

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Eficiência Energética em Edifícios: Oportunidades e Desafios

Pedro Brogueira Andrade

Versão Final

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Doutor Fernando Maciel Barbosa

Fevereiro de 2012

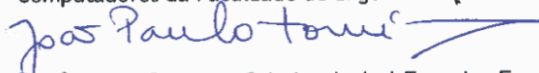
A Dissertação intitulada

“Eficiência Energética em Edifícios: oportunidades e desafios”

foi aprovada em provas realizadas em 15-02-2012

o júri

Presidente Professor Doutor João Paulo Tomé Saraiva
Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professora Doutora Cristina Isabel Ferreira Faustino Agreira
Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto
Superior de Engenharia de Coimbra



Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Pedro Brogueira Andrade

Resumo

A análise da eficiência energética é cada vez mais importante. Neste trabalho são focadas as oportunidades e os desafios envolvidos, sendo apontadas algumas medidas de eficiência energética, bem como todos os programas associados à mesma não só a nível nacional, mas também a nível europeu e internacional.

Os *zero energy buildings* desempenham um papel crucial quando se fala no conceito de eficiência energética aplicada a edifícios, na medida em que não são mais do que edifícios energeticamente eficientes, construídos de acordo com as normas de cada país para que o consumo seja (quase) nulo. Foram selecionados alguns países específicos de forma a ser feita uma análise mais aprofundada sobre a situação atual em cada um e as medidas a que se comprometeram na elaboração do protocolo de Quioto.

Foram analisadas as energias renováveis aplicadas ao conceito de eficiência energética e feito o dimensionamento de uma instalação fotovoltaica aplicada a uma habitação para microprodução utilizando 2 programas de dimensionamento: PVSYST e *Sunny Design*, tendo sido estudada toda a legislação aplicável.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Painéis Fotovoltaicos, Protocolo de Quioto, *Zero Energy Buildings*.

Abstract

The analysis of energy efficiency is becoming a very important subject. This project is focused on the opportunities and challenges that come with it. Energy efficiency measures are analysed, as well as all the programs related to it, not only at National but also at European and International level.

The zero energy buildings play a crucial role when it comes to the concept of energy efficiency in buildings, as they buildings that achieve a high level of efficiency, according to the standards applied in each country, resulting in a nearly zero energy use. Moreover, a number of specific countries were selected in order to do a deep analysis on the current status of each one and the measures that were decided when they signed the Kyoto Protocol.

The renewable energies applied to the concept of energy efficiency were analysed and the design of a photovoltaic system applied to a housing for micro-production was made. In order to do this two programs were used: PVSYST and Sunny Design. Furthermore, all the legislation involved in the micro-production in Portugal has been studied.

Keywords: Energy Efficiency, Kyoto Protocol, Photovoltaic Panels, Zero Energy Buildings.

Agradecimentos

Gostaria de prestar o meu sincero agradecimento ao professor Doutor Fernando Maciel Barbosa por todo o empenho e dedicação prestados ao longo do projeto. Obrigado pelo seu acompanhamento, disponibilidade, conselhos e sugestões que se relevaram cruciais para que o trabalho fosse bem sucedido.

Agradeço à STGEN por me disponibilizarem a informação necessária para a avaliação económica e por esclarecerem todas as dúvidas que me surgiram sobre a microprodução.

A todos os meus amigos de curso e fora dele que me acompanharam ao longo destes anos de Faculdade, que estiveram sempre lá quando mais precisei, um muito obrigado.

Ao meu Pai e aos meus Irmãos pelo apoio e por tudo o que me ensinaram e que me levou a ser capaz de atingir os objetivos pretendidos.

A ti Mãe, que sei que estás sempre presente. Tornaste-me naquilo que sou hoje e fazes-me acreditar que posso ser sempre melhor.

Ao André, Neia, Pizarro e Hugo por nunca me deixarem sozinho e me apoiarem incondicionalmente em qualquer situação. Um muito obrigado por todo o apoio, amizade e conselhos que me foram dando ao longo do tempo.

A ti Ticha, que tanta confiança depositas em mim e fazes-me acreditar que sou capaz de tudo, através das tuas palavras e das tuas ações.

“Your time is limited, so don’t waste it living someone else’s life. Don’t be trapped by dogma – which is living with the results of other people’s thinking. Don’t let the noise of others’ opinions drown out your own inner voice. And most important, have the courage to follow your heart and intuition. They somehow already know what you truly want to become. Everything else is secondary.”

Steve Jobs

Índice

Resumo	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2 ORGANIZAÇÃO E OBJETIVOS	7
Capítulo 2	9
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS	9
2.1 O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O SECTOR RESIDENCIAL	9
2.1.1. <i>Desenvolvimento Sustentável</i>	10
2.1.2. <i>Políticas e Legislação em Portugal</i>	11
2.1.3. <i>Legislação europeia</i>	12
2.1.4. <i>O Edifício Solar XXI</i>	13
2.2 EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS	16
2.2.1. <i>Isolamento</i>	17
2.2.2. <i>Climatização</i>	18

2.2.3.	<i>Iluminação</i>	18
2.2.4.	<i>Electrodomésticos</i>	19
2.3	CONSTRUÇÃO	20
2.4	APLICAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO	20
2.4.1.	<i>Sistemas Solares Térmicos para Águas Quentes Sanitárias (AQS)</i>	21
2.4.2.	<i>Microturbinas eólicas</i>	22
2.4.3.	<i>Painéis solares fotovoltaicos</i>	22
2.4.4.	<i>Sistemas de aquecimento biomassa</i>	24
2.4.5.	<i>Bombas de calor geotérmico</i>	25
2.4.6.	<i>Parede de Trombe (ou coletora)</i>	26
2.4.7.	<i>Arrefecimento Solar</i>	27
2.4.8.	<i>Aquecimento/arrefecimento por superfícies radiantes</i>	28
2.5	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	29
2.5.1.	<i>Indicador de Eficiência Energética de Aquecimento</i>	30
2.5.2.	<i>Indicador de Eficiência Energética de Arrefecimento</i>	30
2.6	ENERGY SERVICE COMPANIES	30
2.6.1.	<i>Tipos de contratos das ESCO</i>	31
2.7	CONCLUSÕES	32
Capítulo 3		35
	PROGRAMAS ASSOCIADOS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	35
3.1	ENE 2020	35
3.2	PLANO NACIONAL DE AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	38
3.3	PLANO DE PROMOÇÃO DA EFICIÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA	39
3.3.1.	<i>PPEC 2011-2012</i>	40
3.4	PROGRAMA DE EFICIÊNCIA NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	41
3.5	PACOTE 20-20-20	42
3.5.1.	<i>Contribuição dos Estados-Membros</i>	43
3.5.2.	<i>Captura e armazenagem de carbono</i>	43
3.5.3.	<i>Energia proveniente de fontes renováveis</i>	43
3.6	PLANO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE 2011	44
3.6.1.	<i>Eficiência energética na despesa pública</i>	44
3.6.2.	<i>Renovação dos edifícios públicos</i>	45
3.6.3.	<i>Contratos de desempenho energético</i>	45
3.6.4.	<i>Aplicar a eficiência energética no terreno</i>	45
3.6.5.	<i>Reduzir o consumo de energia térmica nos edifícios</i>	46
3.7	CONCLUSÕES	46

Capítulo 4	47
ZERO ENERGY BUILDINGS (ZEB)	47
4.1 PRIORIZAR AS TECNOLOGIAS USADAS NOS ZEB	48
4.2 SITUAÇÃO ATUAL	49
4.2.1. Austrália	51
4.2.2. China	52
4.2.3. Dinamarca	54
4.2.4. Alemanha	56
4.2.5. Japão	58
4.2.6. Suíça	59
4.2.7. Reino Unido	62
4.2.8. Estados Unidos da América (EUA)	63
4.3 LEGISLAÇÃO	65
4.4 PASSIVHAUS	67
4.4.1. Conforto Interior	68
4.4.2. Custo da casa Passivhaus	69
4.4.3. Passivhaus em Portugal	69
4.5 DESAFIOS E POTENCIAIS SOLUÇÕES	72
4.5.1. Conhecimento dos profissionais	72
4.5.2. Consciência e envolvimento	74
4.5.3. Barreira ao progresso	75
4.5.4. Barreiras de mercado	75
4.5.5. Vantagens e impactos da utilização racional de energia (URE)	76
4.6 CONCLUSÕES	78
Capítulo 5	79
ENERGIAS RENOVÁVEIS APLICADAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	79
5.1 LEGISLAÇÃO APLICADA À MICROPRODUÇÃO	79
5.2 REMUNERAÇÃO DE PRODUTORES EM REGIME ESPECIAL	84
5.3 ENERGIA SOLAR	86
5.3.1. O efeito fotovoltaico	87
5.3.2. Princípio de funcionamento	87
5.3.3. Tecnologias dos módulos fotovoltaicos	88
5.4 HÍBRIDOS	90
5.5 CONCLUSÕES	94
Capítulo 6	95
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE	95
6.1 SELEÇÃO DE MÓDULOS	96

6.2	TENSÃO DOS MÓDULOS PARA DIFERENTES CONDIÇÃO DE FUNCIONAMENTO	96
6.3	CÁLCULO DA TENSÃO PARA AS TEMPERATURAS EXTREMAS DO MÓDULO	97
6.4	SELEÇÃO DO INVERSOR	97
6.5	LIMITES DE TENSÃO E DA CONFIGURAÇÃO DO MÓDULO	97
6.6	CONFIGURAÇÃO DO PAINEL COMPATÍVEL COM O INVERSOR	98
6.7	PVSYST	99
6.7.1.	<i>Características do local e do projeto</i>	99
6.7.2.	<i>Seleção dos módulos</i>	102
6.7.3.	<i>Seleção do Inversor</i>	103
6.7.4.	<i>Configuração do sistema</i>	104
6.8	SUNNY DESIGN	108
6.8.1.	<i>Seleção do local e dos módulos</i>	108
6.8.2.	<i>Seleção do inversor</i>	109
6.8.3.	<i>Resultados da configuração</i>	110
6.9	SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO SUNNY BEAM	110
6.10	AValiação Económica	113
6.11	CONCLUSÕES	117
Capítulo 7		119
	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	119
7.1	CONCLUSÕES GERAIS	119
7.2	PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS	120
Referências		121
Anexo A		127

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Taxa de dependência energética de Portugal.	3
Figura 1.2 - Evolução da Intensidade Energética de Portugal comparada com as médias da União Europeia a 15 e a 27	4
Figura 1.3 - Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal.	5
Figura 1.4 - Consumo de Energia Final por Sector	5
Figura 1.5 - Consumo de Energia no Sector Residencial.....	6
Figura 1.6 - Consumo de Energia no Sector Comercial	6
Figura 2.1 - Utilização dos recursos naturais.	10
Figura 2.2 - Dimensão económica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável	11
Figura 2.3 - Exemplo de classes que pertencem à certificação energética em edifícios	12
Figura 2.4 - Edifício Solar XXI	15
Figura 2.5 - Módulo de painéis fotovoltaicos com ventilação inferior e superior	15
Figura 2.6 - Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico	16
Figura 2.7 - Aspectos relevantes na construção de um edifício.....	17
Figura 2.8 - Sistema biomassa.....	24
Figura 2.9 - Exemplo de um sistema geotérmico.....	25
Figura 2.10 - Parede de trombe.....	26
Figura 2.11 - <i>Chiller</i> de absorção - Hotel de Rethymnon - Creta (Grécia)	28
Figura 2.12 - Sistemas de aquecimento/arrefecimento por superfícies radiantes.....	29
Figura 3.1 - Áreas do Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética	38
Figura 4.1 - Definição de <i>Zero Energy Buildings</i>	47
Figura 4.2 - Redução das emissões de carbono para novos edifícios - transição proposta para 2016.....	49
Figura 4.3 - Emissões de carbono por unidade de energia nos diferentes países (kgCO ₂ /kWh)	50
Figura 4.4 - <i>Australia's Zero Emission House</i> (ZEH) em Melbourne	52
Figura 4.5 - <i>Dongtan Eco-City</i> na China.....	54
Figura 4.6 - <i>Skotteparken Egebjerggard</i> em Ballerup	55
Figura 4.7 - Número e tipo de edifícios construídos antes e depois de 1973 na União Europeia	56

Figura 4.8 - <i>Vauban</i> em Freiburg	58
Figura 4.9 - <i>Kanagawa Hybrid Z</i>	59
Figura 4.10 - Número de edifícios <i>MINERGIE</i> de 1999 até 2009	60
Figura 4.11 - Edifício desenvolvido de acordo com a <i>MINERGIE</i> em Brunnenhof	61
Figura 4.12 - <i>Beddington Zero Energy Development (BedZED)</i>	63
Figura 4.13 - <i>Vista Montaña Zero Energy Community</i> em Watsonville	65
Figura 4.14 - Consumo de energia para aquecimento em edifícios em Portugal para 3 casos diferentes de ventilação de acordo com a norma EN 15251	68
Figura 4.15 - Imagem 3D da casa <i>Passivhaus</i> proposta para Portugal.....	70
Figura 4.16 - Estimativa das necessidades anuais de aquecimento (vermelho) e de arrefecimento (azul) para uma casa típica e uma casa <i>Passivhaus</i>	72
Figura 4.17 - Estimativa da contribuição dos edifícios para o total das emissões	73
Figura 4.18 - Estimativa de custo para um edifício sustentável certificado	73
Figura 4.19 - Consciência e envolvimento dos profissionais de construção	74
Figura 4.20 - Esquema do mercado de certificados brancos	78
Figura 5.1 - Exemplo de instalação de microprodução ligado à rede	80
Figura 5.2 - Sistemas de energia híbridos	91
Figura 5.3 - Diagrama de blocos de um sistema híbrido	92
Figura 5.4 - Sistema híbrido instalado em Miami	92
Figura 5.5 - Exemplo de um sistema híbrido isolado	93
Figura 6.1 - Menu principal do programa PVSYST	100
Figura 6.2 - Percurso solar em função do azimute solar no Porto.....	101
Figura 6.3 - Orientação dos painéis para o sistema fixo.	101
Figura 6.4 - Introdução da potência máxima para o sistema FV.....	102
Figura 6.5 - Seleção do tipo de módulo do sistema FV.....	102
Figura 6.6 - Características elétricas dos painéis SunTech.	103
Figura 6.7 - Seleção do tipo de inversor.....	103
Figura 6.8 - Características do inversor.	104
Figura 6.9 - Resultado da simulação do projeto.....	105
Figura 6.10 - Energia incidente (kWh/m ² /kWp), em cada mês, no painel fotovoltaico.	105
Figura 6.11 - Produção anual normalizada (por kWp instalado), para a potência nominal de 3.6 kWp, considerando-se as perdas.	106
Figura 6.12 - Desempenho do sistema fotovoltaico.....	106
Figura 6.13 - Energia diária injetada na rede em função da irradiação solar.	107
Figura 6.14 - Energia anual injetada na rede.....	107
Figura 6.15 - Seleção do sistema e respectiva localização.	108
Figura 6.16 - Seleção do inversor.....	109
Figura 6.17 - Resultados da configuração.	110

Figura 6.18 - Rendimento dos últimos 31 dias.	111
Figura 6.19 - Rendimento dos últimos 12 meses.	112
Figura 6.20 - Rendimento específico do ano.	112
Figura 6.21 - Evolução do <i>cash-flow</i> admitindo a instalação em 2010.	115
Figura 6.22 - Evolução do <i>cash-flow</i> admitindo a instalação em 2012.	117

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Comparação da variação da intensidade da radiação solar global (W/m^2) e das percentagens da radiação direta e difusa com os diversos estados de nebulosidade do céu	21
Tabela 2.2 - Contratos entre ESCO e empresa que contrata os seus serviços	32
Tabela 4.1 - Hierarquia das fontes de energia renovável dos ZEB.....	48
Tabela 4.2 - Comparação de custos <i>Passivhaus</i> em 5 países	69
Tabela 5.1 - Diferenças entre o novo e o antigo regime	83
Tabela 5.2 - Comparação da eficiência das células fotovoltaicas	90
Tabela 6.1 - Valores extraídos do sistema de monitorização.	111
Tabela 6.2 - Evolução das tarifas e proveito acumulado com o projeto em 2010.	113
Tabela 6.3 - Orçamento do sistema fotovoltaico em 2010.	114
Tabela 6.4 - Evolução das tarifas e proveito acumulado com o projeto para 2012.....	115
Tabela 6.5 - Orçamento do sistema fotovoltaico em 2012.	116

Abreviaturas e Símbolos

Lista de Abreviaturas

BedZED	<i>Beddington Zero Energy Development</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaic</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DRE	Direção Regional de Economia
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
ERSE	Entidade Reguladora de Serviços Energéticos
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases de Efeito de Estufa
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IEE	Índice de Eficiência Energética
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
NatHERS	<i>Nationwide House Energy Rating Scheme</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PNAEE	Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética
PPEC	Plano de Promoção de Eficiência do Consumo de Energia Eléctrica
SRM	Sistema de Registo de Microprodução
UE	União Europeia
URE	Utilização Racional de Energia
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>

Lista de símbolos

€/kWh	Euros por kilowatt-hora
kgCO ₂ /kWh	Quilograma de emissões de dióxido de carbono por kilowatt hora
kgCO ₂ /m ² .ano	Quilograma de emissões de dióxido de carbono por metro quadrado por ano
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWh/m ²	Kilowatt hora por metro quadrado
kWh/m ² .ano	Quilowatt hora por metro quadrado por ano

kWh/ano	Quilowatt-hora por ano
kWh/m ² /kWp	Quilowatt-hora por metro quadrado por quilowatt-pico
kWh/kWp/dia	Quilowatt-hora por kilowatt pico por dia
kWh/dia	Quilowatt-hora por dia
kWp	Quilowatt-pico
MW	Megawatt
Wp	Watt-pico
W/m ² .K	Watts por metro quadrado Kelvin
tep	Tonelada equivalente em petróleo

Capítulo 1

Introdução

A eficiência energética é um conceito muito relevante nos dias de hoje, associado à sustentabilidade energética e ao facto de haver uma necessidade de mudar o nosso comportamento face às questões sociais, económicas e ambientais que estão relacionadas com este tema. A eficiência energética pode ser definida como a optimização que podemos fazer no consumo de energia [1].

