuição do uso de energia (Sornes, 2011).

A análise de ciclo de vida dos edifícios segue a variante “cradle to grave”. Segundo alguns autores (Dahlstrom e Sornes (2012)) esta análise deve ser repartida nas seguintes fases:

- Extração e produção dos materiais;
- Construção do edifício;
- Operação do edifício;
- Fim de vida do edifício.

A Figura 43 apresenta o ciclo de vida de um edifício, começando pela fase de extração da matéria-prima, transporte, produção e transporte dos materiais para o local de construção. Posteriormente, segue-se a fase de operação do edifício que inclui a quantificação dos materiais e outros “inputs”. Segundo Dahlstrom, *et al.* (2012) deve-se quantificar nesta fase a manutenção do acabamento das superfícies, a energia para aquecimento ambiente, o fornecimento de água e a operação de ventiladores e iluminação. Por fim, após decorrido o tempo de serviço, o edifício é demolido e os materiais passam por processos de tratamento de resíduos (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012).

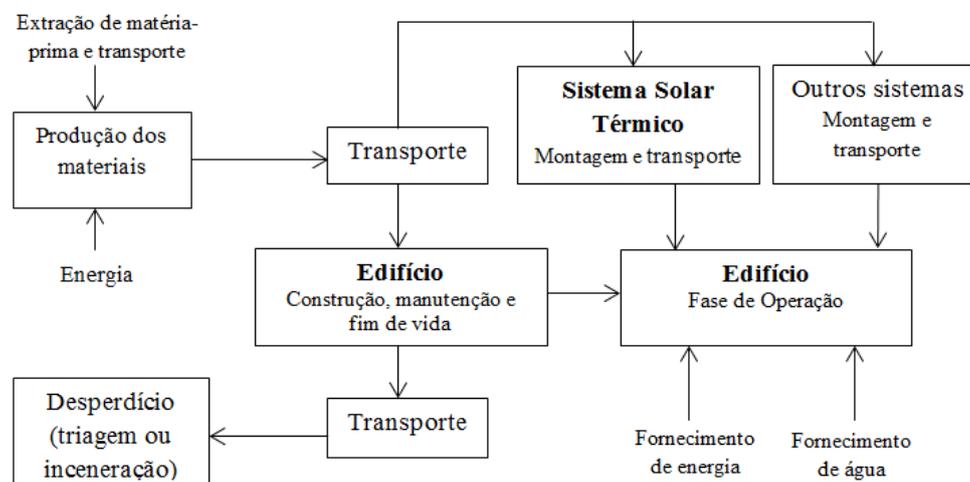


Figura 43: Ciclo de vida de um edifício (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012)

Apresenta-se de seguida as fases já supramencionadas que caracterizam o ciclo de vida de um edifício.

5.2.1 Fase de produção dos materiais

Nesta fase será feita uma análise “cradle to gate” onde se inclui os processos para a fabricação dos materiais utilizados nos elementos de construção. Assim sendo, contabiliza-se todos os processos desde a extração da matéria-prima, transporte, produção e transporte para o local de construção (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012). Exemplos de materiais de construção: tijolo, tubos, painéis de isolamento.

5.2.2 Fase de construção do edifício

A fase de construção inclui todos os processos realizados na propriedade “intocada” até à conclusão da construção do edifício (Dahlstrom, 2011). O limite desta fase abrange o transporte dos materiais e equipamentos de construção (máquinas, andaimes, gruas, etc.) para o local da obra e toda a energia e materiais necessários para a construção do edifício (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012). Segundo Citherlet, *et al.* (2013) o edifício é constituído por todos os elementos estruturais internos e externos. Exemplos de elementos estruturais: parede divisória, parede exterior.

5.2.3 Fase de operação do edifício

Esta fase compreende o período durante o qual o edifício é utilizado pelos ocupantes, ou seja, corresponde ao tempo de vida útil do edifício. O edifício em operação utiliza água, eletricidade e energia proveniente de sistemas alternativos durante o seu tempo de vida útil (Dahlstrom, 2011). Para além disso, esta fase inclui a manutenção, a reabilitação e a substituição dos materiais de construção (Citherlet, Favre, & Perriset, 2013).

A integração dos sistemas solares térmicos é feita nesta fase, assim como outros sistemas de aquecimento (Figura 1). Para avaliar todos os impactes ambientais de ciclo de vida na fase de operação do edifício, os seguintes processos devem ser contabilizados (Citherlet, Favre, & Perriset, 2013):

- A energia consumida pelos sistemas técnicos relacionada com o conforto dos ocupantes, ou seja, a energia despendida para aquecimento das águas domésticas e aquecimento e arrefecimento do ambiente durante a fase de operação do edifício. O consumo de energia desses sistemas pode ser composto pelo consumo de energia principal, pelo consumo da energia secundária para

auxiliar na produção de energia necessária e pelo consumo de energia auxiliar. No caso de sistemas solares térmicos para AQS, a principal fonte de energia é o sol, a fonte de energia secundária pode prover de eletricidade ou de gás e a energia auxiliar pode prover de eletricidade. Assim sendo para a energia solar térmica somente a energia secundária e a energia auxiliar contribui para a LCIA do edifício, visto a energia principal não ter nenhum impacto ambiental;

- A energia produzida e despendida pelo edifício, necessária para calcular os benefícios e cargas para além dos limites do sistema. Este cálculo ocorre quando o edifício integra sistemas para a produção de energia no local e exporta para fora dos limites do edifício;
- A energia consumida por outros equipamentos técnicos instalados para suportar a operação de um edifício, conforme definido na EN 15978:2011 (por exemplo, a iluminação artificial, elevadores, etc.).

5.2.3.1 Manutenção

A LCIA do edifício é também influenciada pela vida útil dos materiais de construção e equipamentos. A definição do tempo de vida útil do edifício condiciona o número de substituições necessárias. No caso dos sistemas solares térmicos considera-se que o tempo de vida útil varia entre 15 a 25 anos (Hang, Qu, & Zhao, 2012; Battisti & Corrado, 2005) e no caso dos edifícios habitacionais entre 50 a 60 anos (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012).

O longo tempo de serviço dos edifícios leva à substituição ou manutenção de vários materiais. O número de substituições pode ser calculado pela expressão 5 (Citherlet, Favre, & Perriset, 2013):

$$N_R = Round\left(\frac{SP}{SL} - 1\right) \quad (5)$$

Onde:

N_R	Número de substituições do elemento;
<i>Round</i>	Função que arredonda para o número inteiro mais próximo;
SP	Período de estudo do edifício;
SL	Vida útil do elemento.

5.2.4 Fase de fim de vida do edifício

Esta fase inclui desde o processo de demolição do edifício até à eliminação dos materiais, ou seja, os processos de desmantelamento do edifício, os equipamentos utilizados, o transporte e a gestão de resíduos (reciclagem, reutilização, incineração ou deposição em aterro) (Citherlet, Favre, & Perriset, 2013).

Normalmente, na gestão de resíduos não são creditados os ganhos de qualquer potencial de reutilização de material, de reciclagem ou de recuperação de energia a partir da incineração. Estes pressupostos formam a base de um cenário de resíduos no pior dos casos. Segundo Dahlstrom *et al.* (2012) todos os resíduos são classificados em duas frações diferentes. Uma fração é transportada para uma instalação de triagem, enquanto a outra fração é enviada para uma instalação de incineração de resíduos urbanos. Após a triagem, a fração não reciclável é transportado para um aterro sanitário de matérias inertes (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012).

5.3 Integração de sistemas solares térmicos em edifícios

Após esta análise às fases do ciclo de vida do edifício apresentadas na secção 5.2, pode-se concluir que a integração do sistema solar térmico apenas apresenta impacte na fase de operação do edifício, pois só nessa fase é que se torna necessária a utilização de sistemas solares térmicos para preparação das AQS. Assim sendo, numa análise comparativa entre sistemas solares térmicos integrados em edifícios a única variável desta comparação seria os sistemas adotados, uma vez que o edifício seria sempre o mesmo.

Sornes (2011) constatou nos seus estudos que os impactes da fase de construção do edifício seria a mesma, independentemente do sistema solar térmico instalado. Num desses estudos o autor comparou os impactes de ciclo de vida entre dois edifícios iguais mas com sistemas de aquecimento diferentes. Este concluiu que os edifícios não apresentavam impactes diferentes na construção, mas na energia utilizada. Assim, para o edifício que utilizava um sistema convencional para aquecimento das águas sanitárias o consumo de energia ao final do ciclo de vida do edifício era maior que o edifício com sistema solar térmico para AQS (Sornes, 2011).

Tomando como referência a temática em estudo, pode-se concluir que os benefícios resultantes da integração de sistemas solares térmicos podem ser alcançados com uma avaliação aplicada apenas aos sistemas solares térmicos. Em suma, bastará apenas detalhar os passos de uma análise LCA para sistemas solares térmicos tal como os autores Hang, *et al.* e Hazami, *et al.* (2012), que realizaram uma análise ambiental e económica para diversos sistemas integrados em habitações nos Estados Unidos da América e na Tunísia, respetivamente. Através desses estudos foi possível obter o gráfico apresentado na Figura 44.

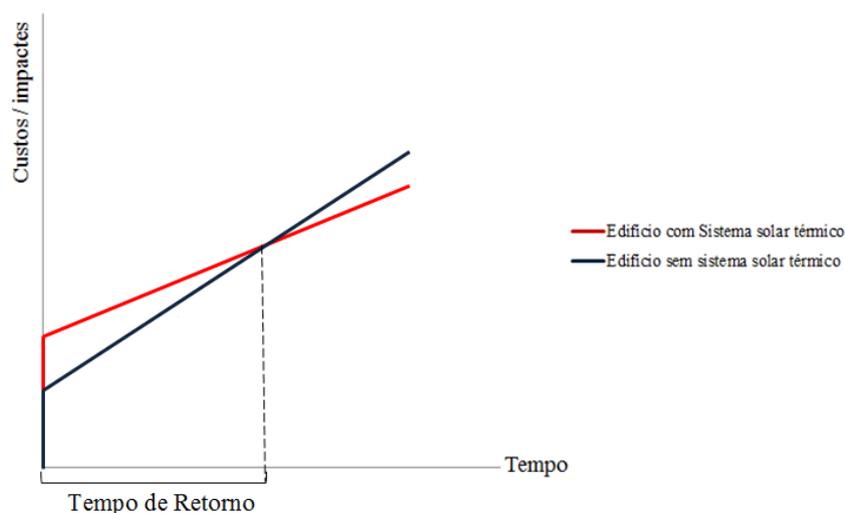


Figura 44: Cenários representativos da fase de operação do edifício

Na Figura 44 encontra-se representada a evolução de custos ou impactes ao longo do tempo de serviço de um edifício com sistema solar térmico para preparação de AQS e outro com sistema convencional para preparação de AQS. O tempo de retorno ambiental, energético e económico encontra-se representado neste gráfico e corresponde ao intervalo de tempo que vai desde o instante $t=0$ até à interseção das retas correspondentes a edifício com sistemas solar térmico e edifício sem sistema solar térmico.

5.4 Avaliação do ciclo de vida de sistemas solares térmicos

A avaliação do ciclo de vida de sistemas solares térmicos segue a abordagem genérica de uma análise LCA. Na Figura 45 apresenta-se detalhadamente as fases de ciclo de

vida de um sistema solar térmico. A metodologia de avaliação de ciclo de vida destes sistemas incluir as seguintes etapas: extração de matérias-primas, a produção dos componentes, transporte, montagem do sistema, transporte para o local de aplicação, o uso do sistema e manutenção e por fim a eliminação do sistema.

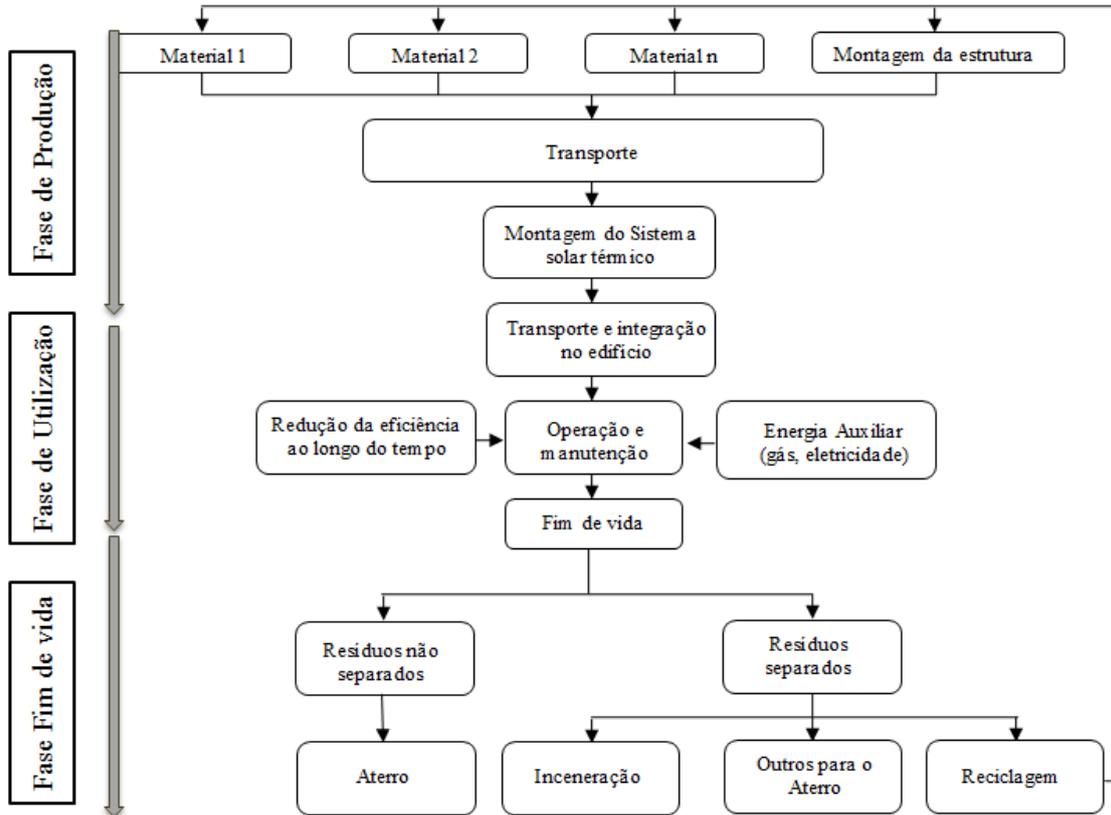


Figura 45: Estágios LCA aplicados aos sistemas solares térmicos

Com o objetivo de descobrir os benefícios da integração de sistemas solar térmicos em edifícios apresenta-se de seguida os passos necessário para essa avaliação.

5.4.1 Definição de objetivo e âmbito

A escolha do objetivo e do âmbito de estudo deve ser feita em função da aplicabilidade dos sistemas solares, do público-alvo e das razões que levaram à realização do estudo. Este deve ser formulado e especificado sobre a forma de unidade funcional. Visto que as metodologias correspondem à simplificação da realidade, torna-se necessário desenvolver algum rigor para reduzir uma possível discrepância entre os resultados simulados e os resultados reais. A fim de alcançar os desafios propostos é necessário

especificar as etapas que compõem o ciclo de vida do sistema, a unidade funcional que será avaliada e as categorias de impacto a serem avaliadas nos vários processos do ciclo de vida do sistema solar térmico.

5.4.2 Inventário de ciclo de vida (LCI)

A análise de inventário envolve a compilação e tratamento de dados para quantificar os fluxos de entrada e saída do sistema. As entradas correspondem à quantificação dos materiais e energias utilizadas, enquanto as saídas correspondem às emissões atmosféricas, emissões para a água e resíduos sólidos (Mateus, 2009).

Na Tabela 4 são apresentados os indicadores ambientais, respectivas unidades e os métodos LCIA utilizados para a quantificação dos impactos.

Tabela 4: Indicadores ambientais incluídos neste estudo (Bragança & Mateus, 2012)

Indicadores	Unidades	Métodos
Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP)	[Kg Sb equiv.]	CML 2 baseline 2000 V2.04
Potencial de aquecimento global (GWP)	[Kg CO ₂ equiv.]	CML 2 baseline 2000 V2.04
Potencial de destruição da camada de Ozono (ODP)	[KgCFC-11 equiv.]	CML 2 baseline 2000 V2.04
Potencial de acidificação (AP)	[Kg SO ₂ equiv.]	CML 2 baseline 2000 V2.04
Potencial de formação de ozono troposférico (POCP)	[Kg C ₂ H ₄ equiv.]	CML 2 baseline 2000 V2.04
Potencial de eutrofização (EP)	[Kg PO ₄ equiv.]	CML 2 baseline 2000 V2.04
Energia não-renovável incorporada (ADP_FF)	[MJ equiv.]	Cumulative Energy Demand V1.8
Energia renovável incorporada (ER)	[MJ equiv.]	Cumulative Energy Demand V1.8

A avaliação de impacto do ciclo de vida dos sistemas solares térmicos foi complementada com a utilização do programa SimaPro 7.3 e com o banco de dados Ecoinvent 2.2. Apesar do contexto dos dados LCI corresponderem à realidade Suíça, é possível adota-los para um contexto Português, uma vez ser mínima a diferença entre as tecnologias utilizadas nos países europeus.

5.4.2.1 Fase de produção

Nesta fase é necessário quantificar todos os materiais que constituem um sistema solar térmico (coletor, estrutura de suporte, tanque de água, vaso de expansão, etc.), a energia associada ao fabrico e o transporte.

Recorrendo à base de dados Ecoinvent, apresenta-se na Tabela 5 a quantificação dos parâmetros ambientais que descrevem os impactos ambientais e a energia utilizados

para produção de vários tipos de coletores solares e sistemas integrados. Os valores da Tabela 5 incluem os materiais, a água, a energia utilizada durante a produção destes sistemas, o transporte, a montagem no telhado dos sistemas e a eliminação dos coletores. Estes dados apenas dizem respeito aos coletores e sistemas solares excluindo o aquecimento auxiliar.

Tabela 5: Avaliação dos impactos do ciclo de vida de sistemas solares térmicos (Fase de produção)

Produção	Categorias dos impactos ambientais no LCA						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
Coletor de tubos de vácuo	6.74E-01	9.03E+01	8.42E-06	7.81E-01	3.26E-02	6.55E-01	1.48E+03	1.38E+02
Coletor plano	6.81E-01	1.02E+02	9.69E-06	9.76E-01	5.00E-02	6.65E-01	1.52E+03	2.46E+02
Sistema solar térmico combinado* com tubos de vácuo; residência unifamiliar	1.77E+01	2.35E+03	3.06E-04	1.58E+01	1.03E+00	1.25E+01	3.90E+04	3.68E+03
Sistemas solarems térmicos para AQS com coletores planos; residência multifamiliares	7.00E+01	1.02E+04	1.47E-03	8.44E+01	5.21E+00	6.24E+01	1.60E+05	1.85E+04
Sistemas solarems térmicos para AQS com coletores planos; residência unifamiliares	9.83E+00	1.33E+03	1.35E-04	8.77E+00	6.24E-01	5.93E+00	2.13E+04	2.55E+03
Sistemas solarems térmicos combinados* com coletores planos; residência unifamiliares	1.95E+01	2.74E+03	3.52E-04	1.98E+01	1.34E+00	1.39E+01	4.35E+04	5.29E+03

* Para aquecimento de AQS e Ambiente.

Com base na Tabela 5 elaborou-se uma base de dados de impactos ambientais (ANEXO IV) que derivam da área e tipo de coletor presente no sistema solar térmico requerido. Esta base de dados será posteriormente utilizada pelo programa desenvolvido neste trabalho (Capítulo 7).

5.4.2.2 Fase de utilização

A fase de utilização do sistema solar térmico corresponde à fase de utilização do edifício. É nesta fase que são implementados dos sistemas solares térmicos em edifícios. Tal como já referido, a energia consumida pelos sistemas solares térmicos, ou seja, a energia secundária e a energia auxiliar deve ser contabilizada. Análogo ao realizado na fase de produção, apresenta-se na Tabela 6 os resultados LCIA referentes à produção de 1Mj de calor em diferentes sistemas solares térmicos. A base de dados inclui a manutenção do sistema e a energia utilizada para a fase de operação, salientando-se que o sistema de aquecimento auxiliar não está incluído.

Tabela 6: Avaliação dos impactos do ciclo de vida de sistemas solares térmicos (Fase de utilização)

Utilização	Categorias dos impactos ambientais no LCA						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
Calor útil de um Sistema solar térmico com coletores planos para AQS; residência multifamiliar	2.00E-05	2.90E-03	4.11E-10	2.30E-05	1.41E-06	1.69E-05	5.67E-02	1.14E+00
Calor útil de um Sistema solar térmico com coletores planos para AQS; residência unifamiliar	7.45E-05	1.02E-02	1.12E-09	6.09E-05	4.18E-06	4.03E-05	2.83E-01	1.16E+00
Calor útil de um Sistema solar térmico combinado* com coletores planos; residência unifamiliar	5.50E-05	7.72E-03	9.86E-10	5.16E-05	3.41E-06	3.57E-05	1.87E-01	1.15E+00
Calor útil de um Sistema solar térmico combinado* com tubos de vácuo; residência unifamiliar	5.05E-05	6.80E-03	8.76E-10	4.21E-05	2.68E-06	3.21E-05	1.81E-01	1.16E+00

* Para aquecimento de AQS e Ambiente.

Com base na Tabela 6 elaborou-se uma base de dados de impactos ambientais (ANEXO IV) que derivam da área e tipo de coletor presente no sistema solar térmico requerido. Esta base de dados será posteriormente utilizada pelo programa desenvolvido neste trabalho (Capítulo 7).