Aprender a utilizar a energia de forma responsável é uma das medidas que pode garantir um futuro melhor para as próximas gerações.

1.1 Enquadramento e Motivação

O Protocolo de Quioto impõe um tecto nas emissões para a atmosfera de CO₂ e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa (GEE) e que contribuem para o aquecimento global. Cada estado que assinou o Protocolo prontificou-se a tomar as medidas necessárias para limitar a produção de GEE no seu espaço.

O CO₂, é o gás mais representativo que contribui para o aquecimento global e é libertado essencialmente através da queima de combustíveis fósseis, para a produção de calor e de electricidade ou nos transportes.

O enquadramento da política ambiental está explicado na resolução do Conselho de Ministros nº 59/2001, de 30 de Maio, que aprovou a estratégia para as alterações climáticas, e na Lei 93/2001, de 20 de Agosto. Estes diplomas possibilitaram a criação de instrumentos para prevenir as alterações climáticas. Neste sentido, foi apresentado o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) [2]. Atendendo ao facto da energia ser repartida por vários sectores de atividade, tais como: indústria, edifícios (residenciais e serviços) e os transportes, é essencial que se tomem medidas adequadas para cada sector.

Na Resolução do Conselho de Ministros nº154/2001 [2], de 19 de Outubro, o governo português definiu o programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas), com o objetivo de promover a eficiência energética e a valorização das energias endógenas, bem como contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da sociedade, garantindo em simultâneo a qualidade de vida das gerações

Introdução

vindouras pela redução de emissões, em particular do CO₂, responsável pelas alterações climáticas. Este programa do governo assume uma elevada importância sendo um contributo decisivo para atingir os patamares decididos na resolução do Protocolo de Quioto.

Atendendo a que 20% do consumo de energia final em Portugal, é dos edifícios tanto no sector residencial como o dos serviços, o programa E4 promove [2]:

- A eficiência energética nos edifícios, ou a utilização racional de energia (URE), atendendo a todos os tipos de consumo (águas quentes, iluminação, electrodomésticos, climatização).
- O recurso às energias endógenas nos edifícios, de modo a facilitar a implementação das energias renováveis nos edifícios (solar térmico, solar fotovoltaico, microturbinas, células de combustível, etc.).

O problema da eficiência energética verifica-se não só a nível Nacional, mas também a nível Europeu, já que a soma total do consumo dos edifícios representam cerca de 40% dos consumos globais de energia. A União Europeia apontou este objetivo como uma das suas metas mais importantes para o futuro imediato e elaborou uma proposta de Diretiva para a Eficiência Energética dos Edifícios que irá ser falado posteriormente [2].

Portugal é um país com escassos recursos energéticos endógenos, principalmente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (petróleo, carvão e gás). A escassez de recursos fósseis conduz a uma elevada dependência energética do exterior (81,2% em 2009), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. É essencial aumentar a contribuição das energias renováveis: hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa (sólida, líquida e gasosa). A taxa de dependência energética tem vindo a decrescer desde 2005, apesar de ter sofrido um ligeiro agravamento no ano de 2008 relativamente a 2007 [3].

Devido à percepção de todos estes factores começaram a ser tomadas medidas no sentido de reduzir a dependência energética e o próprio consumo energético não só nos edifícios, mas em tudo o que envolve o consumo de energia elétrica.

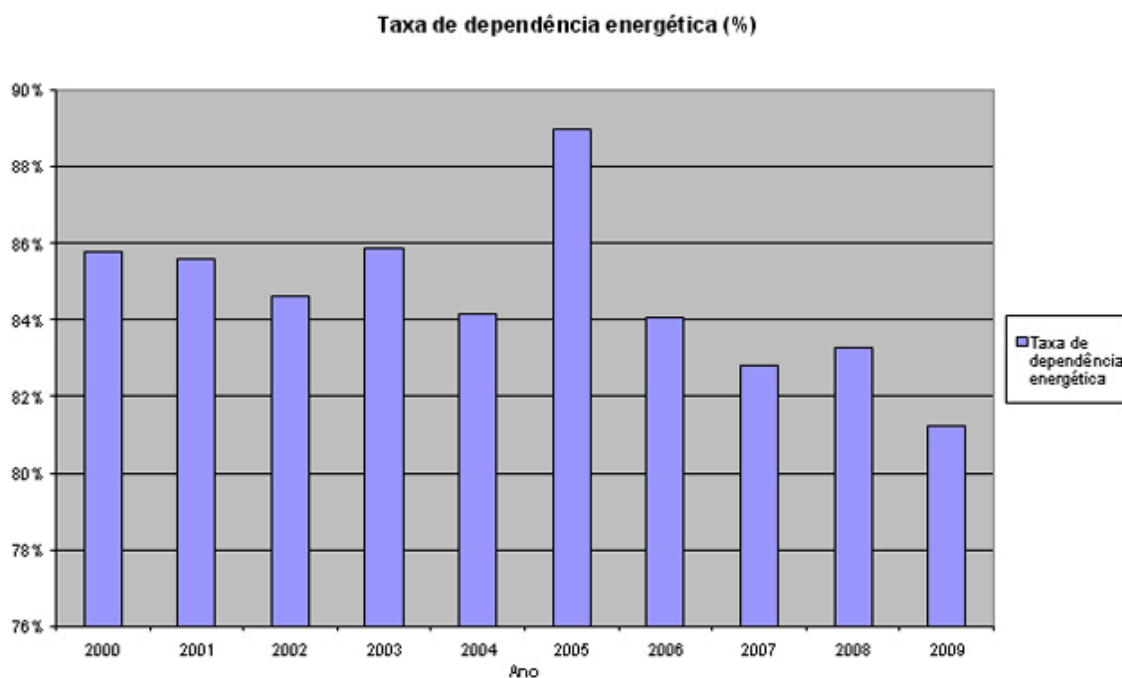


Figura 1.1 - Taxa de dependência energética de Portugal [3].

Através da figura 1.1, é possível verificar que o petróleo continua a ser a principal fonte de energia primária em Portugal. Verifica-se, no entanto, o aumento da produção de energia renovável no sentido de contribuir para a sustentabilidade energética.

A utilização eficiente é essencial para a competitividade económica de um país. Portugal é um país com uma elevada intensidade energética, sendo este um indicador da eficiência energética global do país. Entre 1997 e 2007, a evolução da intensidade energética em Portugal, expressa em consumo de energia primária final (tep) por unidade de Produto Interno Bruto (PIB em milhão de euros, a preços constantes de 2000), ficou bastante além da média europeia (Figura 1.2). É também possível verificar que houve uma inversão da tendência nos anos entre 2005 e 2007, que ocorreu devido ao efeito cumulativo da diminuição do consumo de energia final e do aumento do PIB [4].

Introdução

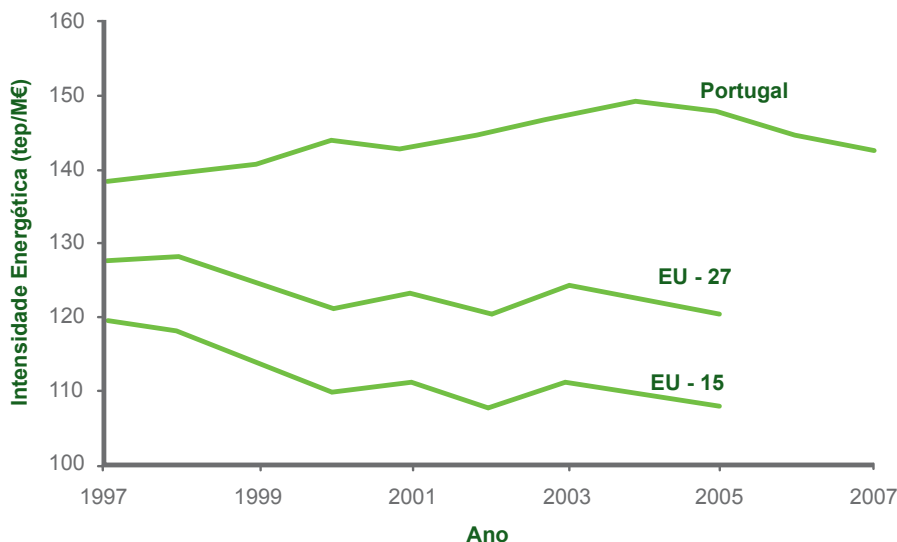


Figura 1.2 - Evolução da Intensidade Energética de Portugal comparada com as médias da União Europeia a 15 e a 27 [4].

A economia portuguesa caracteriza-se por possuir uma intensidade energética (figura 1.2) e uma intensidade carbónica elevadas. Caracteriza-se também por possuir uma dependência muito elevada da importação no que respeita ao consumo de energia primária (como se pode verificar na figura 1.1). Tal como noutras economias com baixa eficiência energética e com alta dependência da importação de energia primária, o equilíbrio externo da economia portuguesa é extremamente condicionado pela variação do preço do petróleo.

Desta forma, nos últimos anos, com a subida do preço do petróleo verificou-se uma perda de competitividade das empresas portuguesas. A nível ambiental, a emissão excessiva de dióxido de carbono (CO_2) e de outros gases com efeito de estufa é uma das principais consequências da falta de eficiência no consumo de energia obtida da queima de combustíveis fósseis. De acordo com o Protocolo de Quioto, os países da UE-15 comprometeram-se a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 8% por comparação com os níveis de 1990. Caso as metas propostas não sejam atingidas até 2012, estes países podem ter que vir a pagar coimas pesadas e o seu prestígio ambiental será diminuído [4].

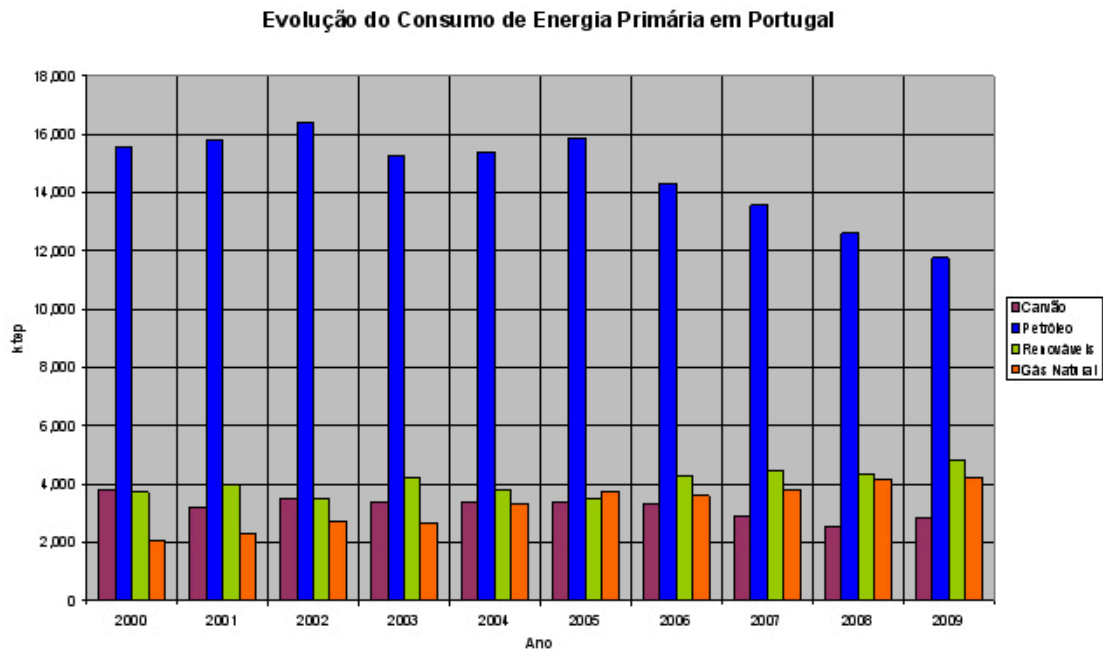


Figura 1.3 - Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal [3].

A análise da figura 1.3 mostra que o petróleo continua a ter um papel essencial na estrutura de abastecimento, correspondendo a 48,7% do consumo total de energia primária em 2009, contra 51,6% em 2008. Por sua vez, o gás natural contribuiu, ao longo da última década, para diversificar a estrutura da oferta de energia e reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo. Este combustível, em 2009, representa cerca de 17,5% do total do consumo em energia primária contra 17,0% em 2008. O consumo de carvão, em 2009, foi de cerca de 11,8% do total do consumo de energia primária. É possível prever uma redução progressiva do peso do carvão na produção de eletricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO₂. Em 2009, o contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 20% contra 17,7% em 2008 [3].

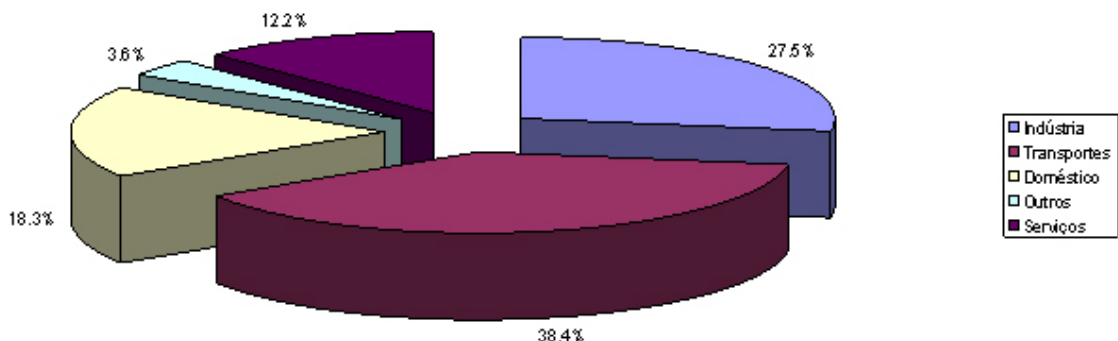


Figura 1.4 - Consumo de Energia Final por Sector [3].

Para se perceber melhor onde é que se verifica maior consumo de energia no caso do sector residencial, procedeu-se à análise da figura 1.5.

Sector Residencial

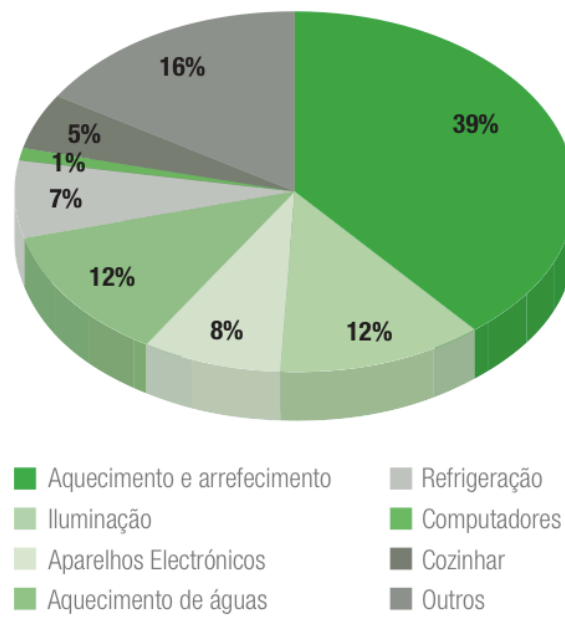


Figura 1.5 - Consumo de Energia no Sector Residencial [5].

No sector comercial a situação é semelhante como se pode verificar a partir da figura 1.6.

Sector Comercial

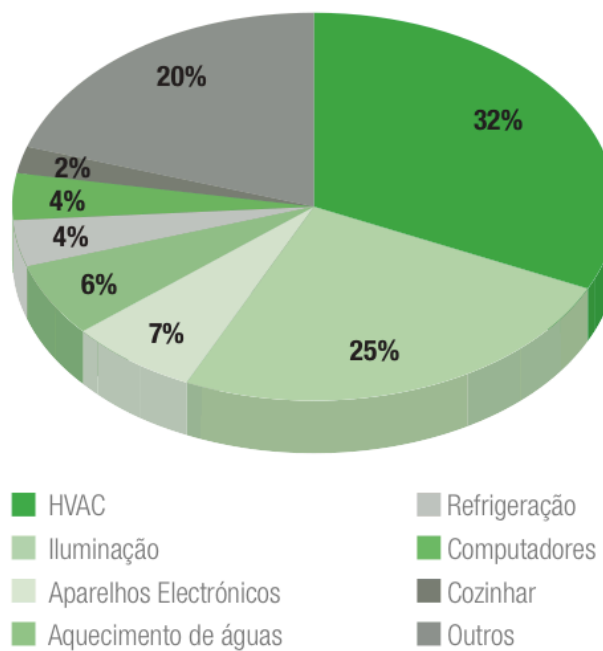


Figura 1.6 - Consumo de Energia no Sector Comercial [5].

Através da análise da figura 1.6 é possível concluir que há um ligeiro aumento de consumo em iluminação e refrigeração, mas o foco essencial continua no aquecimento e arrefecimento que neste caso é o HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*).

1.2 Organização e Objetivos

O trabalho desenvolvido nesta dissertação tem os seguintes objetivos:

- Analisar as diferentes alternativas para melhorar a eficiência energética de edifícios, face ao custo crescente da energia.
- Fazer o estudo dos vários planos e legislação existentes que estejam relacionados com a eficiência energética.
- Analisar as várias tecnologias de energias renováveis que permitem aumentar a eficiência energética de um edifício.
- Estruturação de uma proposta para um edifício para melhorar a eficiência energética.

Esta dissertação é constituída por 7 capítulos, uma bibliografia e anexos com dados dos painéis fotovoltaicos e os resultados obtidos.

No capítulo 1 encontra-se ainda a motivação, o enquadramento e ainda os objetivos para a elaboração desta dissertação.

O capítulo 2 apresenta o estado da arte referente à eficiência energética em edifícios onde é feita uma abordagem às tecnologias envolvidas no sentido de conseguir um aumento da eficiência energética bem como um conjunto de medidas que podem ser tomadas para o mesmo objetivo

No capítulo 3 são descritos alguns programas associados à eficiência energética a nível nacional e internacional, os quais foram analisados com especial atenção aos tópicos relacionados com edifícios.

No capítulo 4 é feita uma análise profunda aos *zero energy buildings* e são estudados vários países que são grandes investidores neste novo conceito e para cada um é dado um exemplo de edifício no qual foi aplicado o conceito *zero energy*.

No capítulo 5 são analisadas as energias renováveis aplicadas à eficiência energética, tendo sido dada especial atenção à legislação e remuneração aplicada à produção em regime especial. A energia solar e híbrida (solar e eólica) são as tecnologias analisadas com mais detalhe neste capítulo.

No capítulo 6 foi feito o dimensionamento de uma instalação fotovoltaica ligada à rede no Porto através de dois programas: PVSYST e *Sunny Design*.

O capítulo 7 finaliza a dissertação apresentando as principais conclusões do trabalho desenvolvido, assim como a sua possível contribuição. São ainda propostos possíveis trabalhos futuros no seguimento deste estudo.

Capítulo 2

Eficiência Energética em Edifícios

2.1 O Desenvolvimento Sustentável e o Sector Residencial

Num edifício, quando se analisa a possibilidade de incluir medidas de eficiência energética, deve-se estar atento às seguintes características [6]:

- Isolamento térmico nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas (pontos localizados onde há maior perda de calor em relação às restantes áreas) na envolvente do edifício;
- Presença de humidade;
- Desempenho térmico de vãos envidraçados e portas (perdas de calor por transmissão térmica e por infiltrações de ar);
- Proteções solares adequadas nos vãos envidraçados, de forma a regular a carga térmica nas estações de arrefecimento;
- Controlo da ventilação, de forma a otimizar os níveis de humidade relativa e temperatura. A humidade aumenta significativamente a condutividade térmica da maioria dos materiais isolantes, diminuindo a sua eficiência, além de ser prejudicial para a saúde, pois favorece o desenvolvimento de bactérias;
- Gestão do uso: atenção ao estado das janelas e portas e climatização apenas em espaços necessários.

As medidas de eficiência energética [6] a aplicar na envolvente dos edifícios já existentes podem realizar-se através de:

- Reforço da sua proteção térmica (aumento do isolamento térmico), controlo de ganhos solares);
- Controlo das infiltrações de ar (reabilitação da caixilharia exterior);

- Recurso a tecnologias solares passivas (arrefecimento evaporativo, cores claras nas fachadas, melhoria do arrefecimento passivo e ventilação natural).

2.1.1. Desenvolvimento Sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável [7] surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico também tem que levar em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações humanas a nível global. A ideia de desenvolvimento sustentável tem por base o princípio de que o Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses recursos, de modo a evitar o seu esgotamento (figura 2.2). Assim, o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras fazerem o mesmo.

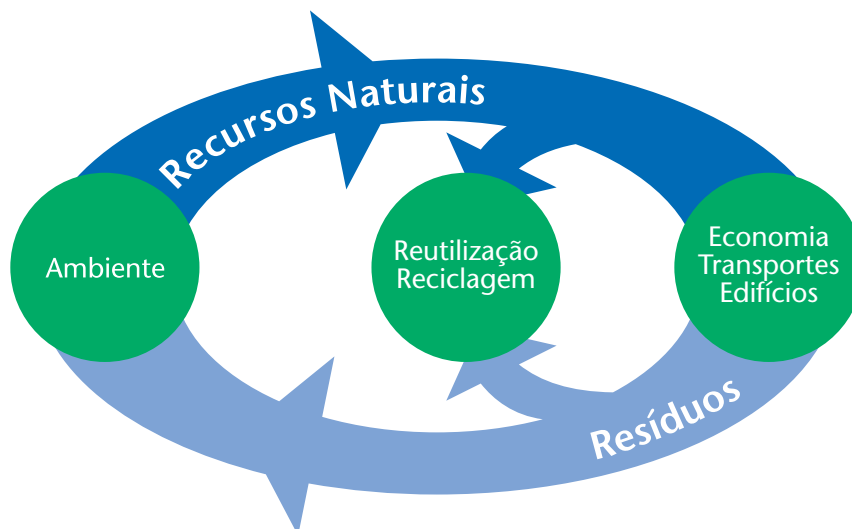


Figura 2.1 - Utilização dos recursos naturais.

O desenvolvimento sustentável assenta em 3 pilares: desenvolvimento económico, ambiental e social.

No plano económico [8], devem ser feitos esforços no sentido de aumentar a eficiência não só através da redução dos custos operacionais, mas também no que respeita à optimização dos investimentos para o desenvolvimento das infra-estruturas de transporte de energia eléctrica e de gás natural, incluindo o armazenamento de segurança e estratégico deste importante recurso, as quais são fundamentais para a qualidade do serviço e para a segurança do abastecimento energético do país.

No plano ambiental [8], deve apostar-se ao máximo no fornecimento de energia a partir de energias renováveis de forma a prevenir os impactes ambientais resultantes da produção de energia ou, quando tal não é possível, tentar minimizar e mitigar esses impactes.

No plano social [8], deve trabalhar-se no sentido de sensibilizar as pessoas para uma gestão ética e socialmente responsável e em que o relacionamento com os diferentes grupos de partes interessadas está assente num conjunto de sólidos valores e princípios.

O desenvolvimento sustentável aposta nas mudanças estruturais a longo prazo na economia e no sistema social, com o objetivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo o potencial económico e a coesão social. A atividade económica, o meio ambiente e o bem-estar global da sociedade formam o tripé básico no qual se apoia a ideia de desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se estes três eixos evoluírem de forma harmoniosa. Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável [7] pode ser representado pela figura 2.2 em que os três círculos representam as dimensões ambiental, económica e social associadas, sendo de salientar os seguintes aspectos:

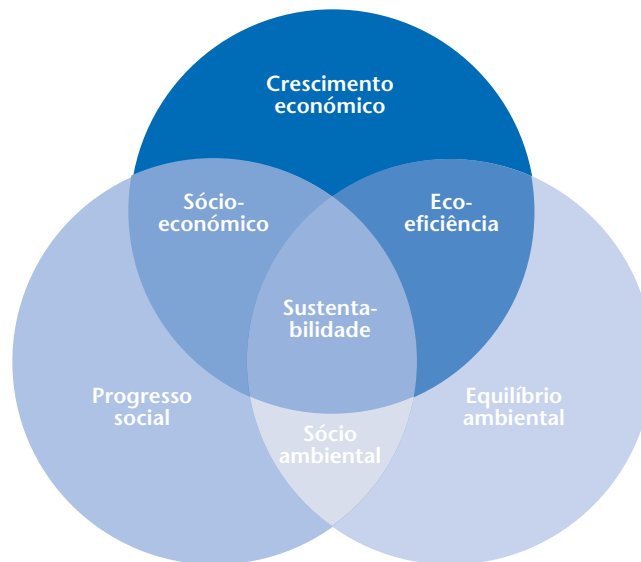


Figura 2.2 - Dimensão económica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável [7].

2.1.2. Políticas e Legislação em Portugal

Desde 1991 que está em vigor o RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifício - Decreto-Lei nº40/90, de 6 de Fevereiro. Após um arranque gradual, este regulamento constitui uma base excelente para a aplicação das medidas de eficiência energética. O ministério da economia tomou a iniciativa de lançar o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), que se baseia essencialmente na aplicação das medidas apontados no E4 para os edifícios.

Em 1998, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), Decreto-Lei 118/98, de 7 de Maio, foca essencialmente os edifícios com sistemas de climatização, de modo a obter melhores resultados relativos à eficiência energética. Este regulamento foi feito para garantir que “as exigências de conforto e qualidade do ambiente

impostas no interior dos edifícios, possam vir a ser asseguradas em condições de eficiência energética” [2].

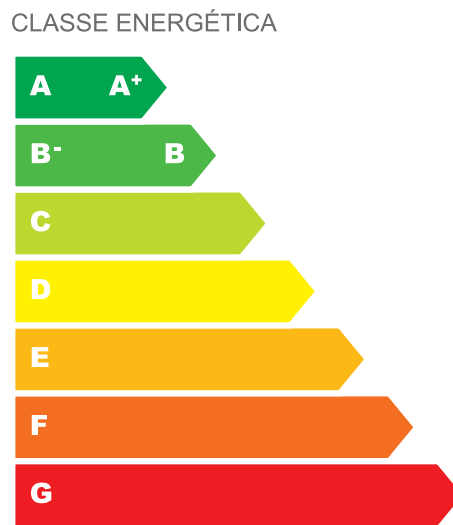


Figura 2.3 - Exemplo de classes que pertencem à certificação energética em edifícios [9].

A figura 2.3 representa o sistema de classificação energética adoptado para edifícios, em que A+ corresponde aos edifícios com maior eficiência energética e G aos edifícios com pior eficiência em termos energéticos.

2.1.3. Legislação europeia

Segundo [10] a diretiva 2006/32/CE tem por objetivo:

- Incrementar a relação custo-eficácia da melhoria da eficiência na utilização final, para contribuir para a melhoria da segurança do abastecimento de energia,
- Reduzir as emissões de CO₂ e de outros gases com efeito de estufa de forma a minimizar as alterações climáticas e explorar de forma economicamente eficaz as possibilidades de poupança de energia, tendo em consideração os custos e promovendo igualmente a inovação e a competitividade.

Com vista a esse fim, a diretiva estabelece alguns objetivos gerais [10], nomeadamente:

- Apresentação aos Estados-Membros dos objetivos indicativos de poupança e os mecanismos adequados para os alcançar;
- Definição de quadros institucionais, financeiros e jurídicos para remover os obstáculos e as imperfeições do mercado que impedem uma utilização final eficiente da energia;
- Criação de condições para o desenvolvimento de um mercado de serviços energéticos, particularmente para as PME;

- Consecução do objetivo global nacional indicativo de economias de energia de 9% para o nono ano de aplicação da diretiva, a alcançar através de serviços energéticos e de outras medidas de melhoria da eficiência energética.

Para além disso a diretiva 2006/32/CE [11] tem também em consideração que:

- Existe na Comunidade uma necessidade de melhoria da eficiência na utilização final de energia, de gestão da procura de energia e de promoção da produção de energia a partir de fontes renováveis. Esta diretiva contribui assim para uma melhoria da segurança do aprovisionamento.
- Uma maior eficiência na utilização final de energia resultará na redução do consumo de energia primária, na redução das emissões de CO₂ e de outros gases com efeito de estufa e, por conseguinte, na prevenção de alterações climáticas perigosas. Estas emissões continuam a aumentar, dificultando cada vez mais o cumprimento dos compromissos de Quioto.

2.1.4. O Edifício Solar XXI

O Edifício Solar XXI, construído em Lisboa, é um edifício com funções de serviços e laboratórios, com uma área total de 1500 m² dividida por 3 pisos, um dos quais semi-enterrado. As salas de ocupação permanente, localizam-se na frente orientada a Sul, de forma a tirar partido da insolação direta e assim promover ganhos de calor no Inverno. As zonas localizadas a Norte do edifício são ocupadas por espaços laboratoriais e salas para grupos de trabalho cuja ocupação é de carácter menos permanente.

A ideia inicial do projeto teve como objetivo construir um edifício capaz de responder positivamente às solicitações do clima de Lisboa, e com as condições de conforto térmico no seu interior sejam satisfeitas durante todo o ano [12]. O edifício foi projetado segundo uma lógica que junta várias estratégias com os seguintes objetivos:

- Optimização da qualidade da sua envolvente
- Potenciar os ganhos solares no edifício

Foi feita a optimização da qualidade térmica da envolvente, de forma a diminuir as perdas térmicas do edifício no período de Inverno, através da adopção de isolamento térmico adequado na sua envolvente (paredes, coberturas e pavimentos).

O isolamento foi colocado através do exterior, resultando num aumento da eficiência visto que no período de Inverno mantém a massa inercial do edifício no interior e portanto conserva-o mais quente. Por outro lado, no Verão, constitui uma primeira barreira à onda de calor exterior. A construção de forma a potenciar os ganhos solares no Inverno e reduzi-los no Verão, foi a estratégia principal no projeto. O edifício apresenta uma fachada virada a Sul

que constitui o principal elemento de captação solar, sendo que as restantes fachadas apresentam áreas de vãos mais diminutas.

Na fachada Sul, foram projetados amplos vãos que interagem diretamente com os gabinetes de ocupação permanente, protegidos com estores de lâminas exteriores reguláveis pelo utilizador. Os estores constituem elementos fundamentais em toda a estratégia solar do edifício. Pelo facto de serem reguláveis e orientáveis, o utilizador adequa a entrada de radiação solar e de luz para o seu espaço de trabalho. A sua aplicação no exterior, traduz-se numa eficiência e estratégia fundamental para o período de Verão, uma vez que evitam a incidência solar direta nos vãos e, portanto, o aquecimento do interior.

Foi ainda projetada, na fachada Sul, a integração de um sistema solar fotovoltaico com painéis modulares, cobrindo uma superfície total de cerca de 100 m², em harmonia com os vãos envidraçados. Este sistema foi planeado de forma a que fosse possível aproveitar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos no período de Inverno e contribuir para o aquecimento do ar ambiente dos gabinetes e espaços contíguos.

A aposta num sistema de arrefecimento pelo solo, permitiu o arrefecimento do ar a ser injetado no edifício durante o período de Verão. Constitui uma solução para complementar a estratégia global para o período de Verão, onde se inclui uma diminuição dos ganhos solares no edifício associado a um esquema de ventilação natural.

O projeto focou-se essencialmente nas questões de iluminação natural, tendo definido vários sistemas que potenciam a captação da luz natural, nomeadamente um “poço de luz” central no edifício que atravessa os seus 3 pisos e a adopção de superfícies translúcidas no interior [12]. Na figura 2.4 está ilustrada a fachada do edifício que, como se pode ver, é extremamente bem iluminada pela luz natural.



Figura 2.4 - Edifício Solar XXI [12].

A integração de um sistema fotovoltaico no Edifício Solar XXI foi definida desde o arranque do projeto do edifício. Devido ao facto de constituir um edifício demonstrativo e de estudo na área das energias renováveis, desejou-se que o solar fotovoltaico, em conjunto com o solar térmico (ativo e passivo), fizessem parte deste projeto. Na figura 2.5 encontra-se um exemplo de um módulo de painéis aplicados no edifício.

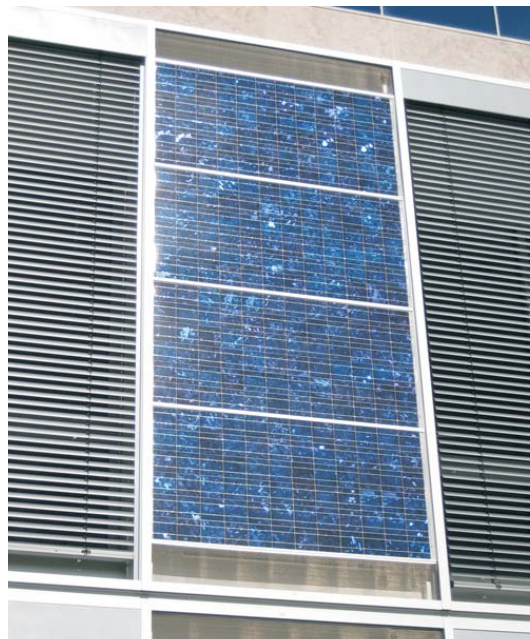


Figura 2.5 - Módulo de painéis fotovoltaicos com ventilação inferior e superior [12].

Foram encontrados vários desafios na integração deste sistema com o objetivo de integrar na arquitetura do edifício um novo elemento. Este era até há pouco um elemento estranho

relativamente à arquitetura do edifício mas foi planeado para constituir um exemplo positivo de integração. Uma das questões fundamentais estava relacionada com a sua localização no edifício, fachada *versus* cobertura ou a sua inclinação de modo a promover a captação solar e assim aumentar a produção de energia eléctrica. O estudo destas questões levou à ideia de um aproveitamento suplementar deste sistema, o de recuperar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos e utilizá-lo para aquecimento do edifício [12].