- Sistema auxiliar de aquecimento de AQS

Os sistemas auxiliares ou também conhecidos como sistemas de apoio, são sempre necessários nos sistemas solares térmicos, uma vez que estes nem sempre fornecem a energia suficiente para aquecimento das águas sanitárias. Estes sistemas auxiliares podem recorrer a várias fontes de energia, por exemplo, um esquentador ou uma caldeira a gás propano, butano ou natural, uma resistência elétrica, um termoacumulador elétrico ou então uma caldeira a biomassa ou gasóleo.

De acordo com alguns estudos referentes ao enquadramento energético do sector residencial Português (Sousa, Silva, & Almeida, 2012) a energia mais utilizada nestes sistemas provem de gás butano ou de eletricidade.

- Energia necessária para o aquecimento das AQS

A determinação da energia necessária para o aquecimento das AQS do edifício será realizada recorrendo à metodologia imposta no novo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). O antigo regulamento térmico (RCCTE) já considerava obrigatório o uso de sistemas solares térmicos para aquecimento das

AQS. Assim, este novo regulamento apenas apresenta melhorias e novos requisitos na contabilização da energia para preparação das AQS. Na Figura 46 apresenta-se a o processo de cálculo para a determinação dessa energia.

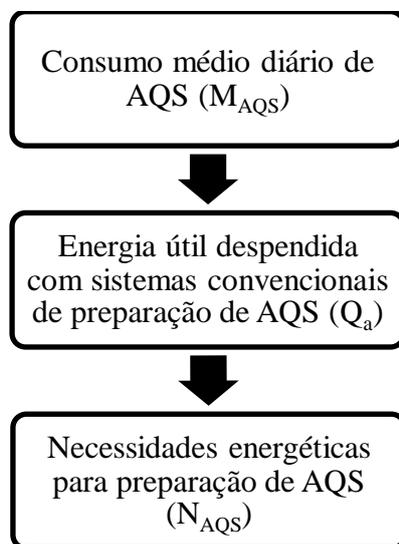


Figura 46: Metodologia de cálculo das necessidades energéticas para AQS

i. Consumo médio diário de AQS (M_{AQS})

Segundo o antigo regulamento térmico, o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma é dado conforme a tipologia do edifício, tal como representado na Tabela 7.

Tabela 7: Número de ocupantes em função da tipologia da fração (Quadro VI.1 do RCCTE)

Tipologia	To	T1	T2	T3	...	Tn
Nº de ocupantes	2	2	3	4	...	n+1

O consumo médio diário de referência de AQS é calculado de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, pela expressão 6:

$$M_{AQS} = 40 \times n^{\circ} \text{ de ocupantes} \times f_{eh} \quad (6)$$

Onde:

Nº de ocupantes (Tabela 7);

f_{eh} Fator de eficiência (Tabela 8).

O fator de eficiência hídrica aplica-se a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica. Conforme o rótulo de eficiência o fator pode tomar os seguintes valores:

Tabela 8: valores do fator de eficiência hídrica

Eficiência	f_{eh}
A ou superior	0,90
Inferior a A	1

ii. Energia despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS

A energia útil despendida com sistemas convencionais é a energia fornecida por estes sistemas para produzir uma elevação da temperatura da água. Esta energia pode ser calculada de acordo com a expressão 7 (Despacho nº15793-I/2013, 2013):

$$Q_a = (M_{AQS} \times 4187 \times \Delta_T \times \eta_d) / 3600000 \quad (\text{KW.h/ano}) \quad (7)$$

Onde:

M_{AQS} - Consumo médio diário de referência de AQS;

Δ_T - Aumento de temperatura necessária para preparar a AQS (°C);

η_d - Representa o número anual de dias de consumo de AQS (Segundo o antigo regulamento, para edifícios residenciais o consumo é permanente, logo 365 dias por ano).

iii. Necessidades energéticas para preparação de AQS

Por fim as necessidades nominais de energia útil para a preparação de AQS podem ser calculadas pela expressão 8 (Portaria n.º 349-C/2013, 2013):

$$N_{AQS} = (Q_a / \eta_a) - (E_{solar} + E_{ren}) \quad (\text{KW.h/ano}) \quad (8)$$

Onde:

Q_a - Energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;

η_a - Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS (Portaria n.º 349-B/2013, 2013) e Anexo III);

E_{solar} - Contribuição de sistemas solares térmicos para o aquecimento de AQS (Despacho n.º15793-E/2013, 2013);

E_{ren} - Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para a preparação de AQS (Despacho n.º15793-H/2013, 2013).

Para o cálculo da contribuição dos sistemas solares térmicos (E_{solar}), recorre-se ao programa Solterm do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (Despacho n.º15793-E/2013, 2013). Contudo, segundo a Portaria n.º349-B/2013, os sistemas solares térmicos dos edifícios ficam sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, a saber:

- a) Orientação a Sul e com inclinação de 35°;
- b) Apresentação dos seguintes parâmetros geométricos, óticos e térmicos:
 - Planos com área de abertura de 0,65 m² por ocupante convencional;
 - Rendimento ótico de 73%;
 - Coeficientes de perdas térmicas $a_1=4,12$ W/ (m².K) e $a_2=0,014$ W/ (m².K²);
 - Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.

Apresenta-se na Figura 47 os dados de entrada e de saída do programa Solterm:

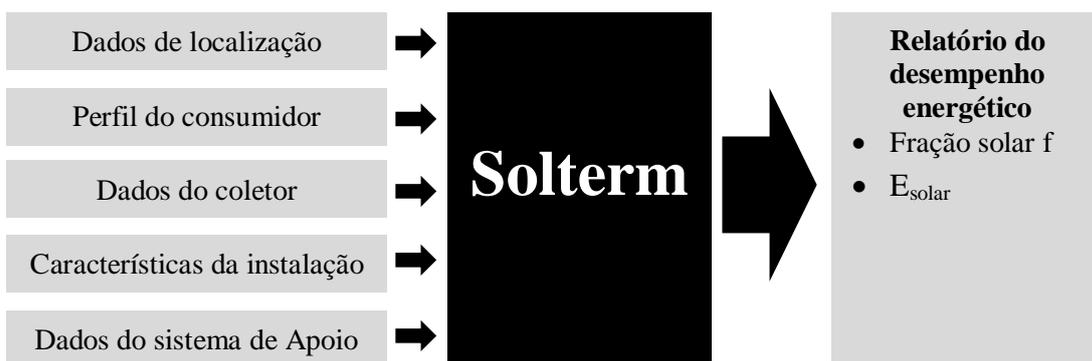


Figura 47: Modelo de funcionamento do programa Solterm

Tal como já mencionado será extraído do programa Solterm o valor do E_{solar} para posteriormente ser utilizado para calcular as necessidades energéticas de preparação das AQS. Após calculadas essas necessidades poder-se-á calcular os impactes ambientais resultantes da energia auxiliar utilizada.

5.4.2.3 Manutenção

A manutenção é um processo que não pode ser negligenciado (Ardente, Beccali, Cellura, & Brano, 2005). Segundo os autores este processo engloba a substituição de alguns componentes do sistema tais como a resistência elétrica, bomba, fluido térmico, vedação e juntas.

O fluido térmico é composto por etileno glicol, responsável pelos principais potenciais impactes ambientais durante as fases de manutenção. Este composto degrada-se ao longo do tempo, principalmente com as altas temperaturas tal como já mencionado no capítulo 3.

Os resultados obtidos por Ardente et al. (2005) mostram que os impactes correspondentes à substituição ou recarga do fluido são significativos no ciclo de vida do sistema, devendo ser substituído de 10 em 10 anos assim como as bombas de circulação (Dahlstrom, Sornes, Eriksen, & Hertwich, 2012).

Em relação aos outros materiais do sistema solar térmico Dahlstrom et al. (2012) consideram que o coletor solar, o depósito de água quente e o sistema auxiliar devem ser substituídos ao fim de 25 anos.

De forma a manter a máxima eficiência do sistema deve-se manter um programa de manutenção. A base de dados Ecoinvent já contabiliza os processos de manutenção para os sistemas solares térmicos e esta situação já é contemplada nos resultados apresentados na Tabela 6.

5.4.3 Fim de vida

Conforme a Figura 45, após o tempo de serviço do sistema solar térmico, alguns materiais serão colocados em aterros enquanto outros, como por exemplo os metais, poderão ser reciclados.

5.5 Índices de Sustentabilidade

5.5.1 Tempo de retorno energético

O tempo de retorno energético, também conhecido pelo termo em inglês *energy payback time* é normalmente utilizado para avaliar o desempenho ambiental de fontes de energia renováveis. Segundo Marimuthu e Kirubakaran (2014) o tempo de retorno energético de um sistema solar térmico corresponde ao quociente entre o consumo energético do sistema e a poupança energética resultante da sua utilização, tal como apresentado na expressão 9:

$$TR_E = \frac{E_{LCA}}{E_{economizada}} \quad (9)$$

Onde:

E_{LCA} - Energia consumida durante todas as fases do ciclo de vida do sistema solar térmico (Mj);

$E_{economizada}$ - Energia economizada com a utilização do sistema solar térmico (Mj/ano).

5.5.2 Tempo de retorno ambiental

O tempo de retorno ambiental ou o seu termo em inglês *emission payback time* define o tempo durante o qual as emissões evitadas devido ao uso de sistemas renováveis são igualadas às libertadas durante a fase de produção e utilização do sistema (Ardente, *et al.*, 2005). A maioria dos autores utiliza nos seus estudos o período de retorno das emissões de CO₂. Este período de retorno corresponde ao tempo necessário para uma medida de mitigação do CO₂ compensar o CO₂ emitido para a atmosfera durante a fase de produção (Marimuthu & Kirubakaran, 2014), tal como apresentado na expressão 10:

$$TR_A = \frac{EP_{CO_2}}{EP_{evitadas}} \quad (10)$$

Onde:

EP_{CO_2} - Emissões de CO₂ resultantes de todas as fases do ciclo de vida do sistema solar térmico (Kg);

$EP_{evitadas}$ - Corresponde às emissões de CO₂ evitadas por ano devido à utilização do sistema solar térmico (Kg/ano).

Capítulo 6 – Custos de Ciclo de Vida (LCC)

6.1 Enquadramento

A análise dos custos de ciclo de vida de sistemas solares térmicos é um assunto relativamente recente em Portugal, não existindo uma metodologia específica para estes sistemas. Assim sendo, a metodologia LCC apresentada segue os critérios estabelecidos pela *Federal Energy Management Program* (FEMP) e pelo Regulamento delegado (UE) N.º 244/2012 da Comissão Europeia que definem as regras para a avaliação da rentabilidade económica do desempenho energético de edifícios e dos seus componentes.

O primeiro passo nesta análise consiste em compreender que tipo de análise será realizada e que tipo de decisão será tomada. A escolha do período de estudo deve recair sobre a maior expectativa de vida útil das diferentes soluções analisadas, ou seja, deve-se prolongar a vida útil de qualquer sistema estudado assumindo uma substituição total ou parcial dos seus componentes de modo a que os períodos de vida de todas as alternativas sejam semelhante (Ribeiro V. , 2014).

Para a realização de um estudo à viabilidade económica dos sistemas solares térmicos é necessário contabilizar os custos de aquisição, instalação, manutenção e mão-de-obra, assim como os custos referentes à energia despendida pelos sistemas auxiliares. Nem todos os custos têm uma implicação significativa na análise económica dos sistemas, caso estes sejam equivalentes nas alternativas de projeto eles podem ser desprezados. Contudo, custos como por exemplo da energia, não podem ser ignorados pois são relevantes para a comparação entre alternativas (Ribeiro V. , 2014).

Dependendo do papel que desempenham, os custos podem tomar as seguintes definições:

- Custos de investimento;
- Custos de funcionamento;
- Custos residual.

Na Figura 48 apresenta-se sucintamente os parâmetros a serem contabilizados em cada custo supramencionado.

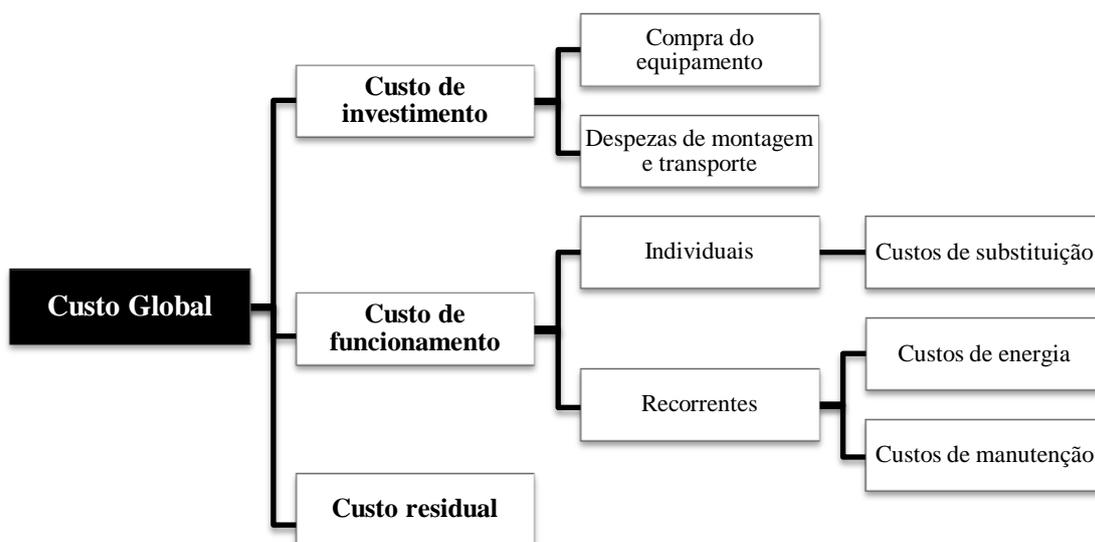


Figura 48: Ramificação do Custo Global (Ribeiro V. , 2014)

Os custos de investimento correspondem aos custos do equipamento e todos os processos relacionados com a montagem do sistema no local de funcionamento. Os custos de funcionamento incorporam a manutenção, reparação e substituição dos componentes do sistema e os custos referentes à energia utilizada ao longo do tempo de vida do sistema. Por fim, os custos residuais correspondem ao valor residual no fim do período de cálculo. Segundo os critérios da FEMP (Fuller & Petersen, 1996) a contabilização desses custos deve ser calculado através da expressão 11:

$$LCC = I + Repl + E + W + M - Res \quad (11)$$

Onde:

I - Custo de investimento inicial;

Repl - custo de substituição de capital;

E - Custos com energia;

W - custos com água;

M - Custos com manutenção e reparação;

Res - Valor Residual.

Segundo o regulamento Delegado da União Europeia nº244/2012 a fórmula dos custos globais do ciclo de vida do sistema consiste em calcular os valores dos *cash-flows* e em somá-los no momento zero, conforme a seguinte expressão:

$$C_g(\tau) = C_{Inv} + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j)] \quad (12)$$

Onde:

τ - Período de cálculo;

$C_g(\tau)$ - Custo global (relativo ao ano inicial τ 0) no período de cálculo;

C_{Inv} - Custos de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j ;

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

$V_{f,\tau}(j)$ - Valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ 0);

$R_d(i)$ - Fator de desconto para o ano i , com base na taxa de desconto r a calcular do seguinte modo:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1+r/100} \right)^p \quad (13)$$

Sendo p o número de anos a partir do período inicial e r a taxa de desconto real.

Estas duas equações utilizadas para a contabilização dos custos globais apesar de apresentarem siglas diferentes utilizam a mesma metodologia de cálculo.

6.2 Taxa de desconto real

As taxas de desconto são geralmente baseadas nas taxas de juro do mercado, ou seja, nas taxas de juro nominais. Estas geralmente servem de base para a seleção de taxas de desconto nominais, utilizadas para descontar os custos futuros expressos em valores correntes. Contudo, a taxa de desconto real necessária para o cálculo do valor monetário a valor constante não reflete a taxa de inflação. A taxa de desconto real pode ser obtida a partir da taxa de juro nominal, D , se a taxa de inflação for conhecida. Sendo um conceito semelhante ao juro, também o desconto depende do tempo. A taxa de desconto

real (r) pode ser assim calculada pela expressão 14:

$$r = \frac{1+D}{1+I} - 1 \quad (14)$$

Onde:

D - taxa de juro nominal;

I – inflação.

6.3 Relação entre valor presente e valor futuro

É necessário estabelecer um período comum de estudo para que todas as alternativas estudadas apresentem o mesmo cenário económico. Assim sendo, é fundamental estabelecer uma relação de equivalência temporal entre uma quantia monetária atual e uma quantia monetária futura. Esta relação pode ser estabelecida pela fórmula do juro composto em que o valor futuro P_n ao fim de n anos é dado por:

$$P_n = P_0 \times (1 + i)^n \quad (15)$$

Onde:

P_0 – valor presente;

i – Taxa de atualização.

No âmbito da avaliação de um projeto de investimento, a taxa de atualização é denominada de taxa de desconto real (r). O valor presente P_v pode ser expresso em termos do valor futuro F_n como se tira imediatamente da expressão 16:

$$P_v = \frac{F_n}{(1+r)^n} \quad (16)$$

A taxa de atualização representa a taxa mínima de rentabilidade exigida num projeto. Na prática costuma-se considerar que esta taxa é no mínimo igual à taxa de juro do mercado (2 a 4%).

Contudo nem sempre se está perante o mesmo fluxo financeiro, pois este depende da tendência do fluxo e da sua ocorrência no tempo. De forma a solucionar este entrave na série de fluxos deve-se escolher o fator que melhor se adequa numa análise LCC, a

saber:

- Valor presente individual (SPV)
- Valor presente uniforme (UPV)
- Valor presente uniforme modificado (crescimento associado à inflação) (UPV*)

Valor presente individual (SPV) permite comparar diferentes gastos para diferentes tempos (Figura 49):

$$P_V = F_n \times \frac{1}{(1+r)^n} \quad (17)$$



Figura 49: Ilustração esquemática do SPV (Fuller & Petersen, 1996)

Valor presente uniforme (UPV) relaciona um valor presente com a série de pagamentos uniforme e equivalente (Figura 50):

$$P_V = \frac{A_0}{(1+r)} + \frac{A_0}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A_0}{(1+r)^n} = A_0 \times \sum_{m=1}^n \frac{1}{(1+r)^m} \quad (18)$$

$$P_V = A_0 \times \frac{(1+r)^n - 1}{r \times (1+r)^n} \quad (19)$$



Figura 50: Ilustração esquemática do UPV (Fuller & Petersen, 1996)

Valor presente uniforme modificado (UPV*) é utilizado para montantes anuais recorrentes que não são uniformes ao longo do tempo, mudando de ano para ano a uma taxa conhecida (e) (Figura 51):

$$P_V = A_0 \times \frac{(1+e)}{(1+r)} + A_0 \times \frac{(1+e)^2}{(1+r)^2} + \dots + A_0 \times \frac{(1+e)^n}{(1+r)^n} = A_0 \times \sum_{m=1}^n \left(\frac{1+e}{1+r} \right)^m \quad (20)$$

$$P_V = A_0 \times \frac{1}{r-e} \times \left(1 - \left(\frac{1+e}{1+r} \right)^n \right) \quad (21)$$

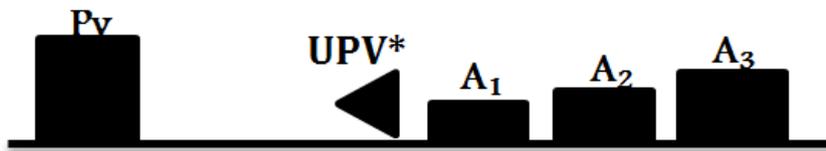


Figura 51: Ilustração esquemática do UPV* (Fuller & Petersen, 1996)

Em suma, quando se utilizam custos individuais que ocorrem em uma ou varias vezes durante o período de estudo em intervalos superiores a um ano o fator mais apropriado é o SPV. Os custos que ocorrem anualmente como o caso de custo de manutenção, energia e água, o fator mais apropriado é o UPV ou UPV*. Sendo que o UPV seria utilizado para custos recorrentes com o mesmo valor todos os anos e o UPV* para custos recorrentes com valores graduais ao longo dos anos.

6.4 Medidas Suplementares

A escolha de um projeto entre várias outras alternativas exige medidas suplementares para medição do desempenho económico de cada alternativa. Assim sendo, com o mesmo conjunto de dados introdutórios para a análise LCC é possível calcular as seguintes medidas:

- Poupança líquida - *Net Saving* (NS);
- Rácio entre poupança e investimento - *Savings to Invest Ratio* (SIR);

- Taxa interna de retorno modificada – *Adjusted internal rate of return* (TIRM);
- Período de retorno – *Payback Period* (PR).

Os métodos NS e SIR não são habitualmente usados em Portugal, pelo que não apresentam acrónimo em português, neste caso serão apresentadas com a sua denominação anglo-saxónica.

6.4.1 Poupança líquida

A poupança líquida, ou o seu termo em inglês *Net Saving* (NS), calcula o valor líquido da poupança que uma decisão de investimento espera obter durante o período de estudo. Para se calcular o NS basta efetuar a diferença entre o LCC do caso base (LCC_B) e o LCC da alternativa (LCC_A), tal como apresentado na expressão 22:

$$NS = LCC_B - LCC_A \quad (22)$$

A decisão de aceitação ou rejeição da alternativa deve ser tomada em função do valor de NS, ou seja, o projeto mais eficaz será o que tiver o maior NS.