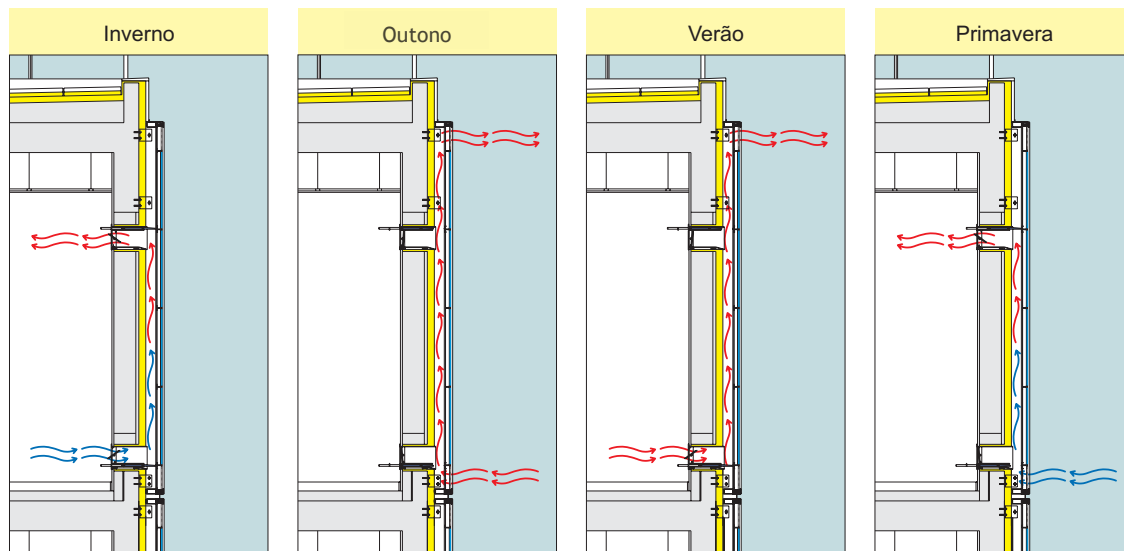


Figura 2.6 - Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico [12].

Na figura 2.6 está explicado funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico de acordo com as estações do ano.

2.2 Edifícios Sustentáveis

No caso das habitações é de extrema importância considerar vários factores que podem ser decisivos para o aumento da eficiência energética.

Na concepção de um edifício, a adopção de algumas estratégias poderá influenciar o seu desempenho em termos do conforto térmico no seu interior e, naturalmente, dos seus ocupantes. Como o consumo energético depende das condições de conforto que os ocupantes querem atingir, se o edifício estiver pouco adaptado ao clima local será necessário maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico pretendido. Se aquando da concepção de um edifício forem utilizadas as estratégias bioclimáticas corretas, o edifício ficará mais próximo de atingir as condições de conforto térmico e de diminuir os respectivos consumos energéticos para atingir esses fins [7].

As estratégias a adoptar para a criação de edifícios sustentáveis, são um conjunto de regras ou medidas de carácter geral, destinadas a influenciar a forma do edifício, bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adoptar num

determinado edifício ou projeto, deverão ser selecionadas tendo em atenção a especificidade climática do local, a função do edifício e, conseqüentemente, o modo de ocupação e operação do mesmo, com o objetivo de promover um bom desempenho em termos de adaptação ao clima. Deve-se fazer o aproveitamento da massa térmica, através da utilização de sistemas solares passivos, tirando partido da capacidade do betão em termos de armazenagem de calor/energia [7].

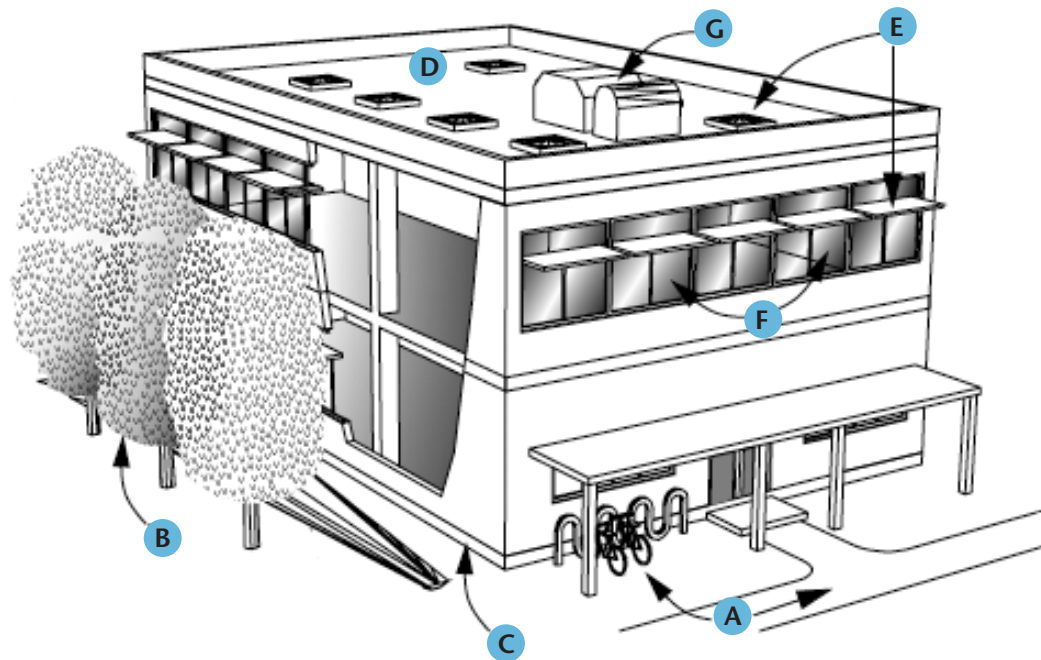


Figura 2.7 - Aspectos relevantes na construção de um edifício [7].

De acordo com a figura 2.7, os aspectos [7] são:

- A. Bons acessos para peões, bicicletas e automóveis;
- B. As árvores providenciam proteção em dias de vento forte e sombra - sombreamento é particularmente útil nas fachadas poente e nascente;
- C. Usar um bom material de isolamento no envelope exterior;
- D. Coberturas com um revestimento de baixa absorção de radiação solar;
- E. Utilizar iluminação natural (claraboias) e janelas com toldos;
- F. Ventilação natural;
- G. Uso de equipamentos centralizados de alto rendimento.

2.2.1. Isolamento

A questão do isolamento é das características mais importantes para a melhoria da eficiência energética. A utilização de um bom isolamento térmico contribui para a redução

das perdas de calor e de infiltrações, resultando numa redução da necessidade de investir em sistemas de climatização. Existem várias maneiras de garantir um bom isolamento, tais como:

- Aplicação de vidros duplos que reduz em cerca de 10% as necessidades de climatização e reduz o ruído exterior;
- Estancar as portas e janelas com fita adesiva de espuma adequada para o efeito resulta na redução de cerca de 5% do consumo de energia;
- Isolamento das paredes, chão e tecto pode atingir a redução em cerca de 30% do consumo de energia para aquecimento.

É possível concluir que grande parte da energia gasta em sistemas de aquecimento podia ser evitada através do isolamento [1].

2.2.2. Climatização

As temperaturas que garantem conforto em casa variam entre os 18°C, no Inverno e os 25°C, no Verão. Para garantir essas temperaturas pode ser tomado um conjunto de medidas [1] como por exemplo:

- Apostar no isolamento que já foi referido anteriormente.
- Plantar árvores que forneçam sombra no verão sem comprometer a iluminação natural.
- Apostar em soluções tais como caldeiras ou biomassa que permitem aquecer o edifício de forma mais eficiente.
- Maximizar a entrada de luz solares no Inverno, enquanto que no Verão deve-se fazer o oposto facilitando a ventilação natural de noite.

2.2.3. Iluminação

A iluminação representa 38% do consumo de energia elétrica em edifícios comerciais. Juntamente com o aquecimento, arrefecimento e ar condicionado constitui 70% do consumo de energia elétrica. Relacionar estes 2 consumos e a interação entre estes sistemas resulta na oportunidade para melhorar em termos de poupanças energéticas [13].

i. Fluorescentes compactas

A substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de baixo consumo - fluorescentes compactas - é uma das medidas mais fáceis e mais económicas para reduzir o consumo de energia e, conseqüentemente, as emissões de CO₂ para a atmosfera em edifícios habitacionais. Existem no mercado produtos que podem ser introduzidos já na fase de projeto e outros que o utilizador final também pode introduzir na sua habitação. As lâmpadas

económicas podem reduzir para um quarto o consumo de energia e a sua vida útil é 13 vezes superior àquela das lâmpadas incandescentes convencionais [6].

É essencial ter em atenção que estas lâmpadas têm um ingrediente que é altamente tóxico se for libertado para a atmosfera - o mercúrio.

ii. LED

Atualmente existem os Díodos Emissores de Luz (*Light Emitting Diode*), LED, e apresentam benefícios como um consumo cerca de um décimo do que se verifica nas lâmpadas convencionais, a facilidade em controlar a quantidade de luz, a longevidade, que é até 50 vezes superior às lâmpadas convencionais, e a sua dimensão [6].

Com a tecnologia LED, o potencial de redução de consumo à escala global é considerável, sobretudo se tivermos em conta que 19% da eletricidade produzida no planeta é consumida em iluminação. Os LEDs permitem reduzir o consumo de energia, mas é essencial ter em consideração a restrição de alguns materiais utilizados na produção de lâmpadas LED, por fazerem parte do conjunto de elementos dificilmente absorvidos pelos ecossistemas quando as suas concentrações são excessivamente elevadas.

iii. Solares Passivas

A iluminação constitui uma grande parte do consumo das habitações. Cerca de 10 a 15% da energia eléctrica gasta por um consumidor constitui gastos em iluminação. As medidas [1] que podem ser tomadas para a diminuição desses gastos são as seguintes:

- Pintar as paredes com cores claras que refletem melhor a luz.
- Substituir as lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, que reduzem até 80% o consumo de energia eléctrica.
- A utilização de balastos electrónicos nas lâmpadas fluorescentes tubulares.
- Utilizar a luz natural sempre que possível.
- Desligar a luz quando não for necessária ou mesmo instalar sensores de movimento.

2.2.4. Electrodomésticos

Tal como acontece com os edifícios também os electrodomésticos possuem certificados de eficiência energética. Deste modo, devem ser escolhidos os electrodomésticos que pertencem à classe A ou superior, ou seja, mais eficientes. No entanto, é sempre importante alertar para a sua utilização ser o mais responsável possível. Algumas medidas [1] podem ser tomadas para reduzir drasticamente o consumo dos frigoríficos:

- Optar por um frigoríficos que vá ao encontro das suas necessidades
- Afastar a grelha traseira, no mínimo, 5 cm da parede e limpar a mesma.
- Quando a ausência é prolongada, esvaziar o frigorífico e desligá-lo

- Descongelar os alimentos transferindo-os do congelador para o frigorífico.
- Não abrir a porta desnecessariamente e reduzir o tempo de abertura - 20% do consumo destes aparelhos é causado pela abertura das portas.
- Verificar as borrachas de vedação.
- Ajustar a temperatura do termóstato de forma a impedir a formação de gelo.
- Não encher demasiado o frigorífico para que o ar possa circular livremente entre os alimentos.
- Manter os alimentos bem tapados de modo a diminuir a libertação de humidade, de modo a evitar que o compressor gaste mais energia
- Deixar arrefecer os alimentos antes de os colocar no frigorífico.

O frigorífico constitui um dos electrodomésticos que consome mais energia e por este motivo foi seleccionado para serem apresentadas as medidas referidas anteriormente.

2.3 Construção

A localização da casa [1] é determinante para a construção conforme se encontre num local frio ou em que o clima seja mais ameno. A orientação é também um factor de enorme importância visto que é aconselhado que, tanto quanto possível, a fachada do edifício esteja virada a sul e contenha a maior área de envidraçados. A qualidade da construção, o isolamento, as janelas, a sombra e a pintura são também factores que devem ser tidos em conta durante a construção de uma habitação de modo a evitar gastos desnecessários de energia.

Por outro lado, ao projetar a habitação é essencial procurar tirar partido da localização das janelas de modo a criar diferenças de pressão para facilitar a ventilação natural.

2.4 Aplicação de Energias Renováveis na Construção

A aplicação de energias renováveis é, sem dúvida, das melhores medidas que podem ser tomadas não só para o aumento da eficiência energética, mas também porque garante a sustentabilidade. Existem várias tecnologias que podem ser aplicadas, entre as quais:

- Sistemas solares térmicos para águas quentes sanitárias;
- Microturbinas eólicas;
- Painéis solares fotovoltaicos;
- Sistemas de aquecimento biomassa;
- Bombas de calor geotérmico;
- Parede de trombe.

2.4.1. Sistemas Solares Térmicos para Águas Quentes Sanitárias (AQS)

Constitui um dos sistemas mais acessíveis para aquecer a água. O seu princípio de funcionamento baseia-se na captação da energia solar e transformá-la em calor. O sistema de colectores solares térmicos permite poupar entre 60 a 80% da energia necessária para o aquecimento da água. Mais uma vez, é essencial apostar na construção dos edifícios de forma a que haja exposição solar adequada [1].

Os sistemas solares térmicos necessitam sempre de uma fonte de energia que complemente ou substitua a energia solar no caso desta não estar disponível - de noite ou em dias encobertos. No entanto, é de extrema importância que um sistema de aquecimento de águas quente sanitárias dê prioridade à energia solar - e complemente com uma fonte de energia convencional (como o gás natural ou a eletricidade) apenas a parcela não fornecida pela energia solar [6]. A tabela 2.1 ilustra a intensidade da radiação solar conforme o estado do tempo.

Tabela 2.1 - Comparação da variação da intensidade da radiação solar global (W/m^2) e das percentagens da radiação direta e difusa com os diversos estados de nebulosidade do céu [6].

Estado do tempo	Céu azul, muito limpo, sem nuvens	Céu limpo com teor de humidade	Céu coberto, por vezes com boas aberturas	Céu coberto; nebulosidad e translúcida	Céu nebulado com nuvens muito densas	Céu muito encoberto (dia de Inverno)
Radiação global	900 W/m^2	800 W/m^2	600 W/m^2	400 W/m^2	200 W/m^2	100 W/m^2
Radiação direta	90%	80%	60%	40%	20%	0%
Radiação difusa	10%	20%	40%	60%	80%	100%

As soluções solares térmicas podem ser integradas em sistemas individuais ou em sistemas colectivos de água quente doméstica.

Num edifício com múltiplos apartamentos, o sistema solar térmico deve ser centralizado e ter o apoio de uma caldeira central a gás natural de forma a alcançar uma eficiência ainda mais elevada, ou poderá ter sistemas individuais de apoio, um por apartamento [6]. No caso de não ser possível integrar um sistema centralizado (conforme pode ser o caso na reabilitação de edifícios) pode recorrer-se à utilização da cobertura do edifício para instalar

sistemas individuais para abastecer cada um dos apartamentos, cuja caldeira ou esquentador pré-existente poderá passar a dar apoio apenas à água pré-aquecida pelo sol.

Existem cinco tipos de colectores solares no mercado: absorsores de plástico, plano de circulação forçada, plano de termossifão, cilíndrico parabólico composto e tubos de vácuo. A aplicação mais comum em edifício de habitação unifamiliares é o colector plano de termossifão que, ao contrário do sistema de circulação forçada, não consome energia eléctrica [6]. Existem também alguns sistemas que utilizam a energia térmica solar para aquecer a água de forma a ser aproveitada em sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento solar.

2.4.2. Microturbinas eólicas

As diferenças de pressão atmosférica causadas pelo aquecimento diferencial terrestre resultam na deslocação de massas de ar (vento). Essas massas de ar são influenciadas pelas condições atmosféricas (intensidade e direcção) por obstáculos e condições do solo. O aproveitamento da energia cinética do vento é feita através de turbinas eólicas ligadas a aerogeradores. As turbinas de energia eólica são usadas para converter o vento em energia eléctrica. Um gerador eléctrico no interior da turbina converte a energia mecânica em energia eléctrica. As turbinas de energia eólica podem ter uma potência de 2-3 MW até 50 MW. A produção de energia eólica pelas turbinas depende da velocidade do vento [14].

Embora as microturbinas eólicas estejam normalmente instaladas no terreno, têm-se apostado no desenvolvimento de equipamentos de menor dimensão que possibilitam a instalação no topo de habitações, evitando a perda de espaço utilizável. A energia eólica é atualmente considerada uma das mais promissoras fontes de energia renovável [6].

O conjunto turbina-gerador é designado por aerogerador. Existem vários tipos de turbinas eólicas que diferem essencialmente na direcção do eixo de rotação (vertical e horizontal).

2.4.3. Painéis solares fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos funcionam com base no efeito fotovoltaico. A energia contida na luz do sol pode ser convertida directamente em energia eléctrica. Podem funcionar em locais isolados, sem rede eléctrica, ou ligados à rede [1].

As células fotovoltaicas permitem transformar a energia do sol em electricidade. São integradas em elementos construtivos constituídos por vidro e caixilharia de alumínio e podem servir de sombreamento, de janela ou de elemento decorativo nas fachadas de edifícios. É essencial que a área em que estão integradas as células não sofra sombras, visto que é apenas a incidência dos raios solares que desencadeia o processo e resulta numa corrente eléctrica [6].

Os painéis solares são utilizados para converter a energia solar em energia eléctrica. Têm a capacidade de converter energia directamente ou aquecer a água com energia induzida. As

células fotovoltaicas são feitas a partir de estruturas de semicondutores tal como no caso dos computadores. Os raios solares são absorvidos através deste material e os electrões são emitidos a partir dos átomos a que estão ligados. Esta libertação resulta na produção de corrente. O processo fotovoltaico é conhecido como o processo entre a absorção do raio solar e a indução elétrica [14].

i. *Building Integrated Photovoltaic System*

Um sistema *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV), consiste na integração de módulos FV na própria estrutura do edifício, como por exemplo em telhados ou em fachadas [15]. Os sistemas BIPV representam uma das fontes mais promissoras a nível de produtos FV. Estes sistemas destacam-se por duas principais vantagens [16]:

- Aparência visual e estética de um edifício que integre elementos FV é, na generalidade, melhor quando comparado com outros edifícios;
- Existe uma poupança em termos de custo de materiais utilizados (janelas, telhas, fachadas).

Para além do facto de poderem ser integrados não só em edifícios residências, mas também em edifícios comerciais, este tipo de sistemas possui enumeras vantagens [17], tais como:

- Crescimento de mercado - o mercado imobiliário é vasto, o que resulta num potencial crescimento na integração destes sistemas em edifícios;
- Eliminação de perdas de transmissão e distribuição - com estes sistemas, produz-se energia perto dos locais de consumo, resultando na eliminação de perdas de transmissão e distribuição da rede elétrica;
- Redução dos custos dos módulos - os custos dos módulos FV são parcialmente reduzidos visto que acabam por substituir materiais de construção (telhas, janelas, materiais envidraçados) evitando assim custos associados a estes materiais;
- Abolição de estruturas de suporte e terrenos - deixa de ser necessária a existência de estruturas de suporte para a montagem de componentes FV, uma vez que estes passam a fazer parte do edifício;
- Prestígio do edifício - a utilização de elementos FV no edifício promove a imagem do mesmo e o respetivo impacte visual;
- Diminuição da ponta do diagrama de cargas - com estes sistemas consegue-se diminuir a ponta do diagrama de cargas, devido à produção de energia elétrica proveniente do próprio sistema.

As vantagens referidas anteriormente abrem novas perspectivas e oportunidades para a indústria fotovoltaica [17].

2.4.4. Sistemas de aquecimento biomassa

A biomassa constitui o aproveitamento da matéria orgânica para, por exemplo, aquecimento resultando em grandes vantagens económicas e ambientais [1]. É uma fonte de energia renovável e pode ser utilizada em habitações. Não só na sua forma mais tradicional (lenha e pinhas), mas também sob uma forma mais processada (pellets ou briquetes), a biomassa proveniente de resíduos florestais é uma das fontes de energia renovável locais ao nosso dispor para produzirmos calor.

A eficiência da sua utilização como fonte de energia é importante para que seja possível tirar o melhor proveito deste recurso. Isto porque a queima da biomassa produz emissões de CO₂ para a atmosfera e essas emissões devem ser minimizadas. Os recuperadores de calor permitem aproveitar o calor perdido aquando da utilização de uma lareira tradicional aberta, podendo atingir um rendimento de cerca de 70% [6].

O facto do calor não chegar às pessoas que se encontram junto a uma lareira tradicional aberta deve-se ao efeito de convecção produzido pela queima que absorve o oxigénio disponível no ar que o circunda, e este efeito produz correntes de ar que são desconfortáveis. A construção de uma entrada de ar, proporcionando a entrada e saída do mesmo pode resultar num aumento de eficiência para os 15% [6]. Os recuperadores de calor são equipamentos com a capacidade de produzir o calor desejado de forma muito eficiente e em simultâneo resolver as questões negativas associadas à queima de biomassa. A caixa de combustão separada do interior da habitação por um painel de vidro, proporciona a imagem das chamas e ainda uma proporção muito superior de calor produzido pela queima.

Na figura 2.8 é possível perceber o funcionamento de um sistema biomassa.

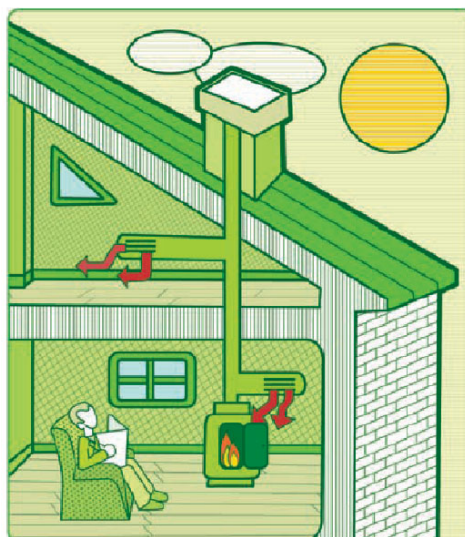


Figura 2.8 - Sistema biomassa [18].

De forma a ser possível alcançar estes resultados, é essencial garantir que o ar que entra na caixa de combustão do recuperador de calor é proveniente do exterior e que o ar que é aquecido para aumentar o conforto dentro da habitação não entre nessa caixa de combustão mas seja aquecido fluindo pelos canais criados à volta da mesma [6].

O recuperador de calor deve estar encostado a uma parede interior, de forma a que todas as perdas térmicas sejam úteis para a habitação. Quando o recuperador de calor está encostado a uma parede exterior do edifício, parte do calor que é produzido com a queima é perdido para o exterior, mesmo que a parede esteja bem isolada [6].

A maior vantagem da energia a biomassa resulta do preço reduzido do combustível, para além de ser mais ecológico [18].

2.4.5. Bombas de calor geotérmico

Estes sistemas aproveitam o calor do interior da Terra para o aquecimento do ambiente. Ao contrário das caldeiras convencionais, as bombas de calor geotérmico atuam como máquinas de transferência de calor. No Inverno, absorvem o calor da Terra e levam-no para o edifício. No Verão, funcionam como ar condicionado, extraíndo o calor do edifício para refrigerá-lo, no solo [6]. Na figura 2.9 encontra-se um exemplo de um sistema de energia geotérmica.



Figura 2.9 - Exemplo de um sistema geotérmico [19].

O COP (*coefficient of performance*), que é dado pela equação 2.1, representa a relação entre a potência térmica produzida e a potência consumida. Nas bombas de calor geotérmicas o COP médio é de 4 a 5, isto é, por cada kWh de eletricidade consumida são produzidos 4 a 5 kWh de energia térmica [6].

$$COP = \frac{E_t}{E_c} \quad (2.1)$$

onde:

- E_t - energia térmica aproveitada;
- E_c - energia elétrica consumida.

2.4.6. Parede de Trombe (ou coletora)

Consiste num sistema de ganho indireto em que se baseia na captação de energia solar por meio de uma parede colectora para o efeito construída de betão, tijolo maciço, pedra, ou contentores de água. Está situada entre o espaço que se pretende aquecer e o vidro que forma a proteção exterior. Na figura 2.10 está representado um exemplo de uma parede de tromba e do seu funcionamento conforme a altura do ano.



Figura 2.10 - Parede de trombe [20].

Durante o período de exposição solar, uma parte do calor produzido no lado exterior da parede é armazenado pela massa da parede e conduzido para o seu lado interior e, conseqüentemente, propaga-se para o compartimento por convecção e radiação. A outra parte é transmitida por radiação e convecção para o vidro e deste perdida para o exterior. Pode também ser adaptada a outros tipos de construção de parede.

2.4.7. Arrefecimento Solar

A procura de ar condicionado tem aumentado significativamente, resultante da procura de um melhor conforto e das altas temperaturas que se verificam durante o verão. O desenvolvimento da climatização em edifícios é responsável por um aumento significativo da procura de energia elétrica durante o Verão.

Apesar da utilização eficiente das técnicas solares passivas, é essencial a existência de um sistema de climatização, pelo que, o arrefecimento solar pode constituir uma solução interessante. Os sistemas de arrefecimento solar [21] têm a vantagem de colmatar a maioria das exigências de um sistema clássico:

- O consumo energético pode ser até 20 vezes inferior, quando comparado com um sistema clássico de compressão;
- Os fluidos refrigerantes utilizados são inofensivos, utilizando-se normalmente água e soluções salinas;
- O incómodo sonoro provocado pelo compressor é anulado.

Estes sistemas podem ser utilizados de forma autónoma ou em complemento com um sistema clássico de ar condicionado. O objetivo principal consiste em utilizar tecnologias de “emissão zero” para reduzir o consumo energético e as emissões de CO₂.

A comparação da tecnologia solar com a tecnologia clássica só pode ser feita no caso de se considerar os custos externos (ambientais e sociais). O custo dos combustíveis convencionais é altamente imprevisível, e deve ser tido em conta numa análise económica. É possível constatar que para as tecnologias solares [21]:

- O respectivo custo diminui com a sua produção em grande série;
- Ao nível técnico, são já tecnologias maduras;
- São muito mais amigas do ambiente do que os sistemas convencionais.

De todos os sistemas de arrefecimento solar, os *chillers* de absorção são os mais utilizados no mundo inteiro. A compressão térmica do refrigerante é feita através da utilização de uma solução refrigerante/absorvente líquido, e uma fonte de calor.

A produção de frio tem por base a evaporação do refrigerante (água) no evaporador a muito baixa pressão. O refrigerante vaporizado é aspirado no absorvedor, diluindo assim a solução água/brometo de lítio. Para tornar o processo de absorção eficiente, é necessário

arrefecer a solução. Esta é bombeada continuamente para o gerador onde é aquecida. O vapor de água gerado é enviado para o condensador, onde, através da aplicação de água de arrefecimento, é condensado. A água líquida, depois de passar por uma válvula de expansão, volta a ser reencaminhada para o evaporador [21]. Na figura 2.11 está representado um exemplo de um *chiller* de absorção.



Figura 2.11 - *Chiller* de absorção - Hotel de Rethymnon - Creta (Grécia) [21].

O facto de, em alguns países, existir um incentivo financeiro para a aplicação destas tecnologias, torna o investimento muito mais atrativo [21]. As condições de funcionamento, assim como as propriedades dos processos de novas aplicações tais como *chillers* por absorção, não são até ao momento, do conhecimento da maioria dos projetistas e instaladores.

2.4.8. Aquecimento/arrefecimento por superfícies radiantes

Os sistemas são constituídos por tubos fixados no chão ou nas paredes, normalmente através de um dos seguintes sistemas: sistema placas de nódulos, de sistema de placas para agrafar, sistema guia ou por um sistema em seco. Cada um dos sistemas tem as suas vantagens e campos de aplicação específicos e estão representados na figura 2.12. O sistema funciona através de água quente que circula pelos tubos. A superfície aquecida irradia ou absorve o calor de forma uniforme por toda a divisão. A alta flexibilidade dos tubos facilita a resolução de situações de montagem difícil [22].

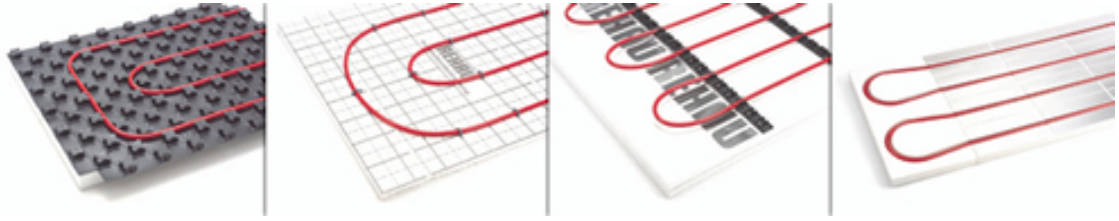


Figura 2.12 - Sistemas de aquecimento/arrefecimento por superfícies radiantes [22].

As vantagens são inúmeras: conforto térmico, poupança de energia e o facto de o sistema ser amigo do ambiente. Para além disso, as habitações com estes sistemas não necessitam de radiadores, tornando o espaço mais atrativo à vista e com mais liberdade de planeamento. São sistemas que proporcionam sem dúvida o aumento da eficiência energética [22].

2.5 Índice de Eficiência Energética

A caracterização energética de um edifício é feita pelo Indicador de Eficiência Energética (IEE), expresso em unidades de energia final ou primária por metros quadrados de área útil por ano, pelo que normalmente as unidades apresentadas são o $\text{kgep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$. É possível calcular a percentagem de energia fóssil primária necessária para suportar os consumos do edifício. Os factores de conversão são os seguintes [23]:

- Eletricidade: 0,290 kgep/kWh ;
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 kgep/kWh .

O IEE é obtido pela expressão 2.2 [23]:

$$IEE = IEE_I + IEE_v + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (2.2)$$

em que:

- IEE é o indicador de eficiência energética ($\text{kgep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$);
- IEE_I é o indicador de eficiência energética de aquecimento ($\text{kgep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$);
- IEE_v é o indicador de eficiência energética de arrefecimento ($\text{kgep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$);
- Q_{out} é o consumo de energia não ligada aos processos de aquecimento e arrefecimento (kgep/ano);
- A_p é a área útil de pavimento (m^2). Corresponde à soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de um edifício.

No caso de haver edifícios que combinem mais do que uma tipologia o valor obtêm-se com recurso a uma média ponderada dos IEE_{ref} de cada uma. As garagens, cozinhas, lavandarias e armazéns tem um IEE_{ref} diferente do dos edifícios em que se inserem [23].

2.5.1. Indicador de Eficiência Energética de Aquecimento

A parcela IEE_I , da expressão 2.2 é obtida pela expressão [23]:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} \quad (2.3)$$

em que:

- Q_{aq} é o consumo de energia de aquecimento (kgep/ano). No caso dos edifícios novos ou sujeitos a grandes intervenções este valor depende dos aspectos construtivos do edifício, bem como da sua localização geográfica e pode ser obtido por recurso a metodologias de simulação. Existem atualmente no mercado algumas aplicações informáticas que permitem conhecer o seu valor.
- F_{CI} é o factor de correção do consumo de energia de aquecimento. Este factor permite que os edifícios que se localizam em zonas onde as necessidades de aquecimento sejam maiores não sejam penalizados.

2.5.2. Indicador de Eficiência Energética de Arrefecimento

A parcela IEE_V , da expressão 2.2 é obtida pela expressão [23]:

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} \quad (2.4)$$

em que:

- Q_{arr} é o consumo de energia de aquecimento (kgep/ano). Para esta parcela aplica-se o que foi dito sobre a parcela Q_{aq} da equação 2.3;
- F_{CV} é o factor de correção do consumo de energia de arrefecimento. Este factor permite que os edifícios que se localizam em zonas onde as necessidades de arrefecimento sejam maiores não sejam penalizados.

2.6 Energy Service Companies

O mercado das *Energy Service Companies* (ESCO) nasceu depois da crise energética de 1970. Com a ascensão do preço do petróleo, muitos empreendedores começaram a pensar em novas maneiras de combater o crescimento do preço da energia. As ESCO constituem uma entidade singular ou coletiva que fornece serviços e/ou outras medidas de melhoria de eficiência energética nas instalações de um utilizador, e aceita um certo grau de risco financeiro ao fazê-lo. Uma ESCO possui o *know-how* e as ferramentas adequadas para a concretização de medidas de eficiência energética. O pagamento dos serviços prestados resulta do grau de concretização da melhoria da eficiência energética e na satisfação de outros critérios de desempenho ajustados [24].

As medidas de racionalização de energia promovidas pela ESCO consistem na implementação de boas práticas de gestão da energia, substituição de equipamentos, calibração de equipamentos já existentes na instalação do cliente até à identificação e implementação de novas soluções. Para a implementação destas medidas a ESCO recorre essencialmente a contratos de *performance*.

Os serviços [24] típicos prestados pela maioria das ESCOs incluem:

- Auditoria Energética;
- Financiamento do Projeto;
- Monitorização do projeto e garantia da poupança energética;
- Manutenção dos equipamentos e operações.

2.6.1. Tipos de contratos das ESCO

Devido ao aumento de preocupação face às alterações climáticas e às metas internacionais de eficiência energética, o mercado português das ESCO está em fraco crescimento. No entanto, é possível afirmar que o mercado das mesmas em Portugal apenas utiliza uma pequena fração do potencial que existe de facto no mercado. Estima-se [24] que cerca de 30% dos custos de energia municipais podem ser poupados com um pequeno tempo de retorno de capital.

O mercado das ESCO que pode atuar no sector público português tem um potencial enorme, visto que a maioria dos edifícios são públicos, cuja poupança energética através da aposta numa maior eficiência poderia servir como um impulsor das ESCO [24].

Existem vários tipos de contrato que podem ser celebrados com as ESCO. Na tabela 2.2 estão descritos os mais importantes tipos de contrato.

Tabela 2.2 - Contratos entre ESCO e empresa que contrata os seus serviços [25].

Tipo de Contrato	Descrição
1. Contratos de desempenho	A ESCO contratada é remunerada em função das poupanças geradas pelos projetos por ela implementados, garantido desta forma uma determinada performance técnica do projeto.
1.1. Contratos de poupanças garantidas	O contrato celebrado entre a ESCO e o cliente garante um determinado nível de poupanças, tendo em conta uma margem de segurança. No entanto, quem faz o investimento é a empresa detentora do edifício. A ESCO fica, assim, com o risco de performance mas não assume o risco de reembolso ao cliente.
1.2. Contratos de economias partilhadas	A empresa contratada que assume o empréstimo. Existe um desempenho mínimo definido e a ESCO recebe uma percentagem das poupanças geradas durante um período de tempo definido ou até receber um determinado valor.
1.3. <i>Chauffage</i>	A ESCO é completamente responsável pelos serviços acordados entre ambas as partes e recebe de acordo com as poupanças geradas previstas
1.4. <i>Build-Own-Operate-Transfer</i>	A ESCO assume a titularidade dos sistemas, transferindo-os para o cliente ao fim de um período de tempo definido
2. Contratos de fornecimento de serviços	O preço a pagar à ESCO pelo projeto é definido à partida, assim que o mesmo é aceite pelo cliente. Se a ESCO realizar mais algum serviço que não esteja incluído no contrato original, é paga por isso.

2.7 Conclusões

Existem várias soluções que podem ser aplicadas para o aumento da eficiência energética em edifícios. Desde os sistemas solares térmicos para águas quentes sanitárias passando pelas microturbinas eólicas e painéis solares fotovoltaicos até às parede de trombe, são tecnologias que fazem muita diferença no consumo energético de um edifício.

A caracterização energética de um edifício é feita pelo Indicador de Eficiência Energética (IEE). É possível calcular a percentagem de energia fóssil primária necessária para sustentar os consumos do edifício.

As *Energy Service Companies* são definidas como uma entidade singular ou coletiva que fornece serviços e/ou outras medidas de melhoria de eficiência energética nas instalações de um utilizador, e aceita um certo grau de risco financeiro ao fazê-lo. Foram estudados os tipos de contratos que podem ser celebrados com as ESCO de forma a perceber-se melhor o funcionamento das mesmas.