6.4.2 Rácio entre poupança e investimento (SIR)

O SIR, em inglês *Savings to Invest Ratio*, é uma medida de desempenho económico de uma alternativa de projeto que relaciona a poupança atribuída à alternativa de projeto com os custos adicionais de investimento associados a essa alternativa. Para o cálculo do SIR utiliza-se a expressão 23:

$$SIR = \frac{\Delta E + \Delta W + \Delta M}{\Delta I_0 + \Delta Repl - \Delta Res} \quad (23)$$

Onde:

$\Delta E = E_B - E_A$ (Poupança de energia da solução alternativa);

$\Delta W = W_B - W_A$ (Poupança de água da solução alternativa);

$\Delta M = M_B - M_A$ (Poupança ou aumento dos custos de manutenção da solução alternativa);

$\Delta I_0 = I_A - I_B$ (custos adicionais de investimento requerido pela alternativa);

$\Delta Repl = Repl_A - Repl_B$ (Custos Adicionais de Reposição);

$\Delta Res = Res_A - Res_B$ (Valor adicional do valor Residual).

Em suma, uma alternativa de projeto é economicamente viável quando o SIR é maior que 1, nesse caso as poupanças são maiores que os custos de investimento.

6.4.3 Taxa interna de retorno modificada (TIRM)

Nesta técnica de avaliação económica calcula-se uma taxa de juro de modo a igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respetivos retornos futuros. A taxa interna de retorno (TIR), em inglês *Internal Rate of Return*, pode ser calculada a partir da expressão 24:

$$\sum_{n=1}^m \frac{F_n}{(1+TIR)^n} - Investimento\ Inicial = 0 \quad (24)$$

Contudo, a TIR não deve ser usada como parâmetro em uma análise de investimento porque muitas vezes os fluxos não são reinvestidos a uma taxa iguais à TIR efetiva (Eder, Meneses, Fiterman, & Tinoco, 2004). Para solucionar este problema da TIR surge o método da taxa interna de retorno modificada (TIRM), em inglês *Adjusted internal rate of return* (AIRR), mais adequada para comparação de projetos (Eder, Meneses, Fiterman, & Tinoco, 2004). Segundo os critérios da FEMP a TIRM pode ser calculada utilizando um método de cálculo simples que se relaciona com a taxa de investimento de retorno mínima aceitável e que normalmente é igual à taxa de desconto utilizada na análise LCC. Assim sendo, a TIRM pode ser calculada pela expressão 25:

$$TIRM = (1 + r) \times (SIR)^{\frac{1}{m}} - 1 \quad (25)$$

Onde,

r - taxa de investimento de retorno mínima, igual à taxa de desconto real;

m - número de anos do período de estudo;

SIR - Rácio entre poupança e investimento.

A alternativa de projeto é considerada economicamente aceitável quando o TIRM for maior que a taxa mínima aceitável.

6.4.4 Período de Retorno (PR)

Segundo os autores Duffie e Beckman (2006) o tempo de retorno, ou o seu termo em inglês *Payback Period*, pode ser definido como o tempo necessário para a energia

acumulada poupada com o sistema solar térmico igualar o total do investimento feito nesse sistema. Para estes autores (Duffie & Beckman, 2006), esta é a definição mais utilizada na prática corrente e calcula-se com recurso à expressão 26:

$$\sum_{n=1}^m \Delta E \times (1 + e)^{n-1} \geq I_0 \quad (26)$$

Onde,

I_0 - Investimento inicial do sistema solar térmico;

e - taxa de inflação da energia utilizada;

ΔE - Poupança de energia.

Resolvendo em ordem ao tempo de retorno temos a expressão 27:

$$PR = \frac{\ln\left[\frac{I_0 \times e}{\Delta E} + 1\right]}{\ln(1+e)} \quad (27)$$

O Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013 também define uma metodologia de apuramento da viabilidade económica, contudo não são considerados os efeitos da inflação nos custos da energia. Segundo este, as medidas de eficiência energética são de implementação obrigatória quando se demonstre que:

- a) Não existem evidentes constrangimentos ou limitações técnicas, legais ou administrativas à instalação;
- b) O período de retorno simples (PRS) seja igual ou inferior a 8 anos.

O valor do PRS é dado pela expressão $PRS=C/P$ onde, C corresponde à totalidade dos custos de investimento e P poupança anual resultante da aplicação da medida em estudo, sendo determinado com base em simulações anuais, detalhadas do funcionamento do edifício e seus sistemas técnicos ou por cálculo anual simples (Regulamento delegado (UE) N.º 244/2012, 2012).

Para a presente metodologia desenvolvida neste trabalho foram consideradas a metodologia LCC segundo os critérios estabelecidos pela *Federal Energy Management Program* (FEMP) e o processo de cálculo dos autores Duffie e Beckman (2006).

Mais se refere que os valores referentes aos custos da eletricidade e do gás natural têm

como fonte os valores médios do Eurostat (EUROSTAT, Preço da Eletricidade para consumo doméstico, 2013; EUROSTAT, Preço do gás para consumo doméstico, 2013). Ao passo que os valores do gás propano e butano foram retirados da Deco Pro Teste (DECO Pro Teste, 2014).

PARTE IV

Apresentação do programa desenvolvido e aplicação prática

Capítulo 7 – Desenvolvimento do programa informático para Avaliação do ciclo de vida de sistemas solares térmicos

7.1 Enquadramento

Neste capítulo apresenta-se a estrutura e modo de funcionamento do programa desenvolvido de Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos. Para uma acessível perceção do programa será apresentado no capítulo seguinte uma aplicação prática a um caso de estudo.

De encontro com a metodologia explanada no capítulo anterior, este programa aplica os conceitos e procedimentos de cálculo desenvolvidos nessa metodologia, minimizando o tempo e o esforço que seria necessário para uma resolução manual. O objetivo deste programa é cativar os projetistas para um cenário sustentável, oferecendo-lhes uma ferramenta capaz de aliar a análise ambiental à análise económica.

7.2 Manual de utilização do programa

O programa informático apresentado foi desenvolvido através da linguagem de programação Visual Basic. Este programa permite realizar uma análise ambiental e económica de um sistema solar térmico aplicado a um edifício habitacional de forma rápida e pormenorizada. Devido à complexidade da natureza do programa, recorreu-se a uma representação esquemática para explicar o funcionamento base do programa (Figura 52).

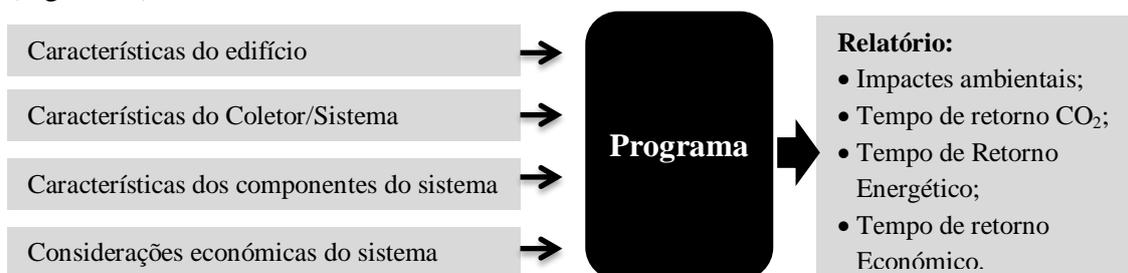


Figura 52: Fluxo de informação do programa desenvolvido

A Figura 52 apresenta o fluxo de informação deste os “inputs” até aos “outputs” do programa. Torna-se perceptível que o programa foi desenhado tendo em conta uma base de conhecimento da utilização de sistemas solares térmicos por parte dos utilizadores do programa.

O programa encontra-se dividido em cinco partes. A primeira parte designa-se por Edifício e corresponde à descrição do edifício em estudo. Nesta parte são introduzidas informações referentes ao tempo de vida útil e tipologia do edifício e alguns requisitos da legislação em vigor. Na segunda parte, denominada de Sistemas solares térmicos, são requeridas informações referentes ao sistema solar térmico em questão. Na terceira e na quarta parte apresenta-se os resultados ambientais e económicos do sistema solar térmico utilizado. Por fim, a quinta parte, designada de relatório final, apresenta o resumo dos resultados obtidos e ilustra graficamente os índices de sustentabilidade gerados pelo programa.

Após esta pequena síntese do conteúdo do programa, procedesse à explicação detalhada do desenvolvimento do programa.

O primeiro contacto que o utilizador tem com o programa corresponde ao formulário de inicialização (Figura 53). Para prosseguir com a simulação o utilizador tem de pressionar o botão “Sistema Solar Térmico”.



Figura 53: Janela "Iniciar"

Após a introdução do programa surge o primeiro formulário de preenchimento para posterior formulação dos resultados. Na Figura 54 apresenta-se duas áreas de trabalho distintas. A área A designa-se por área operacional, na qual o utilizador seleciona o módulo de trabalho. Esta área de trabalho começa com os separadores de introdução de dados e termina nos separadores de resultados. Por defeito o programa inicia no separador “Edifício”, note-se que o utilizador deve começar sempre por esse separador e comutar para os separadores seguintes assim que preencher toda a informação pedida pelo programa. A área B, designada por área de trabalho, é o local onde o utilizador introduz os dados requeridos. Em caso de dúvidas o utilizador pode sempre consultar o manual (Figura 55) utilizando o botão “Manual” no canto superior direito da Figura 54.

No primeiro separador (“Edifício”) o utilizador terá de especificar algumas características do edifício em estudo tais como, a localização, o tempo de serviço, tipologia e tipo de edifício, temperatura de consumo e alguns requisitos impostos pelo REH. Note-se que o campo “nº de ocupantes” é de preenchimento automático em função da tipologia do edifício.

Em caso de dúvidas no preenchimento dos campos ligados à legislação e à temperatura o utilizador pode utilizar o botão  que esclarece o utilizador sobre o conteúdo pedido (Figura 56 e Figura 57).

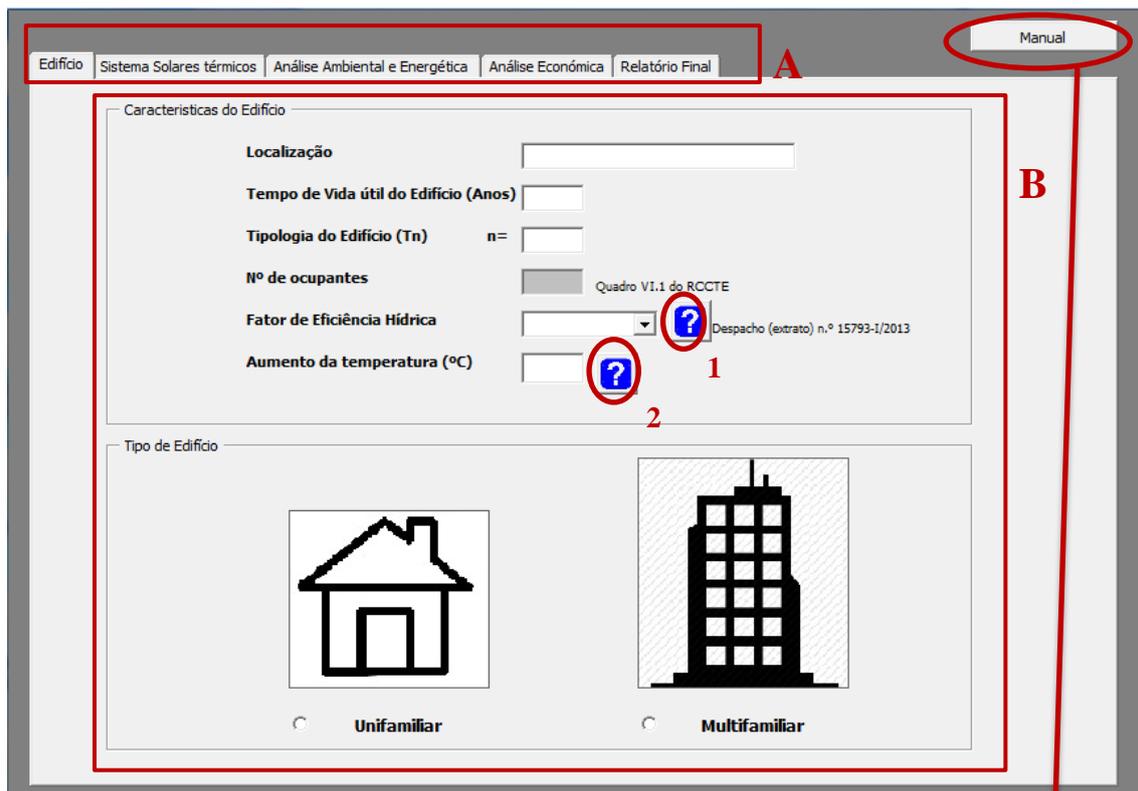


Figura 54: Primeiro separador do programa (Edifício)

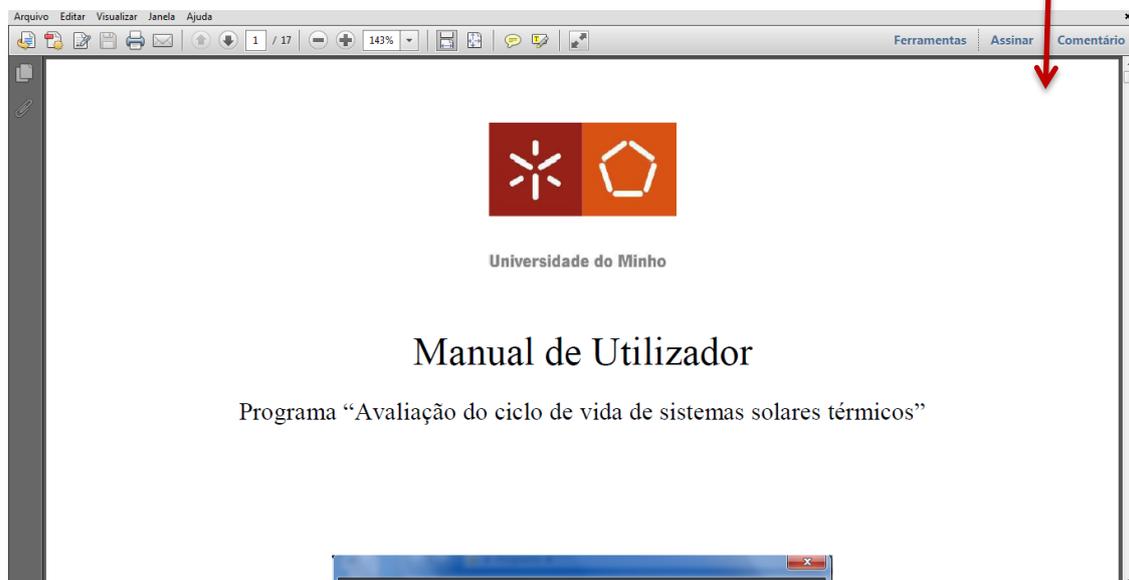


Figura 55: Manual de utilizador

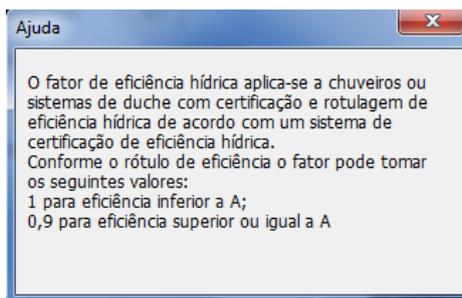


Figura 56: Ajuda 1: Fator de eficiência hídrica

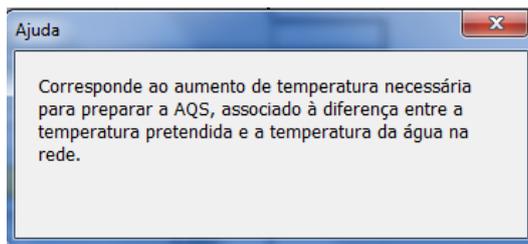


Figura 57: Ajuda 2: Variação da temperatura

No separador seguinte (Figura 58) o utilizador tem de especificar o sistema solar utilizado, introduzindo informação referente ao tipo de circulação, área, quantidade de coletores, E_{solar} (retirado do programa Solterm), tipo de coletor (coletor plano ou tubos de vácuo) e a marca do coletor. As opções apresentadas para a marca do coletor correspondem a marcas certificadas. Esta informação, juntamente com a informação referente à capacidade do depósito de acumulação, será posteriormente utilizada pelo programa para gerar um custo aproximado do sistema solar térmico selecionado. É também necessário introduzir informação referente ao sistema auxiliar. Nesta “*ComboBox*” apresenta-se uma lista de possibilidades que englobam as seguintes fontes: “energia elétrica”, “gás butano”, “gás propano”, “gás natural” e “bomba de calor”. Se o sistema auxiliar utilizado corresponder a uma bomba de calor o utilizador deve preencher o campo “COP”, caso o sistema auxiliar utilize uma das outras fontes propostas, o utilizador terá de introduzir no campo “eficiência do sistema auxiliar” a eficiência do sistema utilizado. Para prosseguir com a simulação o utilizador deve premir o botão “Necessidades de AQS” para obter os valores referentes à energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Q_a) e às necessidades energéticas de preparação de AQS que serão repostas pelo sistema auxiliar ($Naqs$). Estes valores são posteriormente utilizados pelo programa para gerar uma análise ambiental e económica do sistema solar térmico selecionado.

Figura 58: Separador “Sistemas Solares Térmicos”

Acabada a principal fase de introdução de valores, segue-se a fase de avaliação dos impactes ambientais. Nesta fase apresenta-se os impactes ambientais separados pelas etapas do ciclo de vida do sistema solar térmico (Figura 59). Quando o utilizador passa para este separador, parte dele já se encontrará preenchido face à informação introduzida no primeiro separador. O utilizador deve então pressionar o botão “calcular” de forma a obter os impactes totais do sistema solar térmico, os impactes do sistema tendo em consideração o tempo de serviço do edifício e por fim os índices de sustentabilidade (tempo de retorno do CO₂ e o tempo de retorno energético). Todos os processos de cálculo dos impactes e dos índices de sustentabilidade já se encontram detalhadas no Capítulo 5, pelo que não serão apresentados neste capítulo.

Caso o utilizador queira introduzir os impactes manualmente, este deve premir o botão “Inserir Impactes manualmente”. Surgindo uma janela (Figura 60) que questionará o utilizador sobre a sua decisão.

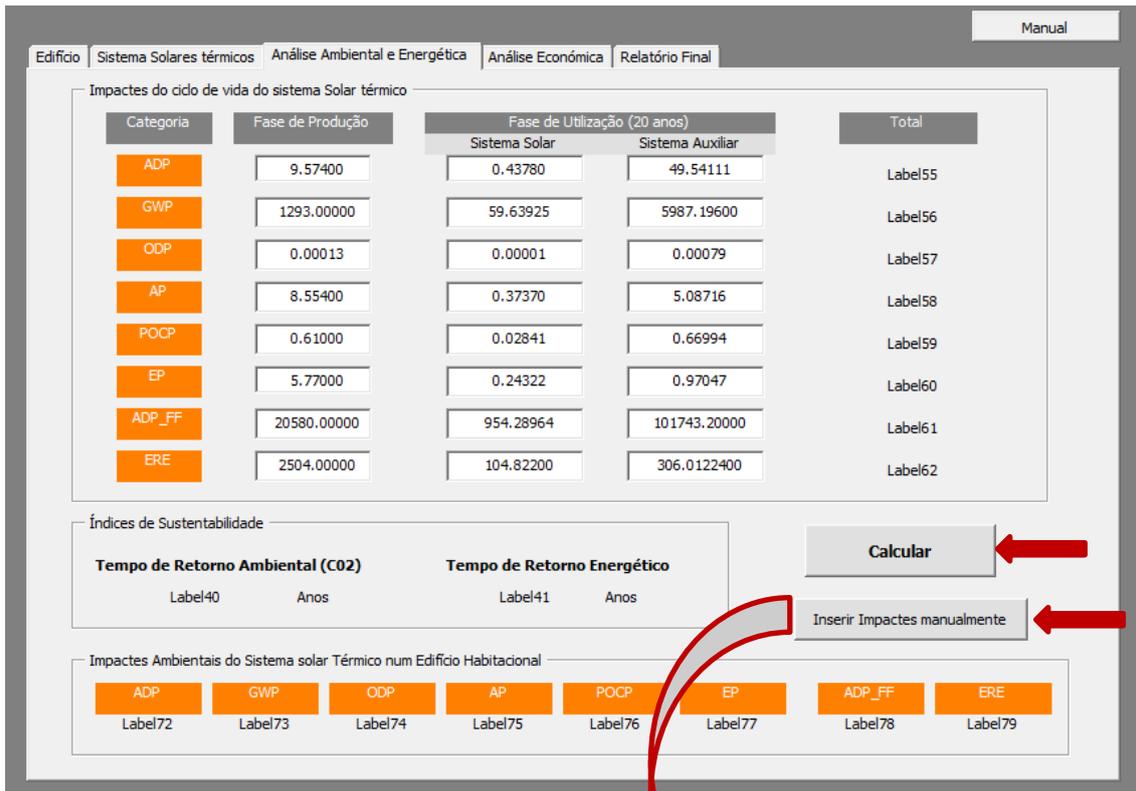


Figura 59: Separador "Análise Ambiental e Energética"

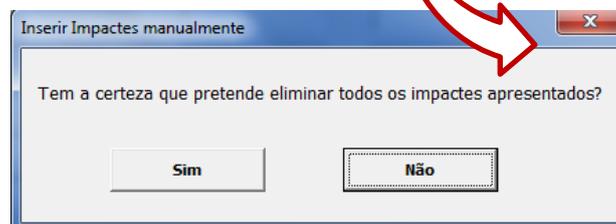


Figura 60: Janela de confirmação

Após a aceitação, o utilizador pode introduzir os impactes e pressionar o botão "Calcular". Para os utilizadores que pretendam alterar os impactes propostos pelo programa segue no Anexo IV uma lista auxiliar de impactes ambientais de alguns componentes do sistema solar térmico retirados do programa SimaPro.

O penúltimo separador (Figura 61) corresponde à análise económica onde é necessário introduzir dados referentes aos custos de investimento inicial, manutenção, reparação e valor residual.

Edifício | Sistema Solares térmicos | Análise Ambiental e Energética | **Análise Económica** | Relatório Final

Manual

Dados técnicos

Taxa de desconto (%)  Valor de Reparação (€)

Taxa de Atualização Energia (%) Ano da reparação (1-20)

Preço da Energia (€/KWh) Valor Residual (€) 

Valores médios(Eurostat e Deco) Investimento Inicial(€) Usar base de dados

Base de dados para residências unifamiliares

Vida útil do Sistema (15-20 anos)

Plano de Manutenção Na totalidade pelo Técnico Técnico apenas nas substituições Outros

Plano Anual de Custos de Manutenção

Anos																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

Medidas Económicas

LCC Sistema Solar térmico (€) Label35

Tempo de Retorno (anos) Label39

Sir(>1) Label37

TIRM(%) Label38

NS(€) Label130

Calcular

Avaliação

Label29

Figura 61: Separador "Análise Económica"

O valor correspondente à reparação consiste num custo de uma possível avaria num determinado ano do tempo de vida do sistema, que não entre nos custos de manutenção e que o utilizador tenha conhecimento de tal informação. Caso não exista informação do valor de reparação e/ou do valor residual o utilizador deve colocar zero.

O utilizador é livre de escolher a taxa de desconto real, a taxa de inflação e o tempo de vida do sistema, contudo este pode recorrer às recomendações do programa pressionando o botão  (Figura 61). O mesmo acontece com o custo da energia que já aparece preenchido pelo programa em função do sistema auxiliar utilizado. Os custos da energia correspondem a valores médios retirados do EUROSTAT e Deco Pro Teste.

Para os custos de manutenção são apresentados dois planos de manutenção. Estes planos foram extraídos do estudo económico de manutenção de um sistema solar térmico realizado por Castiajo (2012) e podem ser consultados no Anexo V. Apesar de este estudo não considerar a taxa de desconto nem a taxa de inflação da energia, o programa já realiza essa contabilização. Segundo Castiajo (2012) o primeiro plano inclui os preços do contrato de manutenção durante os primeiros 6 anos de serviço do equipamento. Terminados os seis anos de contrato obrigatório, contabilizou-se para os 14 anos seguintes os custos relativos às intervenções da equipa técnica. Estas

intervenções englobaram os custos de deslocação, inspeção, limpeza, medidas de substituição, medidas corretivas e medidas pós-ativas. Este plano de manutenção encontra-se no programa e pode ser acedido pelo utilizador através da seleção do plano “Na totalidade pelo Técnico”, tal como apresentado na Figura 62.

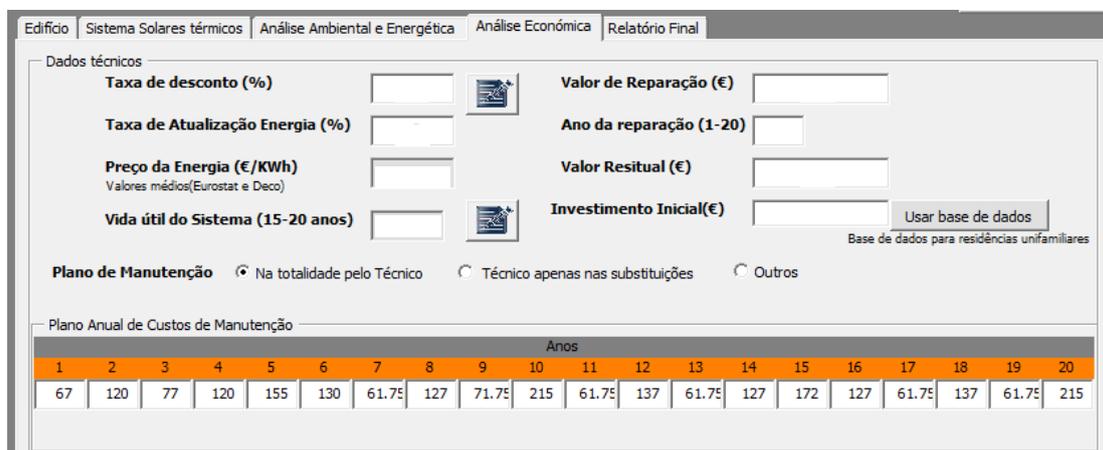


Figura 62: Plano de Manutenção - opção 1

Para o segundo plano foram incluídos os preços do contrato de manutenção durante os primeiros 6 anos de serviço do equipamento, após esse período, contabilizou-se os custos relativos às intervenções técnicas na base das medidas de substituição de acessórios, ficando o utilizador com as tarefas banais de limpeza, inspeção visual, lubrificação e acréscimo de fluido térmico (Castiajo, 2012). Este plano de manutenção encontra-se no programa e pode ser acedido pelo utilizador através da seleção do plano “Técnico apenas nas substituições”, tal como apresentado na Figura 63.

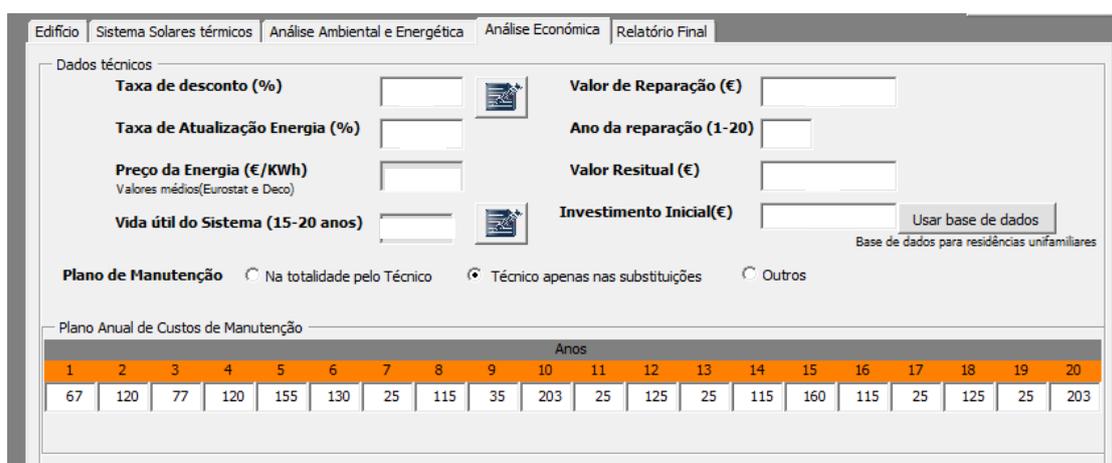


Figura 63: Plano de Manutenção - opção 2

Uma terceira opção é apresentada caso o utilizador queira introduzir manualmente os custos. Nesse caso o utilizador deve seleccionar o plano “Outros”, tal como apresentado

na Figura 64 e substituir os zeros pelos valores apropriados em função do tempo de vida útil escolhido para o sistema solar térmico.

Dados técnicos

Taxa de desconto (%)

Taxa de Atualização Energia (%)

Preço da Energia (€/KWh)
Valores médios(Eurostat e Deco)

Vida útil do Sistema (15-20 anos)

Valor de Reparação (€)

Ano da reparação (1-20)

Valor Residual (€)

Investimento Inicial(€)

Usar base de dados
Base de dados para residências unifamiliares

Plano de Manutenção Na totalidade pelo Técnico Técnico apenas nas substituições Outros

Plano Anual de Custos de Manutenção

Anos																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 64: Plano de Manutenção - opção 3

Relativamente aos custos de investimento, estes podem ser introduzidos manualmente pelo utilizador ou através da base de dados do programa (Figura 61). Para isso será necessário que o campo “marca do coletor”, “Tipo de sistema” e “Capacidade do depósito” da aba “Sistema Solar Térmico” estejam preenchidos. Esta base de dados dos custos de investimento (Anexo V) tem como base o quadro comparativo de produtos para 55 marcas certificadas realizado pela Solar Keymark em 2009 que posteriormente já sofreu algumas atualizações em algumas marcas, apesar de ainda não ser uma atualização uníssona. Outra limitação desta base de dados resulta da sua aplicabilidade apenas a residências unifamiliares, pois apenas integra informação de custos para sistemas com um ou dois coletores em função da capacidade do depósito e tipo de sistema. A mais-valia destes dados define-se pelo facto de proporcionar uma média do custo esperado para situações correntes em habitações unifamiliares.

Definidos todos estes parâmetros o utilizador pode proceder ao cálculo das medidas económicas através do botão “Calcular”. O programa apresenta os cálculos dos custos de ciclo de vida do sistema solar térmico em estudo (LCC), o rácio entre poupança e investimento (SIR), a taxa interna de retorno modificada (TIRM), Poupança líquida (NS) e o tempo de retorno económico (TR). Todas estas medidas já se encontram detalhadas no Capítulo 6, não se realizando no presente capítulo a repetição dessa informação. Para finalizar esta fase o programa apresenta uma apreciação da viabilidade económica do sistema solar escolhido em função das medidas económicas apresentadas.

The screenshot shows the 'Análise Económica' (Economic Analysis) tab of a software interface. It includes several input fields for technical data, a table for annual maintenance costs, and a summary of economic measures. A red arrow points to the 'Calcular' (Calculate) button, and a red box highlights the evaluation result.

Dados técnicos

Taxa de desconto (%) Valor de Reparação (€)
 Taxa de Atualização Energia (%) Ano da reparação (1-20)
 Preço da Energia (€/KWh) Valor Residual (€)
Valores médios(Eurostat e Deco)
 Vida útil do Sistema (15-20 anos) Investimento Inicial(€)
Base de dados para residências unifamiliares

Plano de Manutenção Na totalidade pelo Técnico Técnico apenas nas substituições Outros

Plano Anual de Custos de Manutenção

Anos																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
67	120	77	120	155	130	25	115	35	203	25	125	25	115	160	115	25	125	25	203

Medidas Económicas

LCC Sistema Solar térmico (€) 7592,41
 Tempo de Retorno (anos) 7,65
 Sir(>1) 1,67
 TIRM(%) 2,66
 NS(€) 1963,76

Avaliação
 Solução economicamente viável

Figura 65: Exemplo de preenchimento do separador "Análise Económica"

O último separador do programa (Figura 66) apresenta o relatório resumo do sistema solar térmico selecionado. O programa permite a visualização gráfica dos tempos de retorno calculados nas abas anteriores, bastando para isso premir o botão “Ver Gráficos” (Figura 66). Esta janela apesar de ser um acréscimo de informação é bastante vantajosa pois proporcionando uma visualização dinâmica dos resultados de uma forma bastante simples (Figura 67 e Figura 68). Caso o utilizador pretenda imprimir o relatório final, este apenas terá que pressionar o botão “Imprimir Relatório” (Figura 66). Aconselha-se o utilizador a intitular o relatório no canto superior esquerdo da aba “Relatório Final” (Figura 66). Um exemplo desse relatório final pode ser consultado no Anexo VI.

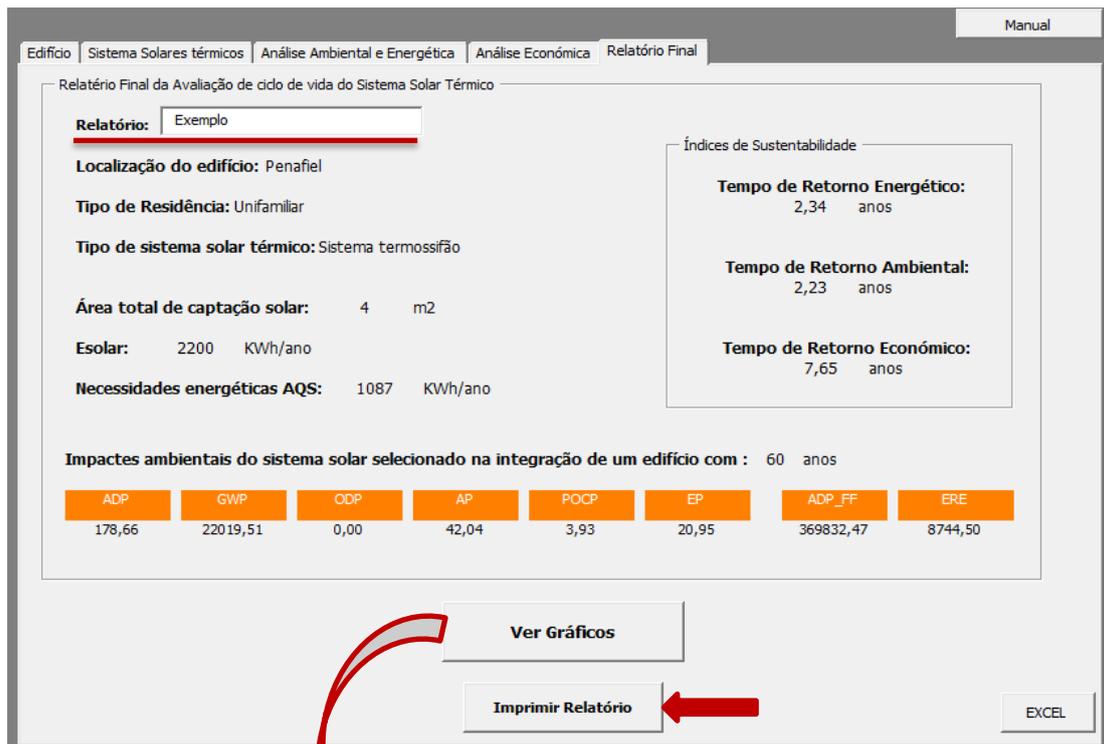


Figura 66: Separador "Relatório Final"



Figura 67: Janela "Tempo de Retorno Económico"

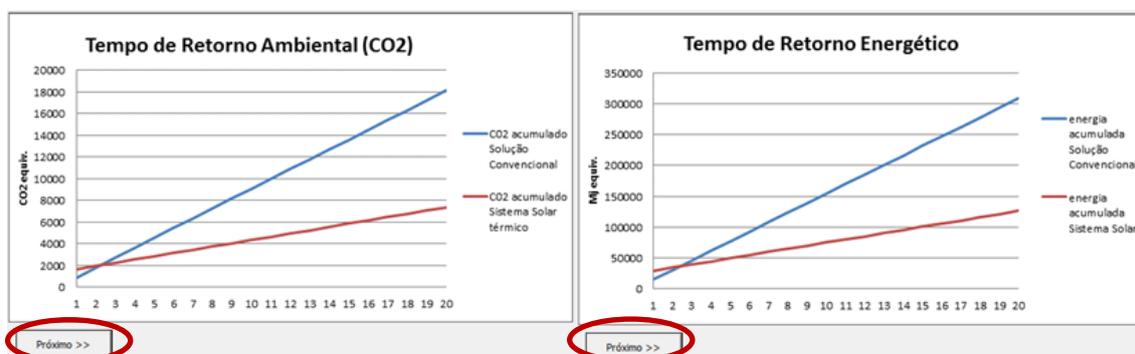


Figura 68: Janelas "Tempo de retorno do CO₂" e "Tempo de retorno Energético"

O programa desenvolvido pode ser aplicado a uma série de alternativas de projeto com base numa série de combinações em função do tipo e número de coletores utilizados, da tipologia do edifício e do sistema solar selecionado e da energia auxiliar. Apresenta-se na Tabela 9 e na Tabela 10 os vários sistemas que podem ser simulados com o programa apresentado.

Tabela 9: Sistemas solares do programa desenvolvido (Parte I)

Sistemas contemplados no programa (Parte I)	
Residência Unifamiliar	Residência Multifamiliar
Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar a gás butano	Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar a gás butano
Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar a gás propano	Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar a gás propano
Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar a gás natural	Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar a gás natural
Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar elétrico	Sistema de circulação forçada, com coletores planos e sistema auxiliar elétrico
Sistema de circulação forçada, com coletores planos e bomba de calor	Sistema de circulação forçada, com coletores planos e bomba de calor
Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás butano	Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás butano
Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás propano	Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás propano
Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás natural	Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás natural
Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar elétrico	Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e sistema auxiliar elétrico
Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e bomba de calor	Sistema de circulação forçada, com tubos de vácuo e bomba de calor

Tabela 10: Sistemas solares do programa desenvolvido (Parte II)

Sistemas contemplados no programa (Parte II)	
Residência Unifamiliar	Residência Multifamiliar
Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar a gás butano	Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar a gás butano
Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar a gás propano	Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar a gás propano
Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar a gás natural	Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar a gás natural
Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar elétrico	Sistema Termossifão, com coletores planos e sistema auxiliar elétrico
Sistema Termossifão, com coletores planos e bomba de calor	Sistema Termossifão, com coletores planos e bomba de calor
Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás butano	Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás butano
Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás propano	Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás propano
Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás natural	Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar a gás natural
Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar elétrico	Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e sistema auxiliar elétrico
Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e bomba de calor	Sistema Termossifão, com tubos de vácuo e bomba de calor

Um exemplo prático deste programa pode ser consultado no capítulo 8 desta dissertação, onde é detalhado o preenchimento dos campos do programa para um sistema solar térmico de circulação forçada com coletores planos e bomba de calor.

Capítulo 8 – Caso de Estudo

8.1 Descrição do caso de estudo

Para demonstrar a metodologia e o programa elaborado recorreu-se à sua aplicação prática através de um caso de estudo. Este incide sobre uma moradia unifamiliar T3, localizada em Galegos, no concelho de Penafiel. A arquitetura do edifício encontra-se detalhada na Figura 69. O objetivo do estudo será realizar uma análise ambiental e económica do sistema solar térmico que melhor se adapta ao edifício em questão.

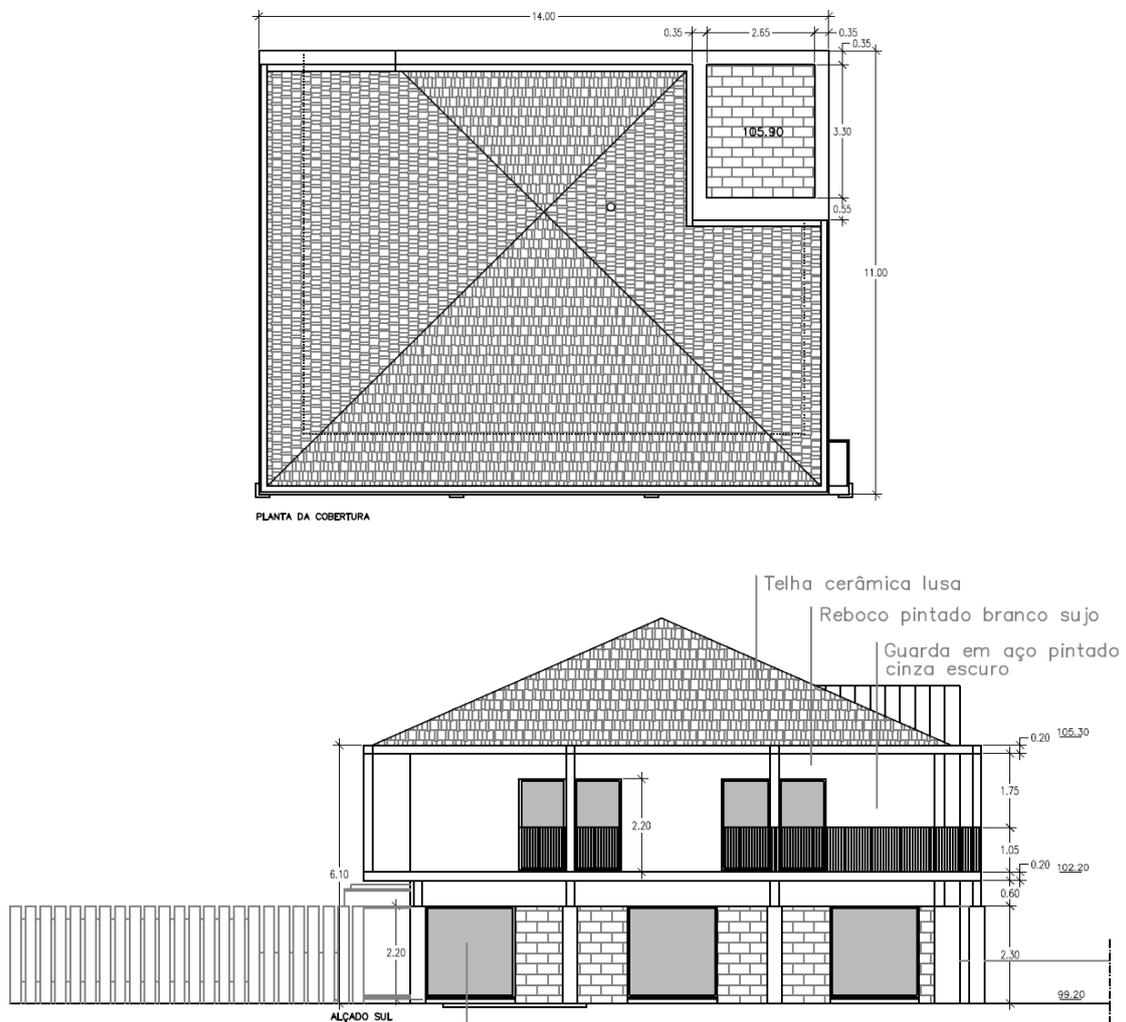


Figura 69: Planta da Cobertura e alçado Sul do edifício em estudo

Numa primeira abordagem ao caso de estudo analisou-se a sua exposição solar, constatando-se que a cobertura do edifício permitia a instalação de coletores com orientação a sul. De forma a obter uma solução estética, considerou-se numa primeira

fase que a inclinação dos coletores seria a mesma que a inclinação do telhado, ou seja, 24° e que numa segunda fase essa inclinação seria otimizada.