Capítulo 3

Programas associados à Eficiência Energética

Nos dias de hoje verifica-se uma exigência bastante grande para cumprir os objetivos que respeitem a sustentabilidade energética por parte de cada Estado-Membro pertencente à União Europeia (UE). Para tal, foram criados vários programas que definem os objetivos a atingir para que tal aconteça. Esses programas são analisados durante este capítulo, focando essencialmente os aspectos que estejam diretamente relacionados com a eficiência energética em edifícios.

3.1 ENE 2020

Portugal, sendo um Estado-Membro da UE, criou a ENE 2020 - estratégia nacional de energia 2020, onde são definidas estratégias que têm como objetivo o cumprimento das medidas impostas pela UE. A ENE 2020 [26] define uma agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira do país através da aposta nas energias renováveis e da promoção integrada da eficiência energética. Desta forma, é assegurada a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético. Os resultados esperados são os seguintes:

- Redução da dependência energética do País face o exterior para 74% em 2020, produzindo, nesta data, a partir de recursos endógenos, o equivalente a 31% da energia final;
- Cumprir os compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que, em 2020, 60% da eletricidade produzida tenha origem em fontes renováveis e o consumo de energia final seja reduzido em 20%;

Programas associados à Eficiência Energética

- Reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas gerando uma redução de importações de 2000 milhões de Euros anuais no horizonte de 2020;
- Consolidar o *cluster* das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um Valor Acrescentado Bruto de 3800 milhões de Euros e criando mais 100000 postos de trabalho a crescer aos 35000 já existentes;
- Continuar a desenvolver o *cluster* industrial associado à promoção da eficiência energética assegurando a criação de 21000 postos de trabalho, gerando um investimento previsível de 13000 milhões de Euros até 2020 e proporcionando exportações adicionais de 400 milhões de Euros;
- Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas da redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu.

Esta Estratégia Nacional da Energia - ENE 2020 - é composta por 5 eixos principais [26]:

- Eixo 1 - Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira, englobando:
 - Dinamização da economia;
 - Desenvolvimento regional;
 - Independência energética e financeira;
 - Mercados de energia competitivos.
- Eixo 2 - Aposta nas energias renováveis:
 - Biomassa;
 - Biocombustíveis e biogás;
 - Ondas, geotermia e hidrogénio;
 - Hídrica;
 - Eólica;
 - Solar.
- Eixo 3 - Promoção da eficiência energética, englobando:
 - *Mobi.e* - rede de carregamento de veículos eléctricos; Redes inteligentes (ex: *smart cities*); Fundo de eficiência energética;
 - Iluminação Pública - promover e apoiar projetos inovadores de iluminação pública com prioridade para os centros históricos;
 - PNAEE - Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética.

- Eixo 4 - Garantia da segurança de abastecimento:
 - *Mix* energético - apostar na complementaridade hídrica-eólica e dar continuidade à utilização do gás natural;
 - Interligações - Reforço das interligações com as redes europeias a nível de eletricidade e gás;
 - Redes de armazenamento - Investir no reforço e na modernização das infraestruturas de transporte e armazenamento no plano nacional e internacional (Mibel, Mibgás e Mercado do Sudoeste).

- Eixo 5 - Sustentabilidade energética, nomeadamente:
 - Sustentabilidade Económica;
 - Sustentabilidade Técnica;
 - Sustentabilidade Ambiental.

Focando um pouco mais o eixo 3 que consiste na promoção da eficiência energética:

Mobi.E

- Consiste em criar uma rede de carregamento de veículos eléctricos, de âmbito nacional e centrada no utilizador
- Promover o Mobi.E enquanto projeto piloto para a disseminação dos veículos eléctricos tendo como meta a substituição de 10% de consumo de combustíveis fósseis por eletricidade até 2020.
- Fazer do Mobi.E uma base para o desenvolvimento da mobilidade sustentável em Portugal e para a internacionalização do cluster industrial a ele ligado.

Redes Inteligentes

- Promover e apoiar projetos piloto e desenvolver abordagens integradas (ex: smart cities) e criar condições para permitir que a maioria dos consumidores portuguesas sejam servidos por redes inteligentes até 2020.

Fundo de Eficiência Energética

- Criação de um Fundo de Eficiência Energética

Iluminação Pública

- Promover e apoiar projetos inovadores de iluminação pública com prioridade para os centros históricos

PNAEE

- Rever o PNAEE, alargando o seu horizonte temporal introduzindo novas medidas e reforçando as medidas existentes, tendo em conta as metas europeias de eficiência energética para 2020.

3.2 Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), é constituído por um conjunto de programas e medidas de eficiência energética, que se estendem até ao ano de 2015. O PNAEE inclui quatro áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Estabelece ainda três áreas transversais de atuação - Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos - sobre as quais ocorreram análises e orientações complementares. Cada uma das áreas referidas agrupa um conjunto de programas, que incluem de uma forma coerente um conjunto de medidas de eficiência energética, focadas na procura energética [27].

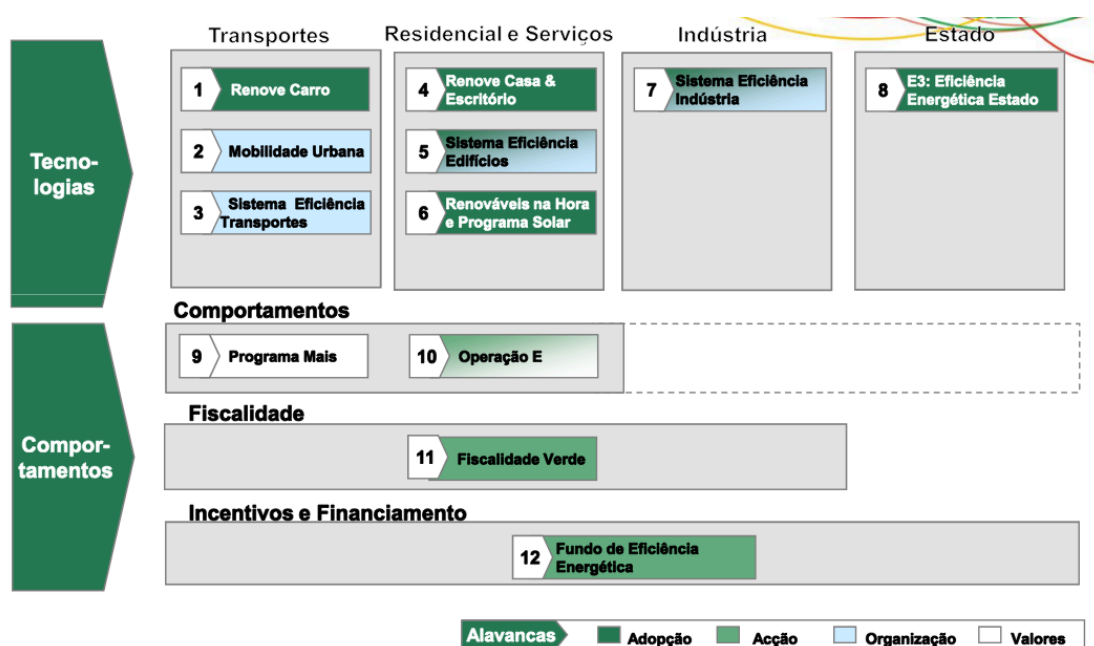


Figura 3.1 - Áreas do Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética [28].

A área dos Transportes, agrupa três programas de melhoria da eficiência energética:

- Programa *Renove Carro*, que reúne diversas medidas relacionadas com a melhoria da eficiência energética nos veículos, nomeadamente na renovação de equipamentos e utilização de produtos mais eficientes.

- Programa Mobilidade Urbana, que identifica medidas relacionadas com as necessidades nodais e pendulares do transporte público nos grandes centros urbanos e empresariais.

O Sistema de Eficiência Energética nos Transportes procura calcular o impacto na utilização eficiente do conceito de plataformas logísticas e auto-estradas do mar. A área de Residencial e Serviços inclui três grandes programas de eficiência energética:

- Programa Renove Casa, no qual são definidas várias medidas relacionadas com eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos, electrónica de consumo e reabilitação de espaços.
- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios, que é constituído pelas medidas que resultam do processo de certificação energética nos edifícios, num programa que inclui diversas medidas de eficiência energética nos edifícios, nomeadamente isolamentos, melhoria de vãos envidraçados e sistemas energéticos.
- Programa Renováveis na Hora, que é orientado para o aumento da penetração de energias endógenas nos sectores residencial e serviços.

3.3 Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica

A existência de diversas barreiras à adopção de equipamentos e hábitos de consumo mais eficientes por parte dos consumidores, bem como a eventual existência de externalidades ambientais não refletidas nos preços, explica a implementação de medidas de promoção da eficiência no consumo [29]. Estas barreiras ou falhas de mercado complicam a tomada de decisões eficientes pelos agentes económicos. Entre as várias barreiras de mercado à eficiência no consumo apresentam-se alguns exemplos: período de retorno do investimento alargado, diferença entre preços de fornecimento ou das tarifas aplicáveis e os custos marginais de curto prazo, externalidades ambientais, entre outros.

O Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica tem como objetivo a promoção de medidas que visem melhorar a eficiência no consumo de energia eléctrica, através de ações empreendidas por: comercializadores de energia eléctrica, operadores das redes de transporte e de distribuição de energia, associações e entidades de promoção e defesa dos interesses dos consumidores de energia eléctrica, associações empresariais, associações municipais, agências de energia e instituições de ensino superior e centros de investigação, sendo destinadas aos consumidores dos diferentes segmentos de mercado [29].

As ações decorrem de medidas específicas propostas, que foram previamente sujeitas a um concurso de seleção, de acordo com os critérios que estão definidos nas referidas Regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo. Este concurso possibilita a seleção das

melhores medidas de eficiência energética a implementar pelos promotores anteriormente referidos, tendo em conta o montante do orçamento do PPEC.

3.3.1. PPEC 2011-2012

Foram apresentadas ao concurso do PPEC 2011-2012, 165 medidas apresentadas por 48 promotores, resultando num total de 58 milhões de euros. Estes custos representam cerca do triplo da dotação orçamental em 2011-2012. Esta situação originou uma elevada competitividade, tendo sido selecionadas as medidas de melhor ordem de mérito classificadas de acordo com a métrica de avaliação, estabelecida nas Regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo [29].

Os benefícios sociais alcançados através da implementação das medidas aprovadas são muito superiores aos custos. Os efeitos benéficos das medidas agora implementadas permanecerão até 2032, representando cerca de 2 244 GWh de consumo evitado acumulado, o consumo anual de cerca de 750 mil famílias [29].

Os promotores e consumidores de energia eléctrica têm um papel muito importante no Plano de Promoção da Eficiência no Consumo, desde a fase de consulta pública, até à apresentação de candidaturas e posterior implementação. O PPEC 2011-2012 aprovou 57 medidas que estão a ser implementadas por 20 promotores. Seguidamente estão listados alguns exemplos [29] das medidas mais relevantes presentes no PPEC 2011-2012.

i. Kit Casa Eficiente (LED + *Standby Killer*)

Esta medida, a ser implementada pela EDP Comercial em 2011 e 2012, tem como objetivo transformar e sensibilizar o mercado no sentido de opções energéticas mais eficientes. Consiste na distribuição de um kit composto por uma multtomada *auto power off* de 5 tomadas e uma lâmpada de LED de 7W. O promotor pretende distribuir o equipamento em superfícies comerciais no território nacional [29].

ii. Painel de Consumidores - Sistemas de Gestão de Consumos em Redes Inteligentes

A medida, que se encontra a ser implementada pela EDP em 2011 e 2012, pretende constituir um painel de consumidores, abrangendo no máximo 1500 consumidores residenciais, com lares previamente equipados com *energy boxes* e internet, onde esteja a ser implementado o projeto InovGrid. O painel de consumidores é constituído por 3 grupos de consumidores:

- Grupo A - 500 consumidores com sistemas de gestão de consumo ativos;
- Grupo B - 500 consumidores com sistemas de gestão de consumo passivos;
- Grupo C - 500 consumidores sem qualquer sistema de gestão de consumo.

O objetivo passa por recolher informação sobre possíveis alterações nos comportamentos dos consumidores causadas pela utilização dos sistemas de consumo. Este facto deverá permitir, entre outras coisas, comprovar se a utilização de sistemas de gestão de consumo resulta na redução dos consumos energéticos [29].

iii. Gestão de Consumos Domésticos Online

A medida, que se encontra a ser implementada pela EDP Comercial em 2011 e 2012, consiste na disponibilização aos consumidores domésticos, de uma ferramenta *web* para a gestão do consumo de energia. Com esta medida pretende-se ajudar os consumidores a alterar os seus hábitos de consumo, através da constatação em tempo real, dos benefícios de alteração de comportamentos e/ou equipamentos.

Adicionalmente, esta medida vai permitir medir, analisar e criar uma base de dados dos consumos energéticos do sector residencial em Portugal [29].

iv. Contadores Inteligentes para Decisões Eficientes

Esta medida, que se encontra a ser implementada pela Lisboa E-Nova em 2011 e 2012, assenta na instalação de equipamentos de telecontagem em edifícios de serviços e residenciais, permitindo a disponibilização dos consumos eléctricos em tempo real.

Tem como objetivo sensibilizar e divulgar as boas práticas na área da eficiência energética. Neste sentido, vai ser construído um Manual de Boas Práticas, que contém a metodologia de instalação de equipamentos de telecontagem e das experiências de maior sucesso [29].

3.4 Programa de Eficiência na Administração Pública

O Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP), surge da intersecção de várias políticas e estratégias para a energia nacionais e tem como objetivo aumentar em 20% a eficiência energética nos serviços públicos, equipamentos e organismos da Administração pública, até 2020, estando de acordo com os objetivos da ENE 2020.

O Eco.AP consiste num programa evolutivo, com o objetivo de promover uma gestão racional dos serviços energéticos, principalmente através da contratação de empresas de serviços energéticos impulsionando os contratos de eficiência e dinamização das ESCO.

Este programa proporcionará a redução da fatura energética nos serviços e organismos públicos, a redução de emissão de gases de efeito de estufa estando de acordo com os objetivos estabelecidos no Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) e ainda a criação de um quadro legal de empresas de serviços energéticos e da contratação pública da gestão de serviços energéticos. Este programa foi lançado através da Resolução do Conselho de Ministros de 9 de Dezembro de 2010.

O programa [30] aposta na:

- Criação da figura do gestor local de energia responsável pela dinamização e verificação das medidas comportamentais de eficiência energética em cada serviço ou organismo da Administração Pública;
- Implementação do barómetro da eficiência energética destinado a divulgar os consumos energéticos de todos os edifícios e serviços;
- Seleção em cada Ministério dos organismos ou serviços na sua dependência que, em conjunto, representem pelo menos 20% do consumo de energia desse ministério e que, individualmente ou agrupados, tenham consumos superiores equivalentes a 100MWh/ano a fim de iniciarem os procedimentos de contratação tendentes a aumentar a eficiência energética e a redução do consumo em 2011;
- Intervenção em todos os edifícios e serviços até 2013.

Neste sentido, o Estado compromete-se a reduzir os consumos nas suas instalações e a promover utilização de iluminação pública mais eficiente, definindo como prioridade o desenvolvimento do sector das empresas de serviços energéticos, potenciando a criação de um mercado de serviços de energia com elevado potencial. As iniciativas públicas e privadas devem promover a alteração de hábitos e comportamentos, essencial para garantir o bem-estar das populações, a competitividade da economia e a qualidade do ambiente [30].

O programa Eco.AP prevê a realização de contratos de gestão de eficiência energética a realizar entre empresas do sector público e empresas de serviços energéticos através de concurso público [31].

Apesar do principal objetivo passar pelo desenvolvimento de uma política de racionalização de consumos de energia no sector público, existe a hipótese da ESCO indicar medidas que abrangem a produção de energia, através da instalação de sistemas de mini-geração ou de cogeração nos edifícios públicos em causa [31].

3.5 Pacote 20-20-20

O objetivo do pacote 20-20-20 passa por reduzir em 20% (ou em 30%, se for possível chegar a um acordo internacional) as emissões de gases com efeito de estufa, elevar para 20% a quota-parte das energias renováveis no consumo de energia e aumentar em 20% a eficiência energética até 2020 na União Europeia. O pacote fixa também uma meta de 10% de energias renováveis no sector dos transportes até essa data.

O Parlamento Europeu e o Conselho chegaram a um acordo sobre as quatro propostas do pacote legislativo clima-energia: comércio de licenças de emissão, contribuição de cada Estado-Membro para a redução das emissões, captura e armazenagem de carbono e energia proveniente de fontes renováveis, bem como sobre as propostas relativas às emissões de CO₂

dos automóveis e às especificações para os carburantes [32]. Apenas serão abordados os temas mais relacionados com a eficiência energética.

3.5.1. Contribuição dos Estados-Membros

Para cada Estado-Membro, a decisão estabelece um objetivo específico que impõe uma redução, ou, no caso dos novos Estados-Membros e de Portugal (+1%), permite um aumento das emissões respectivas até 2020.

Verifica-se que os Estados-Membros que tenham como objetivo reduzir as suas emissões ou aumentá-las em, no máximo, 5% a título desta decisão poderão utilizar créditos adicionais até ao valor de 1% das suas emissões verificadas em 2005 para projetos nos países menos avançados e nas pequenas ilhas em desenvolvimento, desde que respeitem várias condições. Os Estados em causa são: Portugal, Áustria, Finlândia, Dinamarca, Itália, Espanha, Bélgica, Luxemburgo, Irlanda, Eslovénia, Chipre e Suécia.

Os Estados-Membros podem também transferir para outro Estado-Membro parte das emissões autorizadas de gases com efeito de estufa a que têm direito, dentro de determinadas condições [32].