A primeira escolha do sistema solar térmico utilizado teve por base um sistema solar da marca Vulcano com coletores solares da gama PremiumSun FKT-2. Como sistema auxiliar considerou-se a utilização de uma bomba de calor também da marca Vulcano. Este sistema solar foi considerado a solução de referência, tendo as restantes soluções apresentadas a responsabilidade de serem igual ou melhor que a solução de referência a um nível ambiental e económico. A seleção dessas soluções teve como base o custo de investimento dos sistemas mais usuais do mercado de forma a encontrar a solução menos dispendiosa. A energia utilizada corresponde à eletricidade e gás butano de garrafa, visto não existir gás natural nas imediações do edifício.

Todos estes sistemas cumprem os requisitos mínimos para os coletores solares impostos no REH (Anexo III). A Tabela 11 apresenta as características e pressupostos dessas soluções.

Tabela 11: Dados e pressupostos das soluções propostas

Dados e Pressupostos de Estudo					
	Solução Referência	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Localização	Penafiel	Penafiel	Penafiel	Penafiel	Penafiel
Orientação dos Coletores	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul
Inclinação dos coletores	24°	24°	24°	24°	24°
Marca de coletores	Vulcano	Vulcano	Vulcano	Vulcano	Rinsun
Modelo do coletor/sistema	FKT-2S	FKB	FA (2) FKB	FCC-2S	CS 300/4.10
Tipo de Sistema Solar Térmico	Circulação Forçada	Circulação Forçada	Termossifão	Termossifão	Termossifão
Preço do sistema solar	4.987,00 €	4.336,00 €	3.186,00 €	2.743,00 €	2.583,00 €
Tipo de sistema auxiliar	Bomba de calor	Caldeira mural	Resistência elétrica	Resistência elétrica	Resistência elétrica
Energia Sistema auxiliar	Eletricidade	Gás butano	Eletricidade	Eletricidade	Eletricidade
Volume do depósito (L)	300	300	300	300	300

Conforme a tipologia do edifício, o consumo de águas quentes sanitárias será dimensionado para quatro habitantes permanentes, com um consumo diário de 40 l/hab.dia a uma temperatura de 60°C. Segundo o Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) a energia útil anual despendida para a

preparação de AQS é calculada recorrendo à expressão 28:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta_T \times \eta_d}{3600000} = 3056,51 \text{ KWh/ano} \quad (28)$$

Em que:

$$M_{AQS} = 40 \times 4 \times 1 = 160\text{L/dia} \quad (29)$$

$$\Delta_T = 45^\circ\text{C}$$

$$\eta_d = 365 \text{ dias}$$

8.2 Simulação

Com base nos dados já conhecidos pode-se avançar para a estimativa da energia mínima de referência que o sistema solar térmico deverá ser capaz de produzir. Tal como já mencionado na metodologia proposta, recorre-se agora ao programa Solterm. As simulações seguintes foram realizadas pela versão 5.1.3 do SolTerm. Para efeitos de resultados finais, apresenta-se a título de exemplo o processo de cálculo para a solução de referência.

A primeira etapa do programa SolTerm consiste por definir a localização do edifício (Figura 70), prosseguindo-se para a caracterização do sombreamento e de outros detalhes afetos à localização dos coletores. No presente caso de estudo manteve-se a definição “por defeito” que supõe não existe sombreamento significativo sobre os coletores.

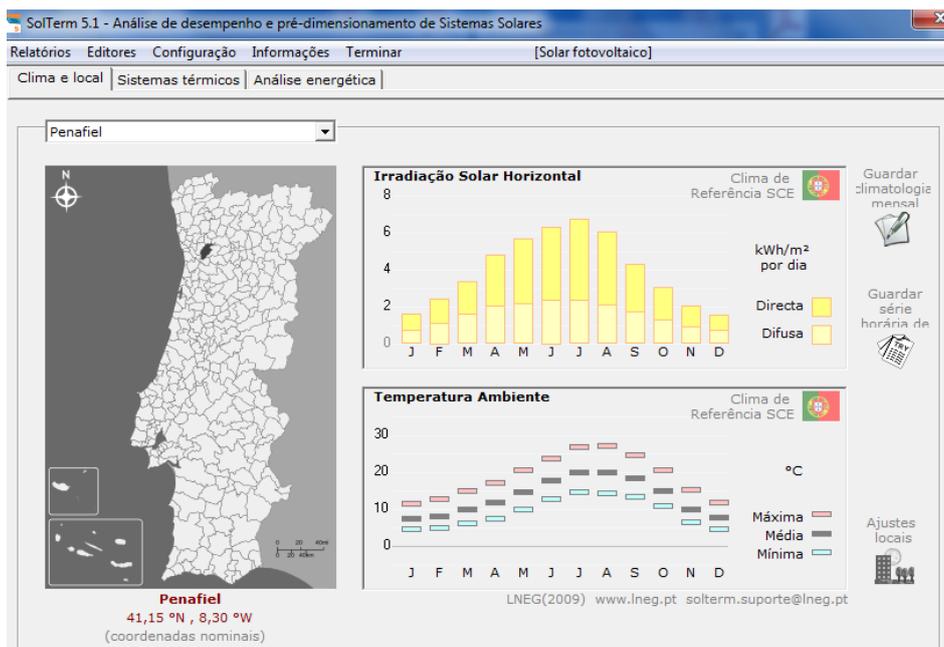


Figura 70: SolTerm 5.1.3, localização do caso de estudo

A segunda etapa caracteriza-se pela identificação de todos os componentes que constituem o sistema solar térmico (Figura 71). Assim, define-se os coletores e a sua inclinação, as características das tubagens, o tipo de depósito, o sistema de apoio e por fim o consumo da habitação segundo os cálculos supramencionados.

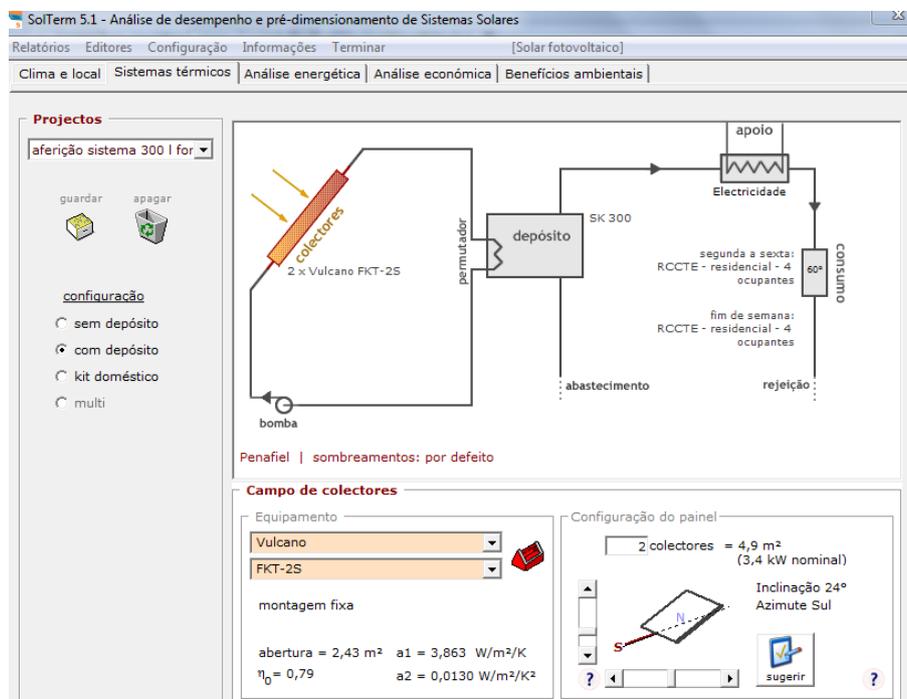


Figura 71: SolTerm 5.3.1, caracterização do sistema solar

Recorrendo à análise energética do programa obteve-se o desempenho do sistema térmico ao longo do ano (Figura 72). Consta-se que com a implementação deste sistema, seriam produzidos cerca de 2434 KWh/ano, resultando numa fração solar³ média de 79,7%.

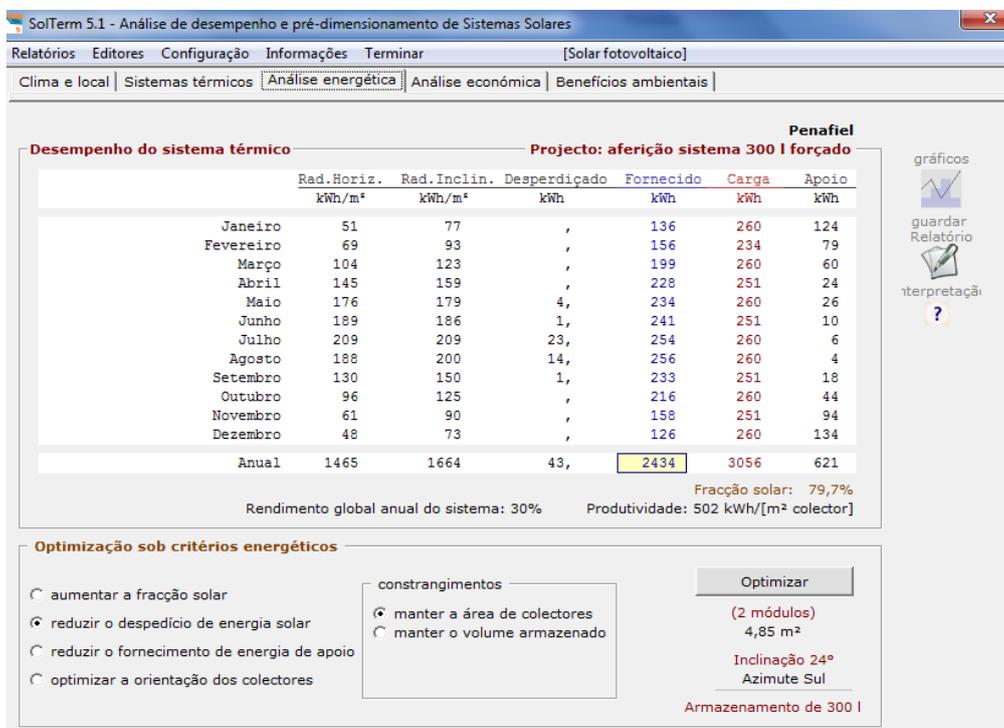


Figura 72: SolTerm 5.3.1, desempenho do sistema solar

Com os resultados obtidos do programa SolTerm gerou-se o Gráfico 3 que apresenta a fração solar e a energia fornecida pelo sistema ao longo dos meses do ano. De uma forma geral constata-se que a fração solar é maior nos meses em que o Esolar também o é, ou seja, nesses meses a energia fornecida pelo sistema solar aproxima-se da energia útil despendida para preparação de AQS (carga), tal como apresentado no Gráfico 4.

³ Percentagem de energia fornecida pelo sistema solar, face à total necessária, para a preparação de AQS

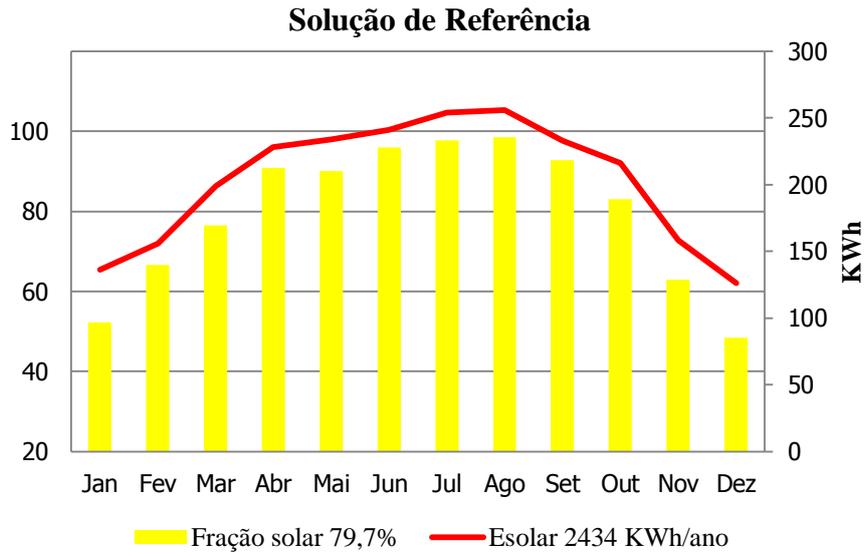


Gráfico 3: Solução de Referência, fração solar e Esolar

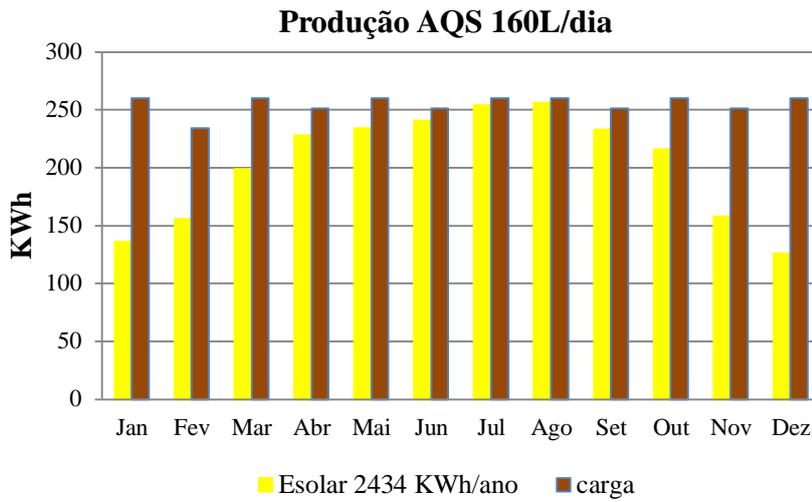


Gráfico 4: Solução de Referência, produção de AQS

Realizou-se o mesmo procedimento de simulação para as restantes soluções e obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 12: Desempenho dos Sistemas (SolTerm 5.3.1)

Estimativa de Desempenho através do Programa Solterm					
Estimativa de desempenho do sistema solar proposto					
	Solução Referencia	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Tipo de sistema	Circulação forçada	Circulação forçada	Termossifão	Termossifão	Termossifão
Marca	Vulcano	Vulcano	Vulcano	Vulcano	Rinsun
Energia auxiliar	Bomba de calor (COP=4,3)	Caldeira gás butano (n=93,6)	Resistência elétrica (n=93)	Resistência elétrica (n=93)	Resistência elétrica (n=93)
Nº de coletores	2	2	2	2	2
Modelo	FKT-2S	FKB	FA (2) FKB	FCC-2S	CS 300/4.10
Área total de captação solar (m²)	4,9	4,5	4,5	3,9	3,5
Inclinação (°)	24°	24°	24°	24°	24°
ESolar (KWh/ano)	2434	2090	2358	2173	1954
Fração solar (%)	79,7	68,4	77,2	71,1	63,9
Produtividade (KWh/[m² coletor])	502	462	529	557	553
Necessidades energéticas em função do sistema auxiliar					
Energia (KWh/ano)	145	1176	929	1114	1333

Analisando a Tabela 12 constata-se que o sistema com necessidades energéticas menores corresponde à solução de referência, apresentando um valor menor que as restantes soluções pelo facto de utilizar uma bomba de calor como sistema auxiliar. A bomba de calor consome 1KWh e produz 4 KWh (COP) logo a quantidade de energia retirada da rede será menor em comparação com outro sistema a eletricidade. Assim sendo na tabela apenas está representada a energia que o sistema auxiliar terá de produzir para satisfazer o utilizador quando o sistema solar térmico não consegue.

A etapa final deste estudo resulta da utilização do programa desenvolvido e apresentado no Capítulo 7. De seguida apresenta-se os vários separadores que constituem o programa preenchidos para a simulação da solução de referência. Como os passos para as restantes soluções são análogos à de referência, não se considerou necessário apresentar essa informação neste capítulo.

No seguimento do caso prático, introduz-se a informação referente à localização do edifício, Penafiel, 60 anos de vida útil, Residência Unifamiliar T3 e os requisitos

impostos pelo REH, que neste caso tomam o valor de 1 para o fator de eficiência hídrica e de 45°C para a variação da temperatura (Figura 73).

The image shows a software interface for building characteristics. At the top, there are tabs: 'Edifício', 'Sistema Solares térmicos', 'Análise Ambiental e Energética', 'Análise Económica', and 'Relatório Final'. A 'Manual' button is in the top right corner. The main area is titled 'Características do Edifício' and contains the following fields:

- Localização:** Text box containing 'Penafiel'.
- Tempo de Vida útil do Edifício (Anos):** Text box containing '60'.
- Tipologia do Edifício (Tn):** Text box containing 'n=' followed by a text box with '3'.
- Nº de ocupantes:** Text box containing '4' with a reference 'Quadro VI.1.1 do RCCTE'.
- Fator de Eficiência Hídrica:** A dropdown menu set to '1' and a help icon with the text 'Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013'.
- Aumento da temperatura (°C):** Text box containing '45' and a help icon.

Below this section is the 'Tipo de Edifício' section, which has two radio button options with corresponding icons:

- Unifamiliar:** Represented by a house icon. This option is selected.
- Multifamiliar:** Represented by a multi-story building icon.

Figura 73: Preenchimento do separador "Edifício"

No segundo separador (Figura 74) selecionou-se o sistema de circulação forçada, definiu-se a marca e o tipo de coletor, ou seja, Vulcano e coletor plano, a área de um coletor e o número de coletores e o Esolar retirado do programa SolTerm. Posteriormente procedeu-se ao preenchimento das características dos componentes do sistema. Neste caso, optou-se por uma bomba de calor com um COP de 4.3 (valor extraído do catálogo da Vulcano). Para a capacidade do depósito de acumulação considerou-se 300L tal como já considerado na simulação no SolTerm. Por fim, obtiveram-se as necessidades de AQS.

Edifício Sistema Solares térmicos Análise Ambiental e Energética Análise Económica Relatório Final Manual

Tipo de sistema solar térmico

Terrossifão Circulação Forçada

Características do coletor solar

Marca do Coletor: Vulcano

Tipo de Coletor Solar: coletor plano

Área de abertura do coletor (m2): 2.43

Número de coletores: 2

Esolar (KWh/ano): 2434

Características dos componentes do sistema

Energia Sistema Auxiliar: Bomba de calor

Eficiência Sistema Auxiliar (%):

COP (Bomba de Calor): 4.3

Capacidade do depósito (L): 300

Calcular Necessidades AQS

Resultados

Qa: 3057 Naqs: 145 Área Total (m2): 4.86

Figura 74: Preenchimento do separador "Sistemas Solares Térmicos"

O próximo separador corresponde à análise ambiental e energética (Figura 75) onde apenas foi necessário pressionar o botão "Calcular".

Edifício Sistema Solares térmicos Análise Ambiental e Energética Análise Económica Relatório Final Manual

Impactes do ciclo de vida do sistema Solar térmico

Categoria	Fase de Produção	Fase de Utilização (20 anos)		Total
		Sistema Solar	Sistema Auxiliar	
ADP	10.40966	0.67919	6.60852	17,69737
GWP	1411.72000	92.97467	798.66000	2303,35467
ODP	0.00014	0.00001	0.00011	0,00026
AP	9.60336	0.57095	0.67860	10,85291
POCP	0.66700	0.03860	0.08937	0,79497
EP	6.50190	0.37903	0.12946	7,01039
ADP_FF	22387.20000	2526.18728	13572.00000	38485,38728
ERE	2765.56000	347.36946	40.8204000	3153,74986

Índices de Sustentabilidade

Tempo de Retorno Ambiental (CO2): 0,73 Anos

Tempo de Retorno Energético: 0,80 Anos

Calcular

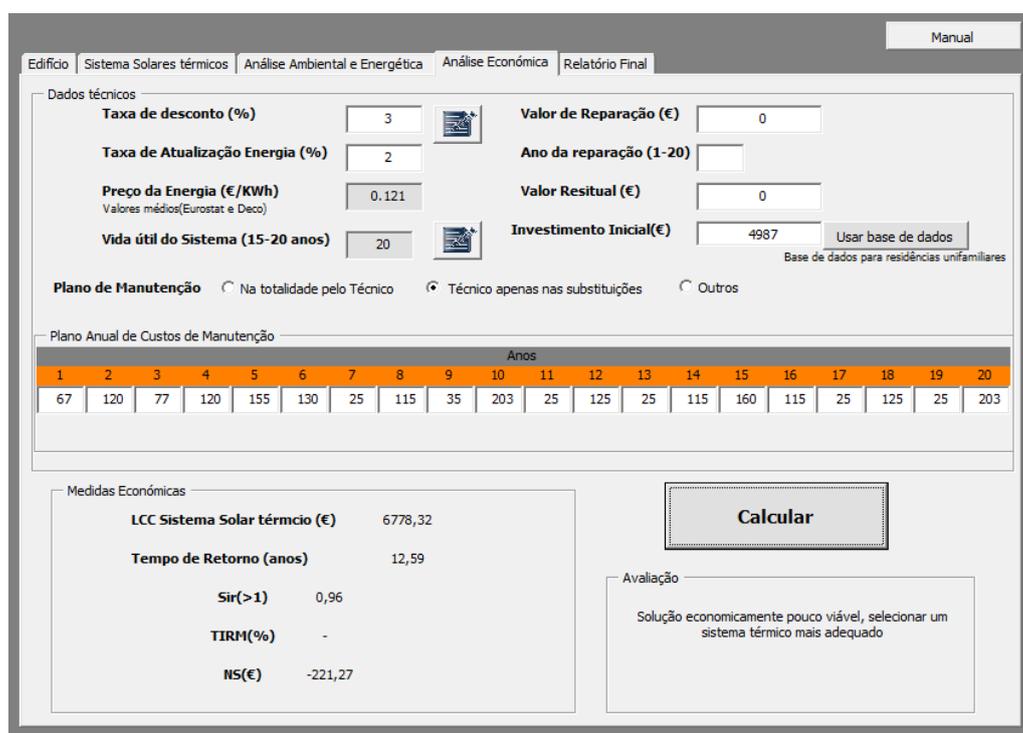
Inserir Impactes manualmente

Impactes Ambientais do Sistema solar Térmico num Edifício Habitacional

ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
53,09211	6910,06401	0,00078	32,55873	2,38491	21,03117	115456,16184	9461,24958

Figura 75: Preenchimento do separador "Análise Ambiental e Energética"

No quarto separador (Figura 76), optou-se por recorrer às sugestões do programa, premindo o botão . O que correspondeu a uma taxa de desconto de 3% e uma taxa de inflação da energia de 2%. Considerou-se 20 anos para o tempo de vida útil do sistema solar térmico. Não se consideraram custos de reparação individual nem de valor residual. Para o valor do investimento inicial do sistema consultou-se o catálogo da Vulcano (ANEXO V). Neste caso considerou-se que as tarefas de limpeza e lubrificação dos componentes do sistema estavam a cargo do proprietário, assim sendo, optou-se pelo plano de manutenção “Técnico apenas nas substituições”.