3.5.2. Captura e armazenagem de carbono

Este programa inclui também uma diretiva sobre a captura e armazenagem de carbono (CAC). O objetivo da armazenagem geológica ambientalmente segura de CO₂ é a contenção permanente do CO₂ de modo a impedir e, quando tal não for possível, eliminar o mais possível quaisquer efeitos negativos e riscos para o ambiente e para a saúde humana. A quantidade das licenças disponíveis para o financiamento das tecnologias inovadoras de captação e de armazenagem de carbono e das fontes de energia renováveis é de cerca de 300 milhões [32].

3.5.3. Energia proveniente de fontes renováveis

O objetivo da diretiva é que a UE aumente para 20% a parte das energias renováveis no consumo de energia até 2020, estabelecendo metas globais nacionais para cada Estado-Membro. O documento define também uma meta de 10% de energias renováveis no sector dos transportes até essa data.

Para Portugal, a meta para a quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final de energia em 2020 é definida em 31%, tendo em conta o ponto de partida (em 2005, a quota em Portugal era já de 20,5%) e o potencial nacional em energias renováveis.

A meta de 10% para as energias renováveis nos transportes é, em contrapartida, fixada ao mesmo nível para todos os Estados-Membros [32].

3.6 Plano de Eficiência Energética de 2011

A eficiência energética está no núcleo da Estratégia Europa 2020 para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo e da transição para uma economia eficiente em termos de recursos. A eficiência energética constitui uma das formas mais eficazes em termos de custos para melhorar a segurança do aprovisionamento energético e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e outros poluentes. A eficiência energética pode ser encarada como o maior recurso energético da Europa. Foi por este motivo que a União fixou como objetivo para 2020 reduzir de 20% o seu consumo de energia primária em comparação com as projecções. Esse objetivo foi identificado na Comunicação da Comissão Energia 2020 como etapa fundamental para se alcançar os objetivos a longo prazo em matéria de energia e clima.

Foram tomadas medidas fulcrais para atingir esse objetivo - nomeadamente no mercado dos equipamentos e dos edifícios. De acordo com estimativas recentes da Comissão, calcula-se que a UE irá apenas atingir apenas metade do objetivo de 20%. A UE tem de actuar imediatamente de forma a ser possível atingir o seu objetivo. Depois do Conselho Europeu, de 4 de Fevereiro de 2011, no sentido da adopção de “uma acção determinada a fim de explorar o considerável potencial em termos de uma maior poupança de energia nos edifícios, nos transportes, nos produtos e nos processos”, a Comissão preparou este novo e abrangente Plano de Eficiência Energética.

O maior potencial de poupança de energia está nos edifícios. O plano foca-se no processo de renovação em edifícios públicos e privados e na melhoria do desempenho energético dos componentes e equipamentos utilizados. Promove também um comportamento exemplar do sector público, através da aceleração da taxa de renovação dos edifícios públicos. Para além disso, foram implementadas medidas para que as companhias fornecedoras de energia sejam obrigadas a criar condições de forma a permitir que os seus clientes reduzam o seu consumo de energia [33].

3.6.1. Eficiência energética na despesa pública

A despesa energética pública representa cerca de 17% do PIB da UE. Os edifícios públicos ou ocupados por serviços públicos representam cerca de 12% do parque imobiliário da UE. O sector público pode criar novos mercados para tecnologias, serviços e modelos empresariais eficientes em termos energéticos. Os Estados-Membros devem proceder à reforma das subsídios que têm por efeito promover o consumo de energia, focando-se na melhoria da eficiência energética e para a resolução do problema da precariedade energética.

A gestão da despesa pública constituída por custos em produtos, modos de transporte, edifícios, obras e serviços eficientes em termos energéticos, é essencial para a redução da factura energética nas despesas públicas e optimização da utilização dos recursos. Os organismos públicos que estão incluídos nas Directivas da UE em matéria de contratos

públicos já são obrigados a ter em conta a eficiência energética nos seus critérios de adjudicação de veículos ou de equipamento de escritório [33].

3.6.2. Renovação dos edifícios públicos

Os organismos públicos devem dar o exemplo, através da introdução de um elevado nível de desempenho energético dos seus edifícios. Para que tal seja possível, seria vantajoso que as autoridades públicas aumentassem, pelo menos para o dobro, a atual taxa de renovação. Desta forma, a Comissão irá propor um instrumento jurídico que obrigue as autoridades públicas remodelarem, pelo menos, 3% dos seus edifícios (área útil) por ano (cerca do dobro da atual taxa de remodelação do parque imobiliário europeu). Cada remodelação deverá permitir que o edifício em causa atinja o nível dos melhores 10% do parque imobiliário nacional. Os organismos públicos devem alugar ou adquirir edifícios já existentes, que correspondam à melhor classe disponível em termos de desempenho energético [33].

3.6.3. Contratos de desempenho energético

Os contratos de desempenho energético são essenciais para a remodelação de edifícios. De acordo com esta forma de aquisição que tem por base o desempenho, as poupanças de dinheiro resultantes das facturas menos elevadas das companhias distribuidoras de energia e dos menores custos de manutenção resultantes de medidas de eficiência energética, são utilizadas para cobrir a totalidade ou parte dos custos de investimento. Este modelo esteve em testes e verificou-se uma boa relação custo-eficácia em alguns Estados-Membros.

Os contratos de desempenho energético têm um papel crucial na renovação dos edifícios públicos e melhorar a eficiência energética de infra-estruturas públicas como a iluminação das vias públicas. A utilização de contratos de desempenho energético é, contudo, dificultado em muitos Estados-Membros pela ambiguidade do enquadramento jurídico e pela falta de dados fiáveis sobre o consumo de energia que permitam estabelecer as bases de referência para avaliar o desempenho energético. Em 2011, foram apresentadas pela Comissão propostas legislativas para solucionar estes problemas [33].

3.6.4. Aplicar a eficiência energética no terreno

Mais de duas mil cidades foram voluntárias para aplicar medidas de energia sustentável no âmbito do Pacto de Autarcas apoiado pela UE. O Pacto consiste num compromisso formal, que tem o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ de mais de 20% até 2020 graças a medidas de energia sustentável. Os benefícios não são só na poupança de energia: a modernização de edifícios, a mobilidade urbana e a renovação urbana são atividades económicas geradoras de emprego.

A Comissão irá continuar a apoiar a abordagem local da eficiência energética através do Pacto de Autarcas e irá procurar incentivar parcerias com cidades que partilhem convicções semelhantes, especialmente em países que não fazem parte da UE. Em 2011, foi também lançada uma nova iniciativa: Cidades Inteligentes e Comunidades Inteligentes. Esta iniciativa tem como objetivo desenvolver a nível municipal o quadro europeu de excelência nas soluções energéticas inovadoras, hipocarbónicas e eficientes. Para além disso, será dada especial atenção à necessidade de acelerar a transformação dos resultados da investigação em inovações reais e práticas em algumas cidades e comunidades [33].

3.6.5. Reduzir o consumo de energia térmica nos edifícios

O conceito de consumo de calor nos edifícios terá uma enorme importância nos próximos anos. A Comissão continuará a explorar as soluções disponíveis, abrangendo as possibilidades de promover a utilização de redes de aquecimento urbano no contexto de um planeamento urbano integrado. Como referido anteriormente, o consumo de energia térmica nos edifícios é o que representa a maior percentagem e, neste sentido, é preciso apostar na redução do mesmo [33].

3.7 Conclusões

Ao longo deste capítulo foram analisados os programas associados à eficiência energética, tendo sido dado mais relevo aos tópicos que estão mais relacionados com os edifícios. O programa ENE 2020 assenta em 5 eixos dos quais o terceiro passa pela promoção da eficiência energética incluindo o Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética.

O Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica foi profundamente estudado e foram apresentadas algumas medidas incluídas nesse mesmo plano. O Programa de Eficiência Energética na Administração Pública é também um exemplo de programa associado à eficiência energética, na medida em que os edifícios da administração pública devem ser os primeiros a dar o exemplo aos cidadãos.

A nível europeu foi estudado o Pacote 20-20-20 e o Plano de Eficiência Energética de 2011 que incluem algumas medidas no que diz respeito à despesa pública e à renovação dos edifícios, bem como à utilização de contratos de desempenho energético e à redução do consumo de energia térmica nos edifícios.

Capítulo 4

Zero Energy Buildings (ZEB)

Os edifícios têm um impacto significativo no uso da energia e do ambiente. Os edifícios comerciais e residenciais usam quase 40% [33] da energia primária e aproximadamente 70% da eletricidade nos Estados Unidos [34]. O consumo de energia em edifícios vai continuar a aumentar e para isso é necessário tomar medidas tais como adotar a construção de *zero energy buildings*. Um *zero energy building* (ZEB) consiste numa residência ou edifício comercial com necessidades energéticas reduzidas, conseguidas através de ganhos de eficiência tais que permitem balançar a energia necessária com aquela que é fornecida através de fontes de energia renovável [34].

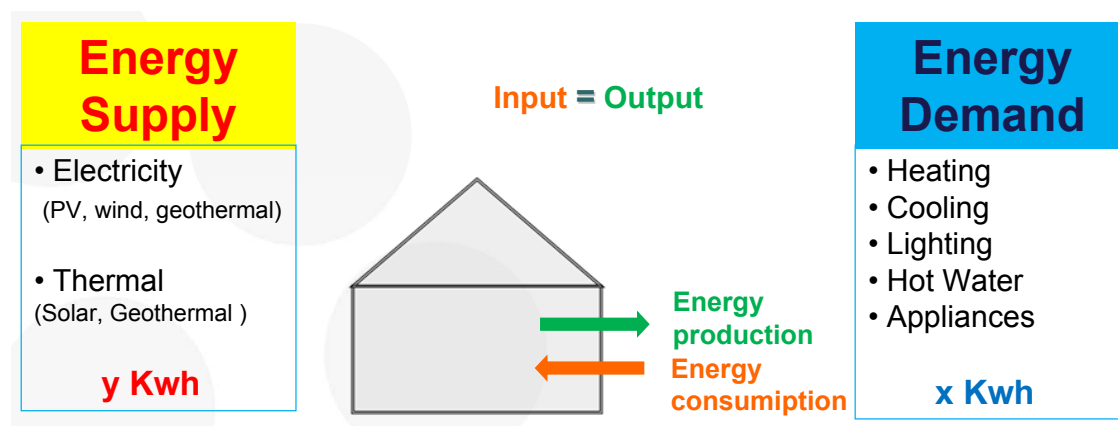


Figura 4.1 - Definição de Zero Energy Buildings [35].

Quando a energia gerada é maior que as necessidades energéticas do edifício, o excesso é exportado para a rede. Construir um *zero energy building* sem ligação à rede seria extremamente difícil, visto que as tecnologias atuais de armazenamento são limitadas.

4.1 Priorizar as Tecnologias usadas nos ZEB

Há varias tecnologias que podem ser usadas para alimentar um ZEB, tais como: FV, aquecimento de águas solar, eólicas, hidroeléctricas e biocombustíveis. Todas estas fontes de energia são, naturalmente, preferíveis às fontes de energia convencionais. No entanto, a sua aplicação deve ser ordenada por ordem de preferência de acordo com alguns princípios [34]:

- Minimizar o impacto ambiental através da construção de edifícios eficientes em termos energéticos e perdas de transporte e conversão reduzidas.
- Devem estar disponíveis durante o tempo de vida do edifício.
- Estão disponíveis em larga escala e têm grande potencial de aplicação para os ZEB futuros.

A tabela 4.1 apresenta a hierarquia referida anteriormente com alguns exemplos aplicados a cada uma das opções.

Tabela 4.1 - Hierarquia das fontes de energia renovável dos ZEB [34].

Opção	Opções de alimentação do ZEB	Exemplos
0	Reduzir a energia gasta no local através de tecnologias de baixo consumo de energia em edifícios	Luz solar, HVAC de alta eficiência, ventilação natural, etc.
Fontes de energia locais		
1	Usar fontes de energia renovável que fazem parte do edifício	FV, aquecimento de águas solar, mini-eólicas.
2	Usar fontes de energia renovável disponíveis no local	FV, aquecimento de águas solar, hídricas, eólicas.
Fontes de energia exteriores		
3	Usar fontes de energia renovável disponíveis fora do local para gerar energia no local	Biomassa ou biodiesel que podem ser importados de fora que podem ser usados no local para gerar eletricidade e calor.
4	Comprar fontes de energia renovável disponíveis fora do local	Eólicas, FV, hidroeléctricas e outras fontes de energia renovável.

Verifica-se que em primeiro lugar se deve apostar em reduzir o consumo de energia. Depois de reduzir o consumo deve apostar-se em usar as fontes de energia mais próximas, sendo que só em último recurso se deve comprar fontes de energia disponíveis fora do local.

4.2 Situação Atual

O Protocolo de Quioto assinado em 1997 (nascido da cimeira mundial no Rio de Janeiro em 1992) foi a primeira iniciativa colaborativa para tentar reduzir as emissões de carbono a um nível global. Os edifícios, casas em particular, desempenham um papel extremamente importante nas emissões de carbono. O Reino Unido definiu os objetivos para atingir o *zero carbon standard* até 2016 que constitui um dos programas mundialmente mais ambiciosos no ramo das energias renováveis e redução das emissões de carbono como se pode verificar na figura 4.2:

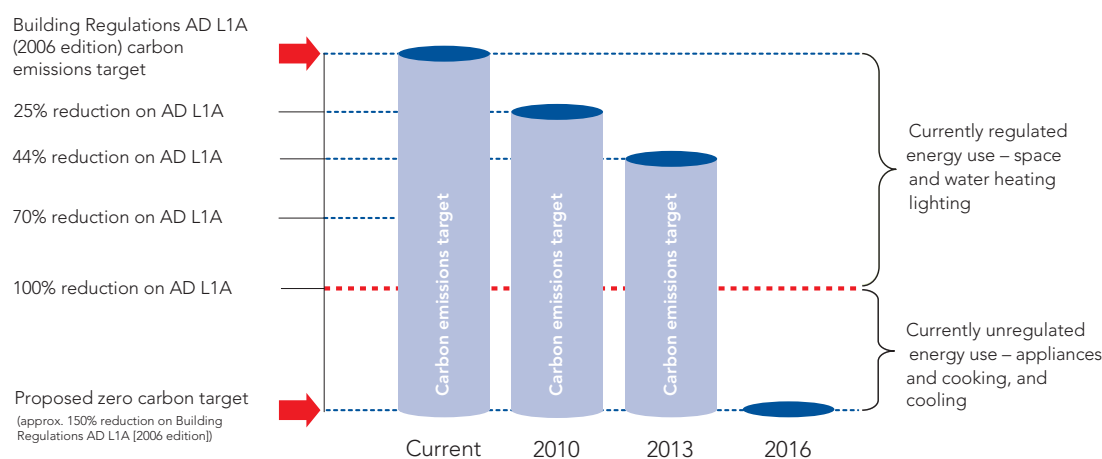


Figura 4.2 - Redução das emissões de carbono para novos edifícios - transição proposta para 2016 [36].

Através da análise da figura 4.2 é possível concluir que o aquecimento e a iluminação são os grandes responsáveis pela libertação de CO₂ para a atmosfera. No entanto, isso tem vindo a diminuir e em 2013 haja uma redução de 44% segundo a norma AD L1A [36]. A partir de 2016 todos os edifícios construídos têm emissões de CO₂ nulas.

Alguns países foram selecionados para serem casos de estudo e seguidamente irão ser analisados e comparados verificando a situação atual e uma previsão para os próximos anos.

A maior parte dos países estudados têm planos de eficiência energética definidos. Ao longo dos anos estes programas têm melhorado e desenvolvido os países em termos de consumo e gestão da energia. Na figura 4.3 está representado o nível de emissões de carbono em alguns países estudados.

Zero Energy Buildings (ZEB)

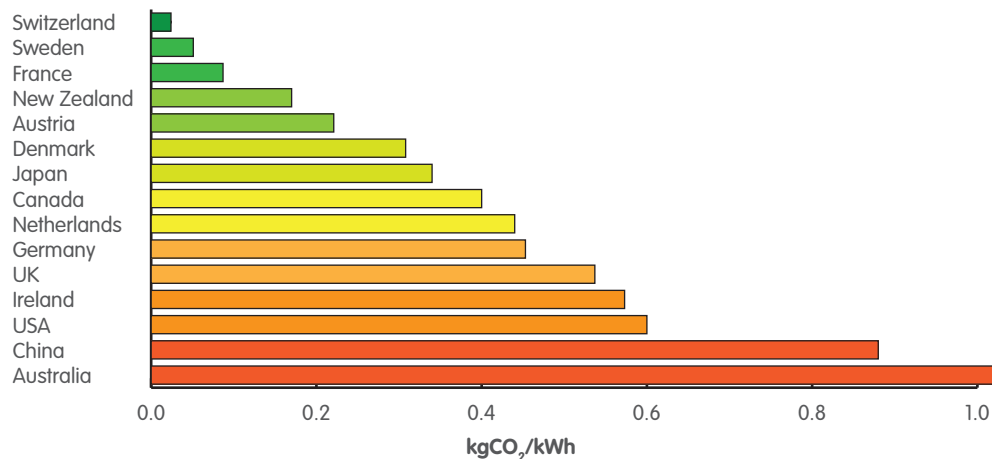


Figura 4.3 - Emissões de carbono por unidade de energia nos diferentes países (kgCO₂/kWh) [37].

Portugal em 2009 emitia 0.370 kgCO₂/kWh situando-se entre o Japão e o Canadá. A emissão de carbono em quilogramas de CO₂ por kWh de eletricidade produzida, varia muito entre os países e depende do *mix* de fontes de energia usada para produzir energia.

Neste caso, ou seja, em Portugal especificamente, a EDP desempenha um papel essencial no que respeita ao nível de emissões de CO₂. A estratégia da EDP de combate às alterações climáticas tem como objetivo reduzir progressivamente as emissões de gases com efeito de estufa resultantes da sua atividade, dando especial relevância no que toca à produção de energia eléctrica [38].