Edifício Sistema Solares térmicos Análise Ambiental e Energética **Análise Económica** Relatório Final Manual

Dados técnicos

Taxa de desconto (%) 3  Valor de Reparação (€) 0

Taxa de Atualização Energia (%) 2 Ano da reparação (1-20)

Preço da Energia (€/KWh) 0.121 Valores médios(Eurostat e Deco) Valor Residual (€) 0

Vida útil do Sistema (15-20 anos) 20  Investimento Inicial(€) 4987 Base de dados para residências unifamiliares

Plano de Manutenção Na totalidade pelo Técnico Técnico apenas nas substituições Outros

Plano Anual de Custos de Manutenção

Anos																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
67	120	77	120	155	130	25	115	35	203	25	125	25	115	160	115	25	125	25	203

Medidas Económicas

LCC Sistema Solar térmico (€) 6778,32

Tempo de Retorno (anos) 12,59

Sir(>1) 0,96

TIRM(%) -

NS(€) -221,27

Avaliação

Solução economicamente pouco viável, seleccionar um sistema térmico mais adequado

Figura 76: Preenchimento do separador "Análise Económica"

Por fim obteve-se o relatório final (Figura 77) gerado pelo programa. No ANEXO VI apresenta-se o relatório impresso pelo programa para a solução de referência.

Relatório Final da Avaliação de ciclo de vida do Sistema Solar Térmico

Relatório: Solução de Referência

Localização do edifício: Penafiel

Tipo de Residência: Unifamiliar

Tipo de sistema solar térmico: Sistema com circulação Forçada

Área total de captação solar: 4,86 m²

Esolar: 2434 KWh/ano

Necessidades energéticas AQS: 145 KWh/ano

Índices de Sustentabilidade

Tempo de Retorno Energético: 0,80 anos

Tempo de Retorno Ambiental: 0,73 anos

Tempo de Retorno Económico: 12,59 anos

Impactes ambientais do sistema solar selecionado na integração de um edifício com : 60 anos

ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
53,09	6910,06	0,00	32,56	2,38	21,03	115456,16	9461,25

Ver Gráficos

Imprimir Relatório

EXCEL

Figura 77: Preenchimento do separador "Relatório Final"

A Tabela 13 apresenta os resultados finais para as restantes soluções consideradas neste estudo.

Tabela 13: Resultados extraídos do programa desenvolvido

Impactes Ambientais e Índices de sustentabilidade					
	Solução Referência	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Impactes ambientais do sistema solar térmico ao longo do tempo de serviço do edifício					
ADP	5,31E+01	1,93E+02	3,22E+02	3,79E+02	4,46E+02
GWP	6,91E+03	2,38E+04	4,28E+04	5,02E+04	5,92E+04
ODP	7,80E-04	3,00E-03	2,73E-03	3,20E-03	3,69E-03
AP	3,26E+01	4,57E+01	3,80E+02	4,48E+02	5,29E+02
POCP	2,38E+00	4,22E+00	1,51E+01	1,76E+01	2,07E+01
EP	2,10E+01	2,29E+01	8,50E+01	9,67E+01	1,11E+02
ADP_FF	1,15E+05	4,02E+05	6,17E+05	7,23E+05	8,51E+05
ERE	9,46E+03	9,91E+03	1,06E+05	1,25E+05	1,48E+05
Índices de Sustentabilidade					
Tempo de retorno Ambiental (CO ₂) (anos)	0,73	2,53	0,87	0,89	0,96
Tempo de retorno Energético (anos)	0,8	2,75	0,91	0,94	1,01
Tempo de retorno Económico (anos)	12,59	11,39	10,18	9,57	9,98

8.3 Estudo de Otimização

O estudo de otimização tem por base os mesmos pressupostos e soluções anteriormente mencionadas para este caso de estudo.

Invocando os conhecimentos adquiridos no Capítulo 3 no que concerne à geometria solar, torna-se evidente a influência da orientação para os diferentes ângulos de incidência do Sol ao longo do ano. O ângulo de inclinação ótimo para os meses de Inverno é maior que no Verão por causa da menor altura solar. Assim sendo, a inclinação dos coletores deve otimizar a captação da radiação solar tendo em conta a variação da altura solar ao longo do ano. Recorrendo ao programa SolTerm para otimizar a orientação dos coletores solares, obtiveram-se os valores do desempenho dos sistemas solares térmicos que se encontram tabelados na Tabela 14. Posteriormente recorreu-se ao programa desenvolvido para se obter os resultados finais (Tabela 15).

Tabela 14: Desempenho dos Sistemas com inclinação otimizada (SolTerm 5.3.1)

Estimativa de Desempenho através do Programa Solterm (otimização)					
Estimativa de desempenho do sistema solar proposto					
	Solução Referência	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Inclinação otimizada	39	33	46	46	43
ESolar (KWh/ano)	2475	2120	2428	2245	2010
Fração solar (%)	81	69,4	79,5	73,5	65,8
Produtividade (KWh/[m ² coletor])	510	469	544	576	568
Necessidades energéticas em função do sistema auxiliar					
Energia (KWh/ano)	135	1146	859	1042	1277

Similar ao gráfico anteriormente realizado, apresenta-se o Gráfico 5 com os resultados da fração solar e energia fornecida pelo sistema, resultante da inclinação otimizada. Neste novo gráfico constata-se que a fração solar aumentou principalmente no mês de Janeiro e no mês de Dezembro devido ao aumento do ESolar. No Gráfico 6 também se pode constatar uma redução na diferença entre a energia necessária e a energia fornecida pelo sistema solar.

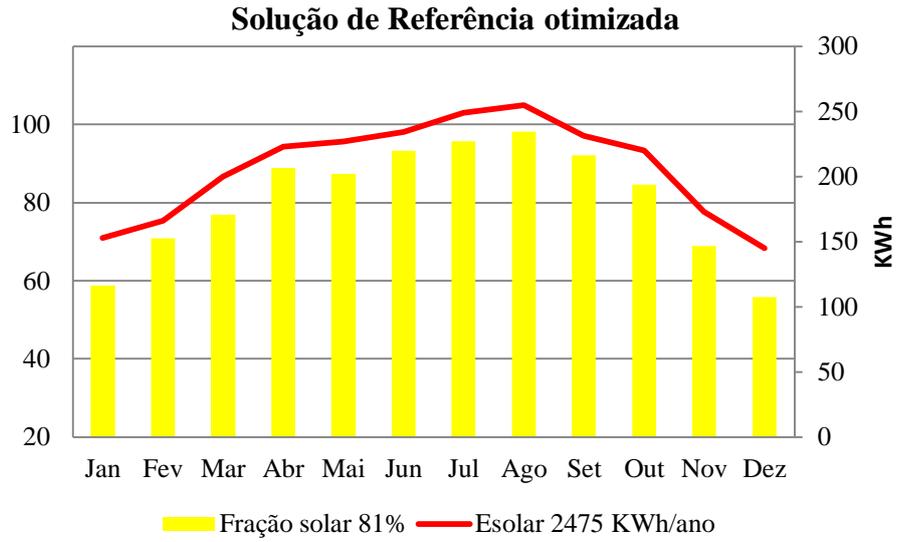


Gráfico 5: Solução de Referência otimizada, fração solar e Esolar

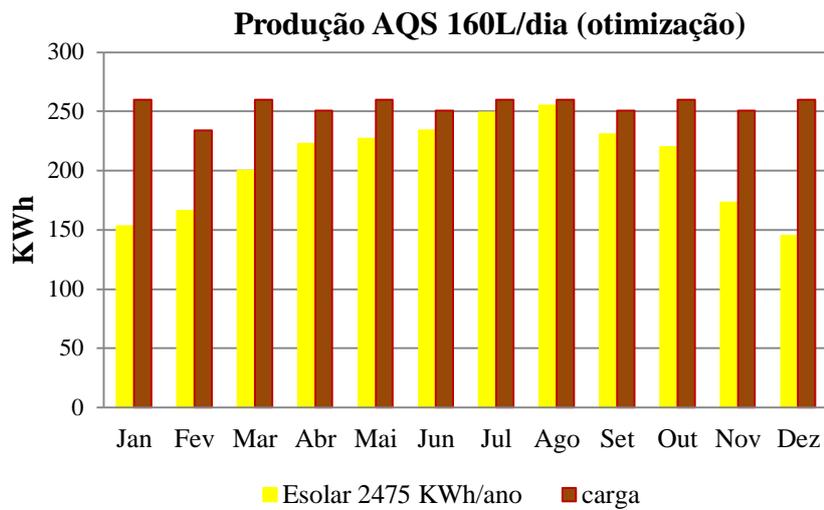


Gráfico 6: Solução de Referência otimizada, produção de AQS

Tabela 15: Resultados extraídos do programa desenvolvido

Impactes Ambientais e Índices de sustentabilidade (otimização)					
	Solução Referência	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Impactes ambientais do sistema solar térmico ao longo do tempo de serviço do edifício					
ADP	5,18E+01	1,89E+02	3,00E+02	3,56E+02	4,29E+02
GWP	6,75E+03	2,33E+04	3,99E+04	4,72E+04	5,68E+04
ODP	7,50E-04	2,90E-03	2,60E-03	3,00E-03	3,60E-03
AP	3,24E+01	4,53E+01	3,53E+02	4,20E+02	5,08E+02
POCP	2,37E+00	4,17E+00	1,41E+01	1,66E+01	1,99E+01
EP	2,10E+01	2,28E+01	8,00E+01	9,17E+01	1,07E+02
ADP_FF	1,13E+05	3,94E+05	5,76E+05	6,81E+05	8,18E+05
ERE	9,47E+03	9,90E+03	9,90E+04	1,18E+05	1,42E+05
Índices de Sustentabilidade					
Tempo de retorno Ambiental (anos)	0,73	2,49	0,84	0,87	0,93
Tempo de retorno Energético (anos)	0,8	2,71	0,89	0,91	0,99
Tempo de retorno Económico (anos)	12,55	11,25	9,91	9,29	9,73

Com base na otimização da inclinação dos coletores solares concluiu-se que houve um aumento de 1,6% do Esolar anual para a solução de referência, um aumento de 1,4% para a solução 1, 3,0% para a solução 2, 3,3% para a solução 3 e 3,0% para a solução 4.

PARTE V

Conclusões e Trabalhos Futuros

Capítulo 9 – Considerações Finais

9.1 Conclusões

Da análise realizada ao caso de estudo constatou-se que os sistemas solares não asseguram na íntegra as necessidades energéticas dos utilizadores. Neste caso torna-se necessário recorrer a sistemas auxiliares suportados por energias convencionais (eletricidade ou gás). Mais se constatou que quanto maior o Esolar entre as soluções, maior a fração solar e menor as necessidades energéticas a serem repostas pelo sistema auxiliar. Destaca-se a utilização da bomba de calor como uma solução energeticamente mais eficiente quando a energia convencional disponível para o equipamento auxiliar é a eletricidade. Este facto leva a um tempo de retorno ambiental e energético menor que os equipamentos que utilizam energia elétrica ou combustíveis gasosos.

Dos resultados extraídos do programa desenvolvido apurou-se que os sistemas auxiliados a energia elétrica apresentam um maior impacto ambiental do que os sistemas auxiliados a gás. No estudo da viabilidade económica das soluções apresentadas, constatou-se que para uma residência unifamiliar o sistema termossifão tem maior viabilidade económica, apesar de ser menos eficiente. Tal ocorrência deve-se ao menor custo de investimento associado a este sistema, apesar de nem sempre o menor custo de investimento estar relacionado com o sistema solar mais adequado para o edifício em estudo. A título de exemplo destaca-se a solução 4 que apesar de ter um menor custo de investimento que a solução 3, não proporcionou um menor tempo de retorno económico, mas sim o contrário. Esta situação deve-se ao facto de o sistema solar da solução 4 ser menos eficiente do que o da solução 3. Um outro elemento que afeta a viabilidade económica de uma solução corresponde ao tipo de energia utilizada nos sistemas auxiliares, em função do seu custo por KWh, ou seja, quanto mais alto for o custo da energia convencional a ser substituída mais baixo será o tempo de retorno. O mesmo acontece para o tempo de retorno do CO₂ e o tempo de retorno energético. Neste

caso quanto maior for o impacto da energia convencional a ser substituída mais baixo será o tempo de retorno.

Do estudo de otimização realizado, constatou-se uma maior compensação por parte da energia solar (Esolar) nos meses de Janeiro e Dezembro, uma variação relevante pois estes são os meses de maior déficit solar. Esta variação refletiu-se mais no tempo de retorno dos sistemas de termossifão do que nos sistemas de circulação forçada. Na vertente económica esta variação ronda os 3 meses, ao passo que na vertente ambiental é menos de 1 mês.

Em forma de síntese, o período de retorno da vertente ambiental, energética e económica deve ser sempre menor que o tempo de vida útil do sistema, sendo sempre mais atrativo para o utilizador, o sistema com o menor tempo de retorno, visto a instalação de sistemas solares térmicos ser de cariz obrigatório.

Em termos de resposta aos objetivos delineados na primeira parte do trabalho, assume-se que estes foram cumpridos com a concretização do programa de avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos. O programa integra a metodologia elaborada neste trabalho dando resposta à problemática definida no início do trabalho. O processo de cálculo difundido no programa proporciona utensílios imprescindíveis para uma análise custo-benefício económica e ambiental de sistemas solares térmicos. Mais se destaca o facto de o programa apresentar os resultados detalhados de uma análise LCA e LCC de sistemas solares, assim como a sua contribuição para o ciclo de vida dos edifícios.

Em suma, este estudo corresponde a uma das partes de uma análise mais ampla denominada de avaliação da sustentabilidade dos edifícios. Desta forma, o programa desenvolvido para além de contribuir para esta análise também constitui uma ferramenta prática dirigida aos projetistas de forma a auxiliá-los nas suas tomadas de decisão.

9.2 Trabalhos Futuros

As implicações que surgem com a aplicação do programa desenvolvido levam à necessidade de melhorar e remodelar alguns aspetos que tornariam a ferramenta ainda mais cativante. Neste âmbito surge o desenvolvimento de futuros estudos através da continuação deste trabalho de forma a tornar o programa mais completo e a enriquecer o seu conteúdo.

Com a finalização da dissertação concluiu-se que os trabalhos futuros poderiam ser direcionados para as seguintes vertentes:

- O enriquecimento e atualização da base de dados dos custos tornariam o programa ainda mais atrativo;
- A criação de uma base de dados de impactes ambientais focada essencialmente nos sistemas solares térmicos utilizados em Portugal ou em função da marca do sistema utilizado, para posteriormente ser integrado no programa desenvolvido;
- O programa desenvolvido encontra-se direcionado apenas para a preparação de AQS, neste contexto propõe-se o desenvolvimento da climatização;
- Os sistemas solares térmicos não são a única fonte de energia renovável, assim sendo, a incorporação no programa de outra fonte de energia renovável poderia ser uma mais-valia para os projetistas. Como por exemplo os sistemas fotovoltaicos.

Referências Bibliográficas

- ADENE, DGE, & INETI. (2001). *Água Quente Solar para Portugal*. Lisboa.
- Alves, M. (2011). *Desenvolvimento de um simulador de consumos de energia elétrica ao nível do sector da habitação com capacidade para sugerir deslastre de cargas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Departamento de Engenharia Mecânica, Lisboa.
- APA. (2014). *Alterações Climáticas*. Obtido em Fevereiro de 2014, de Portal da Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=117>
- APISOLAR. (2013). *Observatório Solar Térmico*. Obtido de Água Quente Solar: http://www.aguaquentesolar.com/_fich/18/ST-Pt2013_fntApisolar.pdf
- APREN. (2014). Renováveis voltam a atingir recordes no primeiro mês de 2014. *Comunicado de imprensa*. Lisboa.
- AQSpP. (2014). *Água Quente Solar*. Obtido em junho de 2014, de <http://www.aguaquentesolar.com/index.asp>
- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M., & Brano, V. (2005). Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy*, 30, 109-130.
- Ashby, M. (2009). *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Amsterdam: Elsevier.
- Battisti, R., & Corrado, A. (2005). Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage. *Journal of Cleaner Production*, 13, 1295-1300.
- Beccali, M. (2010). *IEA SHC Task 38 Solar Air Conditioning and Refrigeration: "Life Cycle Assessment of Solar Cooling Systems"*. Universidade de Palermo, Departamento DREAM, Itália.
- Bragança, L., & Mateus, R. (2012). *Life-cycle analysis of buildings - Environmental impact of building elements*. Portugal: iiSBE Portugal.
- Carmody, J., Trusty, W., Meil, J., & Lucuik, M. (2007). Life cycle assessment tool for building assemblies. In *Proceedings of the Sustainable Construction, Materials and Practices Conference, Portugal SB07*. Lisboa, Portugal.
- Carrilho da Graça. (2004). *Brisa Carcavelos, Portugal*. Obtido de Carrilho da Graça Arquitectos: http://jlcg.pt/additional_work/brisa
- Carvalho, M. (2011). Assegurar a qualidade em sistemas solares térmicos – certificação de sistemas solares e seus componentes. *Renováveis Magazine*.

Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos em edifícios

- Castiajo, S. (2012). *Metodologia de manutenção de edifícios- Sistemas Solares Térmicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto.
- Castro, R. (2011). *Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- CERTIF. (Abril de 2004). *Folheto Certificação de equipamentos solares térmicos*. Obtido em Maio de 2014, de CERTIF:
<http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/3/certificacaoEquipamentos.pdf>
- CGD. (2010). *Energias Renováveis na CGD*. Obtido de CGD: <http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/Caso-2010-CGD-Energias-renovaveis.pdf>
- Citherlet, S., Favre, D., & Perriset, B. (2013). *IEA Annex 56 - Methodology to assess the environmental impacts of renovated buildings*. Universidade de Ciências Aplicadas do oeste da Suíça.
- colectores solares térmicos*. (2014). Obtido em junho de 2014, de
<http://projectoalfacoop.no.sapo.pt/1d2.jpg>
- Dahlstrom, O. (2011). *Life Cycle Assessment of a Single-Family Residence built to Passive House Standard*. Dissertação de Mestrado em Ecologia Industrial, Norwegian University of Science and Technology.
- Dahlstrom, O., Sornes, K., Eriksen, S., & Hertwich, E. (2012). Life cycle assessment of a single-family residence built to either conventional or passive house standard. *Renewable Energy*, 54, 470-479.
- DECO Pro Teste. (2014). *Poupe na botija*. Obtido de DECO Pro Teste:
http://www.poupenabotija.pt/?utm_source=site&utm_medium=banner&utm_content=banner1&utm_campaign=poupenabotija
- Decreto-lei 118/2013. (20 de Agosto de 2013). *Diário da República, n°159 - 1ª série*, 4988-5005.
- Decreto-Lei n°80/2006. (4 de Abril de 2006). *Diário da República, n°67 - 1ª série*, 2468-2513.
- Despacho n°15793-E/2013. (3 de Dezembro de 2013). *Diário da República n°234 - 2ª série*.
- Despacho n°15793-H/2013. (3 de Dezembro de 2013). *Diário da República n°234 - 2ª série*.
- Despacho n°15793-I/2013. (3 de Dezembro de 2013). *Diário da República n°234 - 2ª série*.
- DGEG. (2007). *Energias Renováveis*. Obtido em Fevereiro de 2014, de Direção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgeg.pt/>

- Dias, A. (2011). *A Normalização de Métodos de Avaliação da Sustentabilidade da Construção*. Obtido de http://www.centrohabitat.net/sites/default/files/eventos-pdf/apresentacao_baio_dias.pdf
- Duffie, J., & Beckman, W. (2006). *Solar Engineering oh Thermal Processes* (3rd ed.). Estados Unidos da America: John Wiler & sons, inc.
- Eder, C., Meneses, G., Fiterman, L., & Tinoco, M. (2004). *Avaliação dos Médodos da Taxa Interna de Retorno Modificada*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre.
- Electrónica. (2014). *Instalação Sistemas Solares Fotovoltaicos*. Obtido em Junho de 2014, de Electrónica: <http://www.electronica-pt.com/content/view/273/>
- EMMETI. (2014). *Vaso de Expansão*. Obtido em julho de 2014, de <http://www.emmeti.com.br/vaso-de-expansao.asp>
- Empresa Eficiente. (2014). *Energia Solar Térmica*. Obtido em Junho de 2014, de Empresa Eficiente: http://www.empresaeiciente.com/images/empresas/tecnologias/22/img_01.jpg
- EN 15643-1. (2010). Sustainability of construction works —Sustainability assessment of buildings — Part 1: General framework.
- EN 15643-2. (2010). Sustainability of construction works — Assessment of buildings — Part 2: Framework for the assessment of environmental performance.
- EN 15804. (2012). Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
- Energia Lateral. (2014). *Energia solar térmica*. Obtido em junho de 2014, de Energia Lateral: http://www.energiateral.pt/img/top_energia_solar_termica.jpg
- Energia Solar térmica. (2004). *Energia Solar térmica: Manual sobre tecnologias, projeto e instalação*. Obtido em Julho de 2014, de <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/guia-tecnico-manual-solartermico.pdf>
- ESTIF. (julho de 2014). *Solar Thermal Markets in Europe: Trends and Market Statistics 2013*. Obtido de ESTIF: http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/market_data/downloads/solar_thermal_markets2013_v01.pdf
- EUROSTAT. (2013). *Preço da Eletricidade para consumo doméstico*. Obtido de EUROSTAT: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=ten001>

EUROSTAT. (2013). *Preço do gás para consumo doméstico*. Obtido de EUROSTAT:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=ten00113>

Falcão, A. (2007). *Energia Solar: Movimento e posicionamento relativos Terra-Sol*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Mecânica.

Filho, K., & Saraiva, M. (Setembro de 2003). *Insolação Solar*. Obtido em Junho de 2014, de http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/insolacao_files/e2.jpg

Fonseca, D. (2007). *A casa de emissões nulas – Estudo conceptual. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Mecânica.

Fuller, S., & Petersen, S. (1996). *Life - Cycle Costing Manual, for the federal energy management program*. Estados Unidos da América, Department of Commerce.

Häkkinen, T., Huovila, P., Tattari, K., Vares, S., Seppälä, J., & Koskela, S. (2002). *Eco-efficiency of building and real estate sector*. Ministry of Environment, Housing and Building Department, the Finnish Environment, Helsinki.

Hang, Y., Qu, M., & Zhao, F. (2012). Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States. *Energy and Buildings*, 45, 181-188.

Hazami, M., Naili, N., Attar, I., & Farhat, A. (2013). Solar water heating systems feasibility for domestic requests in Tunisia: Thermal potential and economic analysis. *Energy Conversion and Management*, 76, 599-608.

I.P./DGEG. (2011). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010* (2011 ed.). (Instituto Nacional de Estatística, I.P., & Direcção-Geral de Energia e Geologia, Edits.) Lisboa.

IP-AQSpP, D. /. (2004). *Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*. Lisboa: DGGE / IP-AQSpP.

ISO 14040. (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Geneva: ISO.

ISO 14044. (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. Geneva: ISO.

Komeco. (2008). *Komeco - Manual de Instalação*. Obtido de http://www.solarforte.com.br/manuais/manual_solar_komeco.pdf

Kotaji, S., Schuurmans, A., & Edwards, S. (2003). *Life-cycle assessment in building and construction: a*

state-of-the-art report. SETAC.

Lebeña, E., & Costa, J. (2007). *Convenção Térmica da Energia Solar*. Curso de Instaladores Solares Térmicos, INETI, Lisboa.

Lippiatt, B. (2007). *Building for Environmental and Economic Sustainability: Technical Manual and User Guide*. National Institute of Standards and Technology, U.S., Department of Commerce, Estados Unidos da América.

Marimuthu, C., & Kirubakaran, V. (2014). Carbon Payback Period and Energy Payback Period for Solar Water. *International Research Journal of Environment Sciences*, 3, 93-98.

Marla Energias. (2014). Obtido em junho de 2014, de <http://www.marla.pt/imagens/vacuo2.jpg>

Mateus, R. (2009). *Avaliação da Sustentabilidade da Construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

Miranda, M. (2008). *Otimização de sistemas solares térmicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto.

Neiva, S., Mateus, R., & Bragança, L. (2012). Utilização do método LCA no projeto de edifícios sustentáveis. *Congresso Construção 2012, 4º Congresso Nacional*. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Portaria n.º 349-B/2013. (29 de Novembro de 2013). *Diário da República, n.º232 - 1ª série*.

Portaria n.º 349-C/2013. (29 de Novembro de 2013). *Diário da República, n.º232 - 1ª série*.

Pré-consultants. (2008). *SimaPro Database Manual-Methods Library*. Amersfoort, Netherlands: Production Ecology Consultants.

Ramos, J. (2012). *Certificação ambiental de produtos da construção com elevado conteúdo reciclável*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa.

REC. (2014). *Delivering Sustainable Solar Solutions*. Obtido em junho de 2014, de REC: http://www.recgroup.com/pagefiles/1404/lca_brochure_020911_web.pdf

Regulamento delegado (UE) N.º 244/2012. (16 de Janeiro de 2012). *Jornal Oficial da União Europeia*.

Revista Energia Solar n.º53. (Jan./Abr. de 2004). *Destacável n.º4*.

Ribeiro, J. (2012). *Sustentabilidade dos produtos de construção – Aplicação da análise do ciclo de vida a um perfil de alumínio*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos em edifícios

- Ribeiro, V. (2014). *Dimensionamento de instalações solares térmicas em edifícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto.
- Roriz, L., Rosendo, J., Lorenço, F., & Calhau, K. (2010). *Energia Solar em Edifícios*. Alfragide: Edições Orion.
- Santiago, L. (2005). *Avaliação do ciclo de vida*. Obtido em Maio de 2014, de Avaliação do ciclo de vida: http://acv.ibict.br/sobre/historico.htm/document_view
- Soares, B., Souza, D., & Pereira, S. (2006). A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In *Coletânea Habitare - vol. 7 - Construção e Meio Ambiente*.
- Solar Keymark. (2010). *O Rótulo de Qualidade para os Produtos Solares Térmicos na Europa*. Obtido em Maio de 2014, de Solar Keymark: http://www.estif.org/solarkeymarknew/images/downloads/brochures/brochure_a5_pt.pdf
- Sornes, K. (2011). *Life Cycle Assessment of a Single-Family Residence built to Passive House Standard*. Dissertação de Mestrado em Energia e Meio Ambiente, Norwegian University of Science and Technology.
- Sousa, J., Silva, S., & Almeida, M. (2012). *Enquadramento Energético do Sector Residencial Português*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.
- Vulcano. (2013). *Vulcano*. Obtido em junho de 2014, de http://www.vulcano.pt/consumidor/documentacao/catalogo_de_produtos/catalogodeprodutos
- Weidema, B., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., et al. (2013). *Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3*. Obtido em Maio de 2014, de Ecoinvent: http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/Data_Quality_Guidelines/01_DataQualityGuideline_v3_Final.pdf
- Wilo. (2014). *Aquecimento, Ar Condicionado e refrigeração*. Obtido em julho de 2014, de http://productfinder.wilo.com//image.do?file=00506087_0.jpg&width=500&height=500&format=png&user=force&auth=11d8699091c09ee628f82614c030bffe

ANEXOS

ANEXO I

Normas de Certificação de coletores e sistemas solares térmico

Resumo das normas NP EN 12975-1:2006, NP EN 12975-2:2006, NP EN 12976-1:2006 e NP EN 12976-2:2006 (Carvalho, 2011)

Normas de Requisitos		Normas de Ensaios	
Coletores	NP EN 12975-1:2006	NP EN 12975-2:2006	
		Determinação do comportamento térmico	Verificação de aspetos de fiabilidade e durabilidade
		Ensaio para a determinação do rendimento de coletores com e sem cobertura (Método Estacionário e Método Quási-Dinâmico)	Ensaio de qualificação do coletor:
	<p align="center">Sujeito aos ensaios de qualificação <u>Não apresenta falhas graves</u></p>		<ul style="list-style-type: none"> - Pressão interna (absorvedores inorgânicos e orgânicos) - Resistência a alta temperatura - Exposição - Choque Térmico externo - Choque Térmico Interno - Penetração de chuva - Carga mecânica - Resistência ao congelamento I - Resistência ao impacto (opcional)
			Inspeção Final
	Verifica os requisitos relativos a documentação e etiquetagem		
Normas de Requisitos		Normas de Ensaios	
Sistemas	NP EN 12975-1:2006	NP EN 12975-2:2006	
		Determinação do comportamento térmico	Verificação de aspetos de fiabilidade e durabilidade
		Ensaio para a determinação do comportamento térmico do sistema solar (Método CSTG (ISO 9459-2) ou Método DST (ISO 9459-5))	Ensaio de qualificação do coletor:
	<p align="center">Sujeito aos ensaios de qualificação <u>Não apresenta falhas graves</u></p>		<ul style="list-style-type: none"> - Resistência à pressão (Depósito e Circuito primário) - Proteção ao sobreaquecimento - Proteção ao congelamento I - Verificação condições de não contaminação da água potável - Verificação dos equipamentos de segurança - Verificação dos componentes utilizados e sua fiabilidade (por ex. Coletor)
			Inspeção Final
	Verifica os requisitos relativos a documentação e etiquetagem		

ANEXO II

Categoria de Impactes

Categorias de impacto ambiental

Em ordem a facilitar a compreensão por parte dos projetistas da importância das categorias de impacto ambiental, apresenta-se no quadro seguinte os mecanismos ambientais associados a cada categoria.

Categoria	Caracterização dos impactos
Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP)	Esta categoria de impacto está relacionada com o conforto e bem-estar do ser humano, assim como a preservação do ecossistema. A categoria ADP tem como objetivo avaliar o problema ambiental relacionado com a disponibilidade de recursos naturais.
Potencial de aquecimento global (GWP)	Esta categoria está relacionada com a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e é expressa como Potencial de Aquecimento Global, para um horizonte de tempo de 100 anos (GWP100).
Potencial de destruição da camada de Ozono (ODP)	Com a destruição da camada de ozono estratosférico, a radiação UV – V que atinge a superfície terrestre aumenta. Esta situação pode ter efeitos negativos sobre a saúde humana, saúde animal, no equilíbrio dos ecossistemas terrestres, aquáticos e em ciclos bioquímicos e sobre na durabilidade e no desempenho dos materiais.
Potencial de acidificação (AP)	A acidificação é um processo no qual as emissões de gases como dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, quando liberados na atmosfera retornam ao solo sob a forma de chuva ácida. Esta altera a composição do solo, prejudicando florestas e agricultura, e pode contribuir na deterioração das construções.
Potencial de formação de ozono troposférico (POCP)	Atualmente, o ozono troposférico é um dos poluentes mais graves da Europa, em grande quantidade pode causar graves problemas de saúde, morte prematura, redução da produtividade das culturas agrícolas e mudanças na biodiversidade.

<p>Potencial de eutrofização (EP)</p>	<p>Fenômeno causado pelo excesso de nutrientes lançados na água. Geralmente causado pelos fertilizantes agrícolas, restos da indústria de alimentos e descarga de esgoto sanitário, provoca proliferação de bactérias que consomem o oxigênio, formação de gases tóxicos, cheiro desagradável e toxinas que contaminam as fontes de água potável.</p>
<p>Energia não-renovável incorporada (ADP_FF)</p>	<p>Este indicador expressa o consumo de energia não renovável associado às fases do ciclo de vida do produto em estudo e, portanto, representa a contribuição do produto para o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis</p>
<p>Energia renovável incorporada (ER)</p>	<p>Este indicador não expressar os impactos ambientais negativos. Na maioria dos casos, serve para demonstrar a preocupação de um produtor particular no uso de fontes renováveis de energia, em vez de fontes não-renováveis</p>

ANEXO III

Nova Legislação sobre o desempenho energético dos edifícios de habitação

(Decreto - lei 113/2013)

Nova Legislação - Portaria n.º 349-B/2013

(excertos retirados da Portaria n.º 349-B/2013)

Requisitos de eficiência

Os sistemas de ar condicionado, bombas de calor com ciclo reversível e chillers de arrefecimento, devem obedecer aos requisitos mínimos de eficiência indicados na Tabela I.10, em função da sua classificação pela certificação Eurovent.

TABELA I.10		
Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras		
Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Split, multissplit, VRF e compacto	C	B
Unidades do tipo Rooftop		
Unidades do tipo Chiller de compressão (Bomba de calor)		

No caso dos sistemas referidos na alínea anterior que não se enquadrem na respetiva categoria Eurovent, mas cujo desempenho tenha sido avaliado pelo mesmo referencial normativo, aplica-se o requisito equivalente, em termos de EER e COP, que resulta do definido na Tabela I.10, tendo por base o menor valor do intervalo previsto na respetiva matriz de classificação indicada nas Tabelas I.11 a I.14.

TABELA I.14				
Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de compressão				
Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$EER \geq 3,1$	$COP \geq 3,2$	$EER \geq 5,05$	$COP \geq 4,45$
B	$3,1 > EER \geq 2,9$	$3,2 > COP \geq 3,0$	$5,05 > EER \geq 4,65$	$4,45 > COP \geq 4,15$
C	$2,9 > EER \geq 2,7$	$3,0 > COP \geq 2,8$	$4,65 > EER \geq 4,25$	$4,15 > COP \geq 3,85$
D	$2,7 > EER \geq 2,5$	$2,8 > COP \geq 2,6$	$4,25 > EER \geq 3,85$	$3,85 > COP \geq 3,55$
E	$2,5 > EER \geq 2,3$	$2,6 > COP \geq 2,4$	$3,85 > EER \geq 3,45$	$3,55 > COP \geq 3,25$
F	$2,3 > EER \geq 2,1$	$2,4 > COP \geq 2,2$	$3,45 > EER \geq 3,05$	$3,25 > COP \geq 2,95$
G	$EER < 2,1$	$COP < 2,2$	$EER < 3,05$	$COP < 2,95$

As caldeiras a combustível líquido ou gasoso devem obedecer aos requisitos mínimos de eficiência indicados na Tabela I.15, na forma de classe de eficiência, sendo que o seu rendimento, assim como o dos esquentadores a gás, deve ser superior ao disposto na Tabela I.16;

TABELA I.15		
Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras		
Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Caldeira	B	A

TABELA I.16		
Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores		
Caldeira	Classe de eficiência Energética	Rendimento Nominal (na)
	A++	$n \geq 96\%$
	A+	$96\% \geq n > 92\%$
	A	$92\% \geq n > 89\%$
	B	$89\% \geq n > 86\%$
	C	$86\% \geq n > 83\%$
	D	$83\% \geq n > 80\%$
	E	$80\% \geq n > 77\%$
F	$n \leq 77\%$	
Esquentador	Potência (kW)	Rendimento (na)
	$\leq 10 \text{ Kw}$	$\geq 0,82$
	$> 10 \text{ Kw}$	$\geq 0,84$

Os sistemas de preparação de AQS com recursos a termoacumuladores elétricos devem cumprir com o requisito indicado na Tabela I.17 ou outro equivalente previsto em diretivas europeias aplicáveis, e a sua eficiência deve ser obtida em função das perdas estáticas do equipamento Q_{pr} , definida segundo a EN 60739 ou outro referencial equivalente publicado em legislação ou normalização europeia, sendo determinada de acordo com a Tabela I.18.

TABELA I.17

Valores limite de perdas estáticas em termoacumuladores Q_{pr} , [kWh/24h]	
Volume V [l]	Dispersão Térmica Q_{pr} [kWh/24h]
$V \leq 200$ l	$Q_{pr} \leq (21 + 10,33.V^{0,4}).24/1000$
$200 < V \leq 500$ l	$Q_{pr} \leq (26 + 13,66.V^{0,4}).24/1000$
$500 < V \leq 1000$ l	$Q_{pr} \leq (31 + 16,66.V^{0,4}).24/1000$
$1000 < V \leq 2000$ l	$Q_{pr} \leq (38 + 16,66.V^{0,4}).24/1000$

TABELA I.18

Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr}	
Intervalos de Q_{pr} [kWh/24h]	Eficiência
$Q_{pr} < 1$	0,97
$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0,95
$Q_{pr} \geq 1,5$	0,93

Sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis

- **Requisitos de eficiência:**

Os sistemas de coletores solares térmicos a instalar devem proporcionar uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico ao previsto ou instalado, baseado em coletores solares padrão com as seguintes características:

- a) Orientação a Sul e com inclinação de 35°;
- b) Apresentação dos seguintes parâmetros geométricos, óticos e térmicos:
 - i. Planos com área de abertura de 0,65 m² por ocupante convencional;
 - ii. Rendimento ótico de 73%;
 - iii. Coeficientes de perdas térmicas $a_1=4,12$ W/(m².K) e $a_2=0,014$ W/(m².K²);
 - iv. Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.

- **Requisitos de qualidade e manutenção**

1 - As instalações para aproveitamento de energia solar térmica a instalar devem:

- a) Ser composta por sistemas e/ou coletores certificados de acordo com as

Normas EN 12976 ou 12975, respetivamente;

b) No caso de instalações com área de captação superior a 20 m², dispor de projeto de execução elaborado de acordo com o especificado na referida Portaria n.º 701 H/2008, de 29 de julho;

c) No caso dos sistemas solares dotados de resistência de apoio elétrico dentro do depósito de armazenamento, incluir a instalação de um relógio programável e acessível, para atuação da resistência de forma que, durante o dia, o depósito possa receber energia proveniente do coletor solar.

2 - Independentemente do tipo de sistema para aproveitamento de fontes de energia renováveis a instalar, estes devem:

a) Respeitar os demais requisitos de projeto e de qualidade dos equipamentos e componentes aplicáveis no âmbito da legislação, regulamentação e normas portuguesas em vigor;

b) Ser instalados por instalador devidamente qualificado no âmbito de sistemas de qualificação ou acreditação aplicáveis, sempre que a sua aplicação decorra de:

- i) Diretiva Europeia ou legislação nacional em vigor;
- ii) Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

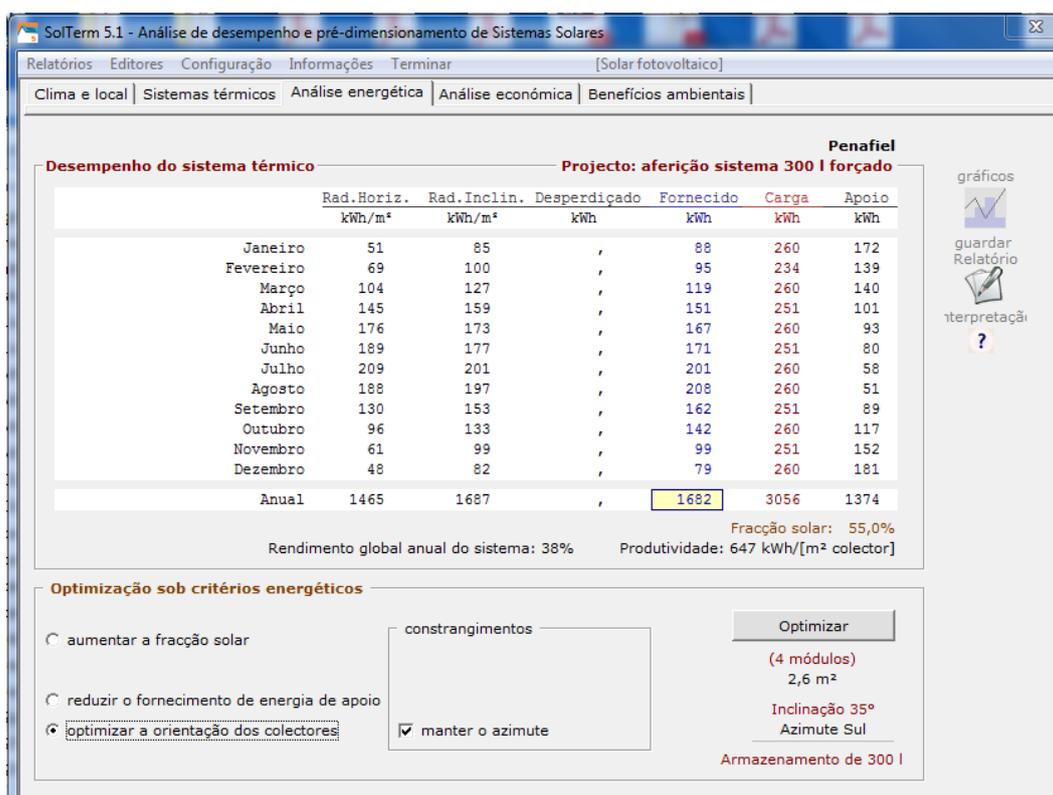
c) Registo da instalação e manutenção em base de dados criada e gerida pela entidade gestora do SCE, em condições a definir por Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

Coletor padrão REH

De forma a cumprir os requisitos mínimos para os coletores solares impostos no Regulamento energético de edifícios de habitação (REH) procedeu se à seguinte metodologia:

- 1) Simulação através do programa SolTerm dos coletores padrão;
- 2) Simulação através do programa SolTerm dos coletores da solução proposta;
- 3) Comparação do Esolar entre ambos os sistemas solares (sistema solar com coletores padrão e sistema solar com coletores propostos);
- 4) Se o Esolar da solução proposta for superior ou igual ao Esolar da solução padrão, então a solução alternativa poderá ser utilizada.

A figura seguinte apresenta os resultados da simulação do sistema solar com coletores padrão.



Realizando a simulação para os sistemas solares térmicos utilizados no caso de estudo, concluiu-se que todos apresentavam um Esolar superior ao do sistema padrão. A solução com menor Esolar corresponde ao sistema solar com coletores da marca Rinsun com o valor de 2013 KWh/ano, apesar de baixo é superior ao do sistema padrão.

ANEXO IV

Base de Dados: Impactes Ambientais

Base de dados dos Impactes Ambientais

Base de dados do programa desenvolvido com os impactes ambientais de sistemas solares térmicos, na fase de produção.

Fase Produção	Categoria de impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
Circulação Forçada com Coletor plano mais usuais (por sistema) - Referência								
Circulação Forçada, coletor plano 4m2; residência unifamiliares	9,83E+00	1,33E+03	1,35E-04	8,77E+00	6,24E-01	5,93E+00	2,13E+04	2,55E+03
Circulação forçada, coletor plano 58m2; residência multifamiliares	7,00E+01	1,02E+04	1,47E-03	8,44E+01	5,21E+00	6,24E+01	1,60E+05	1,85E+04
Circulação Forçada s/coletores (por area de coletor)								
Circulação Forçada; residência unifamiliar	7,10E+00	9,16E+02	9,62E-05	4,86E+00	4,24E-01	3,27E+00	1,50E+04	1,57E+03
Circulação Forçada ; residência multifamiliar	3,02E+01	4,23E+03	9,02E-04	2,75E+01	2,29E+00	2,36E+01	7,06E+04	4,12E+03
Circulação Termossifão s/coletores (por area de coletor)								
Termossifão ; residência unifamiliar	6,85E+00	8,85E+02	9,46E-05	4,65E+00	4,10E-01	3,11E+00	1,45E+04	1,52E+03
Termossifão; residência multifamiliar	3,00E+01	4,19E+03	9,01E-04	2,72E+01	2,27E+00	2,33E+01	7,01E+04	4,06E+03
Coletores (por m2)								
Coletor de tubos de vácuo	6,74E-01	9,03E+01	8,42E-06	7,81E-01	3,26E-02	6,55E-01	1,48E+03	1,38E+02
Coletor plano	6,81E-01	1,02E+02	9,69E-06	9,76E-01	5,00E-02	6,65E-01	1,52E+03	2,46E+02
Sistema auxiliar (por sistema)								
sistema auxiliar de aquecimento elétrico	4,45E-02	6,68E+00	3,18E-07	3,31E-02	2,05E-03	1,52E-02	9,67E+01	1,46E+01
Sistema auxiliar de aquecimento a gás	2,95E+00	3,78E+02	2,46E-05	2,18E+00	1,68E-01	1,61E+00	6,32E+03	5,19E+02

Base de dados do programa desenvolvido com os impactos ambientais de sistemas solares térmicos, na fase de utilização.

Fase Utilização	Categoria de impacto ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
Circulação Forçada com coletores planos (por Mj de calor produzido) - Referência								
Utilização do sistema Solar térmico com coletores planos 4m2; residência unifamiliar	7,45E-05	0,010174	1,12E-09	6,09E-05	4,1846E-06	4,03E-05	2,81E-01	1,16E+00
Utilização do sistema Solar térmico com coletores planos 58 m2; residência multifamiliar	2E-05	0,002896	4,11E-10	2,3E-05	1,4101E-06	1,69E-05	5,62E-02	1,14E+00
calor produzido em função do sistemas de circulação forçada								
Utilização do sistema Solar térmico; residência unifamiliar	2,39E-05	3,34E-03	4,21E-10	1,57E-05	9,70E-07	9,77E-06	1,73E-01	2,54E-02
Utilização do sistema Solar térmico; residência multifamiliar	1,97E-06	2,74E-04	3,40E-11	1,33E-06	7,11E-08	8,67E-07	1,55E-02	2,35E-03
calor produzido em função do sistemas de termossifão								
Utilização do sistema Solar térmico; residência unifamiliar	5,97E-06	8,71E-04	1,22E-10	3,13E-06	4,4567E-07	9,93E-07	1,45E-02	3,39E-04
Utilização do sistema Solar térmico; residência multifamiliar	2,98E-07	4,35E-05	6,11E-12	1,56E-07	2,2245E-08	4,96E-08	7,24E-04	1,69E-05
Sistema auxiliar a Eletricidade em Portugal (por Mj)								
Baixa Voltagem + importações	1,45E-03	1,92E-01	1,14E-08	1,75E-03	6,54E-05	3,28E-04	2,74E+00	4,89E-01
Sistema auxiliar a gás (por Mj)								
caldeira a gás	6,33E-04	7,65E-02	1,01E-08	6,50E-05	8,56E-06	1,24E-05	1,30E+00	3,91E-03

Tabela com os impactes ambientais dos componentes do sistema solar térmico

Fase Produção	Categoria de impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
Coletores (por m2)								
Coletor de tubos de vácuo	6,74E-01	9,03E+01	8,42E-06	7,81E-01	3,26E-02	6,55E-01	1,48E+03	1,38E+02
Coletor plano	6,81E-01	1,02E+02	9,69E-06	9,76E-01	5,00E-02	6,65E-01	1,52E+03	2,46E+02
Sistema auxiliar (por sistema)								
sistema auxiliar de aquecimento elétrico	4,45E-02	6,68E+00	3,18E-07	3,31E-02	2,05E-03	1,52E-02	9,67E+01	1,46E+01
Sistema auxiliar de aquecimento a gás	2,95E+00	3,78E+02	2,46E-05	2,18E+00	1,68E-01	1,61E+00	6,32E+03	5,19E+02
Bomba (por bomba)								
Bomba para circulação do fluido 40W	5,47E-02	6,99E+00	3,27E-07	6,61E-02	3,81E-03	5,40E-02	1,06E+02	1,30E+01
Depósito de água quente (por depósito)								
Depósito 600L	5,23E+00	6,56E+02	3,32E-05	2,81E+00	2,74E-01	1,39E+00	1,05E+04	1,40E+03
Vaso de expansão (por vaso)								
Vaso de expansão para o fluido 24L	1,32E-01	1,72E+01	1,02E-06	5,88E-02	6,05E-03	2,81E-02	3,20E+02	2,59E+01
Vaso de expansão para o fluido 80L	3,15E-01	4,05E+01	2,32E-06	1,39E-01	1,48E-02	6,92E-02	7,35E+02	6,41E+01

ANEXO V

Base de Dados: Custos

Custos de equipamentos recolhidos de catálogos

Tabela de Preços equipamentos						
Coletores						
Marca	Tipo	Area (m2)	Preço s/IVA (€)	Preço (€)		
SOLDIRECTO	VH 2,1 Selectivo	2,09	500,00 €	615,00 €		
Vulcano	FKT-1S	2,26	780,00 €	959,40 €		
	FKC-1S	2,26	625,00 €	768,75 €		
	FKB-1S	2,26	550,00 €	676,50 €		
JUNKERS	FKC-1S TSS	2,25	625,00 €	768,75 €		
	FCB-1S TSS	1,95	495,00 €	608,85 €		
	FCC-1S TSS	1,95	560,00 €	688,80 €		
	FKC-2 CTE	2,25	660,00 €	811,80 €		
	FKT-1S	2,25	780,00 €	959,40 €		
Termossifão						
Marca	tipo	nº coletores	Depósito (L)	Preço s/IVA (€)	Preço (€)	
SOLDIRECTO	STS 150 S	1	150	1.617,00 €	1.988,91 €	
	STS 200 S	1	200	1.667,00 €	2.050,41 €	
	STS 300 S	2	300	2.442,00 €	3.003,66 €	
Vulcano	A1 TS 150E FCC	1	150	1.375,00 €	1.691,25 €	
	A1 TS 150E FKB	1	150	1.540,00 €	1.894,20 €	
	F1 TS 150E FCC	1	150	1.440,00 €	1.771,20 €	
	A1 TS 200E FCC	1	200	1.530,00 €	1.881,90 €	
	A1 TS 200E FKC	1	200	1.710,00 €	2.103,30 €	
	F1 TS 200E FCC	1	200	1.600,00 €	1.968,00 €	
	F1 TS 200E FKC	1	200	1.690,00 €	2.078,70 €	
	A2 TS 300E FCC	2	300	2.230,00 €	2.742,90 €	
	A2 TS 300E FKB	2	300	2.590,00 €	3.185,70 €	
JUNKERS	F2 TS 300E FCC	2	300	2.370,00 €	2.915,10 €	
	F2 TS 300E FKB	2	300	2.570,00 €	3.161,10 €	
	TSS 150 / FCB	1	150	1.440,00 €	1.771,20 €	
	TSS 200 / FCC	1	200	1.600,00 €	1.968,00 €	
	TSS 300 / FCB	2	300	2.370,00 €	2.915,10 €	
	TS 200 E / FKC	1	200	1.690,00 €	2.078,70 €	
Circulação forçada						
Marca	Tipo	nºcoletores	Depósito (L)	nº pessoas	Preço s/IVA (€)	Preço (€)
SOLDIRECTO	SCF 150 S	1	150	1 até 3	1.952,25 €	2.401,27 €
	SCF 200 S	1	200	2 até 4	2.069,25 €	2.545,18 €
	SCF 300 S	2	300	4 até 6	2.765,00 €	3.400,95 €
	SCF 400 S	3	400	5 até 8	3.359,50 €	4.132,19 €
	SCF 500 S	3	500	7 até 10	3.694,50 €	4.544,24 €
	SCF 750 S	5	750	10 até 14	5.437,00 €	6.687,51 €
	SCF 1000 S	6	1000	15 até 20	6.869,00 €	8.448,87 €
	SCF 1500 S	8	1500	21 até 30	8.875,00 €	10.916,25 €
	SCF 2000 S	10	2000	31 até 40	10.872,00 €	13.372,56 €
	OLICLIMA	PLUS 200 X	1 (2,5 m2)	200	-	2.450,00 €
PLUS 300 X		2 (2m2)	300	-	3.200,00 €	3.936,00 €
PLUS 400 X		2 (2,5m2)	400	-	3.900,00 €	4.797,00 €
PLUS 500 X		4 (2m2)	500	-	5.000,00 €	6.150,00 €
vulcano	TI 1FKC 2S 200				2.210,00 €	2.718,30 €
	TI 3FKC 2S 400S				4.595,00 €	5.651,85 €
	TIL 1FKT 200				2.490,00 €	3.062,70 €
	TIL 2FKT 300				4.055,00 €	4.987,65 €
	TIL 2FCC 300 S				3.430,00 €	4.218,90 €
	TIL 2FKB 300 S				3.525,00 €	4.335,75 €
	TIL 2FKC 2S 300				3.455,00 €	4.249,65 €
	TIL 2FKC 2S SKE 290S				3.605,00 €	4.434,15 €
	TIL 2FKC 300S				3.675,00 €	4.520,25 €
	TP 2FCC 2S SKE 290S				3.668,00 €	4.511,64 €
	TP 2FCC 300 S				3.623,00 €	4.456,29 €
	TP 2FKB 300 S				3.638,00 €	4.474,74 €
	TP 2FKC 2S 300				3.668,00 €	4.511,64 €
	TP 2FKC SKE 290				3.818,00 €	4.696,14 €
	TP 4FCC 500				4.913,00 €	6.042,99 €
JUNKERS	A1 / 200 / FKT				2.420,00 €	2.976,60 €
	A1 / 200 / FKC-2				2.200,00 €	2.706,00 €
	A1 / 160 / FCC				2.140,00 €	2.632,20 €
	A2 / 300 / FKT				3.805,00 €	4.680,15 €
	A2 / 300 / FKC-2/C1				3.465,00 €	4.261,95 €
	A2 / 300 / FCC				3.140,00 €	3.862,20 €
	A3 / 400 / FKC-2/C1				4.525,00 €	5.565,75 €
	A3 / 400 / FCC				3.965,00 €	4.876,95 €
	A4 / 500 / FKC-2/C1				5.435,00 €	6.685,05 €
	A4 / 500 / FCC				4.690,00 €	5.768,70 €
	A4 / 500 / FCB				4.419,00 €	5.435,37 €

Custos de Manutenção (Castiajo, 2012)

Plano Anual de Custos – Cenário 1																				
Anos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Custos	67.00€	120.00€	77.00€	120.00€	155.00€	130.00€	61.75€	127.00€	71.75€	215.00€	61.75€	137.00€	61.75€	127.00€	172.00€	127.00€	61.75€	137.00€	61.75€	215.00€

Plano Anual de Custos – Cenário 2																				
Anos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Custos	67.00€	120.00€	77.00€	120.00€	155.00€	130.00€	25.00€	115.00€	35.00€	203.00€	25.00€	125.00€	25.00€	115.00€	160.00€	115.00€	25.00€	125.00€	25.00€	203.00€

Custos de investimento ponderados pelo programa

Quadro Resumo de PVP de Produtos por Marcas (certificação Solar Keymark)													
Marca	Nacionalidade	Área (m2) /Painel	Nº de coletores	Volume útil do depósito	Preço (€) (PVP médio) c/I.V.A á taxa de 23%	Área (m2) /Painel	Nº de coletores	Volume útil do depósito	Preço (€) (PVP médio) c/I.V.A á taxa de 23%	Área (m2) /Painel	Nº de coletores	Volume útil do depósito	Preço (€) (PVP médio) c/I.V.A á taxa de 23%
Aosol	Portuguesa	1,99	1	193 L	2100	1,99	2	288 L	3200	1,99	2	295 L	4120
Aquaterm	-	-	-	-	1928	-	-	-	2799	-	-	-	4656
Ariston	-	-	-	-	1777	-	-	-	3506	-	-	-	4497
Asset	Turca	2,35	1	191 L	1544	2,35	2	300 L	2780	2,35	2	300 L	3900
Astersa	Espanhola	2,01	1	200 L	1860	1,77	2	300 L	2660	1,77	2	300 L	3940
BaxiRoca	Áustria	1,92	1	200 L	2614	1,92	2	300 L	3180	1,92	2	281 L	4878
Beretta	Italiana	-	-	-	-	1,8	2	280 L	3380	-	-	-	-
Calpak	Grega	2,46	1	200 L	1834	1,98	2	290 L	2658	1,98	2	300 L	3877
Chromagen	Israelita	2,15	1	200 L	1940	1,87	2	300 L	2740	1,87	2	300 L	3940
Donauer	Alemã	2,16	1	190 L	1970	2,16	2	287 L	2800	1,98	2	288 L	4120
Ensus	Portuguesa	2,06	1	200 L	1862	2,06	2	300 L	2724	2,06	2	300 L	3891
ENY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,24	2	300 L	4120
Fagor	Israelita	2,15	1	200 L	1967	1,87	2	300 L	2799	1,87	2	300 L	4114
Falke	Turca	1,69	2	200 L	1955	-	-	-	-	1,686	2	275 L	3916
Filbia	Chinesa	-	-	-	-	-	-	-	-	2,791	1	300 L	3926
FogãoSol	Portuguesa	-	-	-	-	-	-	-	-	1,66	3	302 L	3104
Haice	Grega	2,3	1	195 L	1200	1,78	2	295 L	1660	1,78	2	300 L	-
Helional	Grega	1,78	1	198 L	1963	1,78	2	301 L	2686	1,78	2	305 L	4095
Hewalex	Suiça	1,82	1	185 L	1960	1,82	2	280 L	2794	1,82	2	291 L	4106
Immosolar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,86	2	300 L	4120
Jacques Giordano	Francesa	1,97	1	187L	1970	1,97	2	282 L	2800	1,97	2	300 L	4120
Junkers	Portuguesa	2,23	1	195 L	2023	1,94	2	280 L	2915	2,23	2	286 L	4260
KBB	Alemã	2,3	1	200 L	1900	1,98	2	300 L	2946	1,973	2	302 L	3926
Maltezos	Grega	1,18	2	199 L	1550	1,76	2	299 L	2350	1,76	2	299 L	3000
Martifer Ener-Q	Portuguesa	2,06	1	220 L	1968	2,06	2	300 L	2802	2,06	2	300 L	4120
Nau	Alemã	-	-	-	-	-	-	-	-	1,91	2	300 L	4116
NES	Búlgara	1,9	1	200 L	1946	1,9	2	300 L	2702	1,9	2	300 L	3874
Norquente	Portuguesa	1,91	2	200 L	1968	1,91	3	300 L	3198	1,91	3	300 L	3198
Openplus	Portuguesa	2,02	1	200 L	1835	2,02	2	300 L	2500	2,02	2	300 L	3350
Rigsun	Grega	2,3	1	200 L	1845	1,8	2	300 L	2583	2,3	2	300 L	3444
Sammler	Grega	2,26	1	192 L	1912	1,91	2	280 L	2678	1,91	2	298 L	4015
Sanitech	Turca	2,16	1	200 L	1760	2,16	2	287 L	2600	2,16	2	300 L	-

Avaliação de ciclo de vida de sistemas solares térmicos em edifícios

Saunier Duval	-	-	-	2054	-	-	-	2944	-	-	-	4793	
Schuco	Alemã	1,89	1	200 L	2354	1,89	2	293 L	3495	2,128	2	295 L	5050
Solahart	Australiana	1,86	1	180 L	2091	1,86	2	300 L	3075	1,86	2	300 L	4059
Solar Project SA	Espanhola	1,91	1	200 L	1970	-	-	-	-	1,91	2	300 L	3100
Solarfocus	Austríaca	-	-	-	-	-	-	-	-	2,523	2	289,2 L	4120
Solargus	Portuguesa	1,62	2	200 L	2016	1,62	2	300 L	2784	1,62	3	300 L	3840
Solarinox	Portuguesa	1,97	1	175 L	1970	1,97	2	175+175L	2800	1,97	2	300 L	4120
Solid	Austríaca	-	-	-	-	-	-	-	-	3,802	1	400 L	4120
Solius	Portuguesa	2,06	1	192 L	1750	2,06	2	280 L	2350	2,06	2	290 L	3340
Solution	Austríaca	-	-	-	-	-	-	-	-	2,49	2	380 L	4120
Sonnenkraft	Austríaca	2,1	1	200 L	1763	2,1	2	300L	2568	2,21	2	292 L	4594
Suncore	Grega	2,3	1	200 L	1905	1,78	2	300 L	2690	2,3	2	300 L	3890
Sunset	Alemã	1,87	1	200 L	1970	1,87	2	300 L	2800	1,87	2	300 L	4120
Teknoenergy	Italiana	1,96	1	200 L	1510	-	-	-	-	-	-	-	-
Thermosolar	Eslováquia	1,778	1	202 L	1945	1,778	2	288 L	2778	1,78	2	291 L	3945
Tisun	Austríaca	-	-	-	-	-	-	-	-	2,36	2	298 L	4120
Uniko	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,86	2	300 L	4014
Vaillant	-	-	1	178 L	2494	-	2	285 L	3451	2,35	2	300 L	5010
Vicoren	Alemã	-	-	-	-	-	-	-	-	2,99	1	298 L	3963
Vulcano	Portuguesa	2,23	1	195 L	2007	2,23	2	280 L	3000	2,23	2	286 L	4490
Westech Components	-	-	-	-	1910	-	-	-	-	-	-	-	4091
Wikora	Alemã	2,14	1	200 L	1968	1,8	2	300 L	2952	1,8	2	300 L	3321
Zantia	Turca	2,25	1	190 L	1599	2,25	2	284 L	2337	2,25	2	322 L	2952

ANEXO VI

Caso de estudo

Relatório Final do Sistema Solar Térmico

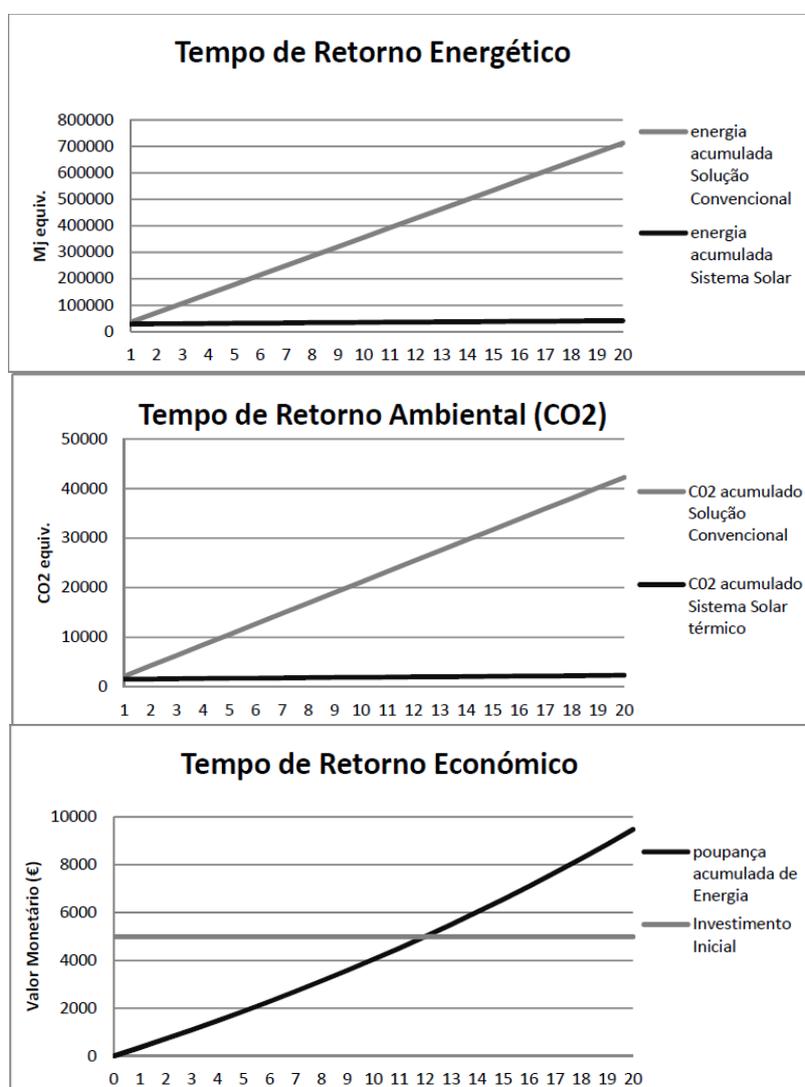
Localização do edifício:	Penafiel
Tipo de Residência:	Unifamiliar
Tipo de sistema solar térmico:	Sistema com circulação Forçada

Área total de captação solar:	4	m ²
Esolar:	2434	KWH/ano
Necessidades Energéticas AQS:	145	KWH/ano

Tempo de Retorno Energético:	0,8	Anos
Tempo de Retorno de CO2:	0,7	Anos
Tempo de Retorno Económico:	12,6	Anos

Impactes do sistema solar selecionado na integração de um edifício com :	60	Anos
--------------------------------------------------------------------------	----	------

ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ADP_FF	ERE
5,30E+01	6,91E+03	0,00E+00	3,20E+01	2,00E+00	2,10E+01	1,15E+05	9,46E+03



Relatório: Solução de Referência