Para o efeito, a EDP assumiu, em 2007, o objetivo de reduzir em 35% as emissões específicas do parque electroprodutor em 2010 face a 2006. No entanto, com a apresentação do Plano de Negócios 2009-2012 alicerçado numa estratégia de investimentos com redução de exposição às emissões de CO₂, esse compromisso foi reforçado e fixado em 270 kgCO₂/kWh em 2012, ou seja, -56% do valor 2005 (600gCO₂/kWh) [38].

No sentido dos países se desenvolverem com o objetivo de atingirem um futuro de habitações *zero-carbon*, verifica-se que o Reino Unido não está sozinho nesta iniciativa das *zero energy houses*. França está a desenvolver as *plus energy houses* para 2020 e atualmente vários países definiram programas que vão de encontro com a pesquisa e desenvolvimento de *zero energy houses*, incluindo os Estados Unidos da América (ZEB), Austrália (*NATHERS 10-star*), Canada (*NZE Housing*), Japão (*Zero Utility Cost Houses*) e países em que o alemão é a língua materna (*nullenergiehaus*) [37].

Reduzir as perdas que se verificam na distribuição de energia é uma medida importante para reduzir as emissões de carbono (cerca de 20-25%). Países como a Suíça têm incentivos financeiros destinados aos produtores de energia para encorajarem a produção dispersa ou descentralizada.

É possível verificar que nos países em que foram feitas melhorias significativas em termos energéticos, a informação, a infraestrutura nacional, os incentivos financeiros, andaram de mão dada com as novas políticas energéticas. A Dinamarca, Áustria e Suíça têm-se

comprometido no sentido de alcançar um futuro com baixas emissões de carbono e sem energia nuclear. Neste caso, e em particular, a Suécia inverteu totalmente aquilo que tenderia a ser uma enorme expansão da sua energia nuclear desde o desastre de Chernobyl [37].

4.2.1. Austrália

A Austrália é o 6º maior país a nível mundial e é cerca de 80% maior do que a área ocupada pela União Europeia. O sistema de classificação energética das casas (NatHERS - *Nationwide House Energy Rating Scheme*) utiliza simulações computacionais para avaliar o potencial conforto térmico das casas numa escala de 0 a 10 estrelas. Antes da implementação dos planos de eficiência energética para as casas em 2003, menos de 1% das casas na Austrália atingiam 5 estrelas na escala de NatHERS. Muitas casas desenhadas hoje em dia estão a ser construídas para alcançarem 6 estrelas nessa mesma escala.

Em Janeiro de 2003, foram introduzidas medidas de eficiência energética no código nacional para edifícios (*Building Code of Australia*). No *white paper* Australiano, o governo comprometeu-se a reduzir a longo prazo cerca de 60% das emissões de gases de efeito de estufa (GEE). O *National Appliance and Equipment Energy Efficiency Program*, criado em 1992, pretende reduzir a procura de energia através da aposta em aplicações que aumentem eficiência energética nos edifícios e equipamentos.

O governo australiano disponibilizou 40,4 milhões de *australian dollars* de 2000 a 2005 para o *Photovoltaic Rebate Program* (PVRP) para encorajar o uso a longo prazo da tecnologia fotovoltaica. Contudo, esta iniciativa não teve muito sucesso visto que mesmo com os subsídios as instalações continuavam a ser muito dispendiosas [37].

i. *Australian Zero Emission House (ZEH)*

A *zero energy house* é uma casa de 4 quartos que foi projetada com a colaboração da *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO) e um consórcio do governo e parceiros industriais para construir uma casa que não libertasse nenhum CO₂ como resultado da produção ou consumo de energia no local. Esta construção foi projetada de forma a libertar até 70% menos de energia do que uma casa tradicional de tamanho semelhante através de um *design* cuidado, considerando o clima, fontes de águas quentes, aquecimento e arrefecimento. A habitação vai também incorporar um sistema de gestão de energia e vai ser usada em fase experimental durante 1 ano [37]. A *Australian Zero Emission House* está representada na figura 4.4.



Figura 4.4 - *Australia's Zero Emission House (ZEH)* em Melbourne [37].

4.2.2. China

A reconstrução de edifícios para melhorar a eficiência energética é um processo chave para países como a China melhorarem os problemas relacionados com o elevado consumo energético. O objetivo é promover a eficiência energética e acelerar a execução desta estratégia que aponta para o desenvolvimento sustentável da China. Na China, o consumo de energia dos edifícios é de cerca de 27% do consumo final. No entanto, atendendo ao crescimento deste país, estima-se que essa percentagem seja muito maior nos próximos anos.

Através da reconstrução, é possível melhorar a *performance* a nível térmico e daí um menor consumo de energia. A aplicação de tecnologias de energias renováveis reduz significativamente o consumo de energia de fontes de energia fóssil.

No final de 2003, existiam cerca de 28 biliões de m² de edifícios na China, rurais e urbanos. Destes edifícios, 95% são construções de alto consumo que precisam de ser reconstruídos de acordo com o *standard* da eficiência energética [39].

Como já foi referido anteriormente, o consumo de um edifício é constituído por aquecimento, arrefecimento, águas quentes, eletricidade e cozinha. Os estudos revelam que a maior parte da energia consumida é gasta em aquecimento e arrefecimento. As razões para tal acontecer prendem-se com o facto dos sistemas de aquecimento e arrefecimento não terem grandes capacidades de preservação de calor. Na China, o coeficiente de condução de calor dos edifícios é 2 a 3 vezes superior à dos países desenvolvidos. No entanto, existem alguns problemas [39] na reconstrução de edifícios:

1. Ator indefinido - Muitas vezes há situações em que os proprietários e os utilizadores não são os mesmos. No caso das casas residenciais, os proprietários não apostam na reconstrução das casas porque podem ter de ser destruídas e o custo de reconstrução pode superar os benefícios da eficiência energética.
2. Financiamento - O custo para a reconstrução dos edifícios é elevado e os proprietários nem sempre têm dinheiro ou o financiamento necessário para o fazer.
3. Falta de políticas económicas de incentivo - As políticas económicas deviam incluir um subsídio financeiro e em muitos casos não incluem.

Como uma das economias de mais rápido desenvolvimento a nível mundial, as políticas energéticas da China têm um impacto significativo no fornecimento de energia a nível global e no ambiente. A necessidade da eficiência energética no sector residencial apareceu devido à falta de energia no Verão pelo elevado uso de sistemas de ar-condicionado. A China gasta 45% da energia total na produção e transporte de materiais de edifícios e construção de novas casas e escritórios, aquecimento e arrefecimento. Se o ritmo de construção continuar, vai ser impossível produzir energia suficiente para alimentar todos os edifícios. Por outro lado, isto traduz-se no facto de em 2015 metade dos edifícios na China tenham menos de 15 anos de idade [39].

Desde 1986, o ministério do comércio da China definiu vários regulamentos para as poupanças energéticas para os edifícios conforme os 4 climas principais que existem no país. Estes regulamentos exigiam um nível relativamente elevado de isolamento nas paredes e no telhado, limites de energia gasta para iluminação e ar condicionado (HVAC). Contudo, no final de 2000, apenas 5% das novas habitações estavam dentro desses níveis.

O novo regulamento de eficiência energética para edifícios residenciais na China é designado de *The Design Standard for Energy Efficiency of Residential Buildings*. Em Beijing foi definido que a produção de energia proveniente de fontes de energias renováveis iam aumentar em cerca de 15% em 2020, através da construção de grandes parques eólicos e biomassa.

Estima-se que o consumo de energia nos edifícios públicos e residenciais na China seja reduzido em 50% através da reforma dos sistemas de aquecimento, dos esforços renovados para promover as tecnologias de eficiência energética em edifícios e a renovação dos edifícios já existentes nas regiões que se situam no norte da China [37].

i. *Dongtan Eco-City*

Dongtan foi planeada para ser uma cidade amiga do ambiente com zero emissões de GEE e sustentável termos de água e energia. O projeto foi pioneiro na medida em que se trabalhava para a construção de um futuro sustentável. Comparativamente a uma cidade da mesma dimensão, Dongtan atingiu os seguintes objetivos:

- Redução em cerca de 60% do impacto ambiental;
- Redução em 66% da procura de energia;
- Utilização de 40% de energia biológica;
- Utilização de 100% de energias renováveis para edifícios e transportes
- Redução de lixo em cerca de 83%;
- Emissões de carbono nulas.

A estratégia para atingir estas metas passou por apostar na climatização de alta *performance*, usar equipamentos de alta eficiência e promover mecanismos para encorajar os

Zero Energy Buildings (ZEB)

moradores a poupar energia. A energia que alimenta a cidade é proveniente de ciclo combinado e de uma central de biomassa (casca de arroz), um parque eólico, biogás extraído do lixo municipal, e sistemas de produção de energia elétrica integrados em edifícios (painéis fotovoltaicos e microturbinas) [37].



Figura 4.5 - *Dongtan Eco-City* na China [37].

Na figura 4.5 está representada uma imagem da *Dongtan Eco-City* para se perceber a respectiva dimensão.

4.2.3. Dinamarca

A Dinamarca é um dos líderes em eficiência energética da União Europeia, sendo virtualmente auto-suficiente em energia, exportador de petróleo e gás, e tendo a intensidade energética mais baixa dos países da UE. Aproximadamente metade das habitações estão ligadas a uma rede de aquecimento distrital em que o calor é produzido por uma central de ciclo combinado que utiliza essencialmente biomassa e resíduos (42%), gás natural e petróleo e carvão (limitados).

As energias renováveis são asseguram 15% das necessidades energéticas da Dinamarca e consistem numa mistura de energia solar, eólica e biomassa. Foi o primeiro país no mundo a estabelecer uma central eólica *offshore*. A Dinamarca planeia reduzir o consumo energético em 2% em 2011 e 4% em 2020, em comparação com os consumos energéticos em 2006. Em 2011, as energias renováveis devem assegurar 20% do consumo energético nacional.

Existem planos com medidas rígidas para os edifícios que apontam para uma redução de consumo de 25% em 2010, seguidos de uns 25% adicionais em 2015 e ainda 25% em 2020. Foi também definido que a partir de 2020, todas as habitações novas devem obedecer às normas da *Passivhaus*. Está a ser desenvolvida uma versão do *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM).

De acordo com o protocolo de Kyoto, a Dinamarca comprometeu-se a reduzir os GEE em 21% de 2008 a 2012, de acordo com os níveis de 1990, o que corresponde a uma das reduções mais ambiciosas do mundo.

Em termos de financiamento a Dinamarca disponibilizou 25 milhões de krones dinamarqueses por ano para pesquisas relacionadas com a energia solar e das ondas, bem como subsídios para as tecnologias de energias renováveis [37].

i. *Skotteparken Egebjerggard*

Skotteparken é um projeto de edifícios experimental que tem como objetivo uma poupança de cerca de 60% em aquecimento e águas quentes, bem como uma redução no consumo de energia e água. As habitações são aquecidas através da energia solar e de baixo consumo que é atingido através de:

- combinação de isolamento extra;
- disposição das janelas;
- recuperação de calor águas quentes solares;
- aquecimento distrital das centrais de ciclo combinado;
- aquecimento local e medição do consumo de água;
- sistema de gestão de energia;
- armazenamento da água da chuva.

A Dinamarca criou um documento designado *Denmark's Climate Policy Objectives and Achievements* que faz referência aos fundos para turbinas eólicas privadas, expansão da capacidade da geração de energia elétrica usando as turbinas eólicas, cogeração descentralizada, utilização de biomassa para produção de eletricidade, poupanças energéticas em negócios e conversão de habitações antigas para sistemas de cogeração e aquecimento solar, bombas de calor e biomassa [37].



Figura 4.6 - *Skotteparken Egebjerggard* em Ballerup [37].

A figura 4.6 ilustra o *Skotteparken Egebjerggard* em Ballerup.

4.2.4. Alemanha

A Alemanha tem cerca de 39 milhões de edifícios e 29 desses foram construídos antes de 1979. Através do programa de incentivo nacional de 1970, 19 milhões de casas foram melhoradas através de medidas de eficiência energética. Para se ter uma percepção da situação na Alemanha apresenta-se a figura 4.5 que ilustra o gráfico com o número de edifícios construídos na união europeia antes e depois de 1973.

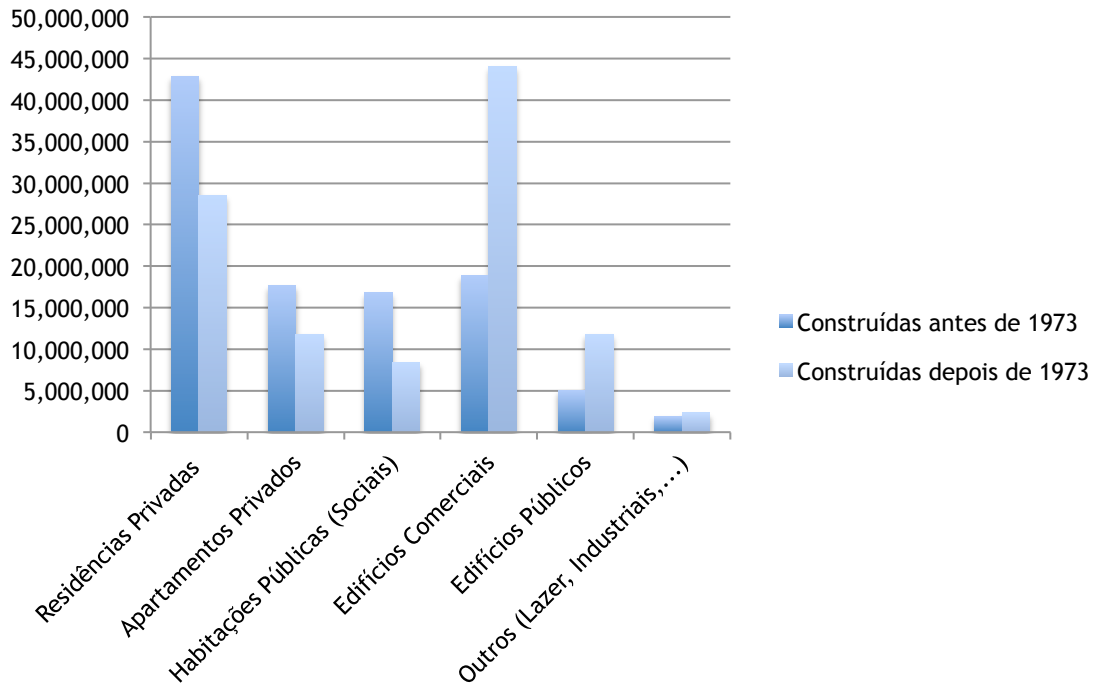


Figura 4.7 - Número e tipo de edifícios construídos antes e depois de 1973 na União Europeia [40].

Através da análise da figura 4.7, verifica-se a maior parte das residências, apartamentos privados e habitações públicas (sociais) foram construídas antes de 1973, enquanto que grande parte dos edifícios comerciais foram construídos posteriormente a essa data. Cerca de 12% da energia da Alemanha é proveniente de fontes de energia renovável e o governo planeia aumentar este valor para 30% até 2030 e expandir o uso de ciclo combinado para atingir 25% de geração descentralizada em 2020.

A revisão de 2009 do *Energy Saving Regulations* (EnEV) inclui o compromisso de atingir que 15% da energia gasta em aquecimento, águas quentes e arrefecimento seja proveniente de fontes de energia renovável. O governo disponibilizou 500 milhões de euros para incentivos de forma a promover as novas normas do EnEV. Os principais regulamentos da Alemanha são:

- EnEV - Energieeinsparverordnung 2007;
- Waermeschutzverordnung - *standard* de limitação da procura anual de aquecimento.

No entanto, existem várias normas:

- DGNB (*Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen*) - Código voluntário para edifícios “verdes”, atribuindo certificados de ouro, prata ou bronze para edifícios sustentáveis.
- *Passivhaus* - norma para edifícios de consumo extremamente baixo que existe desde 1990. Existem mais de 15,000 edifícios construídos, maioritariamente na Alemanha, Austrália e Escandinávia.
- *Niedrigenergiehaus (low-energy house)*.

A Alemanha comprometeu-se a reduzir as emissões de CO₂ em 20% até 2012 com base nos níveis de 1990. Este valor foi atingido em 2007 e o objetivo agora passou a ser reduzir em 40% até 2020. Em Setembro de 2007, o primeiro plano de eficiência energética nacional foi submetido para o ministério da economia e tecnologia de forma a atingir uma meta de 9% de poupança energética de 2008 a 2016.

Das Integrierte Energia - und Klimaprogramm (IEKP) foi criado em 2007 e é um plano integrado e focado em 3 elementos chave

- Informação através de uma agência central;
- Incentivos financeiros e suporte através do banco de empréstimos nacional;
- Aumento dos regulamentos, incluindo mais de 30 medidas que abrangem o uso de energias renováveis, aumento da produção dispersa e aumento da eficiência energética em edifícios e tecnologias.

Em 2006 e 2007, a Alemanha disponibilizou 32.9 biliões de euros para garantir a redução de CO₂ permanentemente em 1.6 milhões de toneladas anuais [37].

i. *Vauban*

Vauban é um bairro com 5000 habitantes localizado 4 km a sul do centro de Freiburg, Alemanha. Todas as casas em *Vauban* são construídas com o *standard* de baixo consumo energético - máximo de 65 kWh/m² (a média de consumo numa casa nova alemã é de cerca de 100 kWh/ m² e as antigas cerca de 200 kWh/ m²) com 42 unidades produzidas de acordo com a norma *Passivhaus* e 10 de acordo com a *PlusEnergy*. As tecnologias de baixo consumo aplicadas incluem centrais de ciclo combinado, colectores solares e painéis fotovoltaicos. As outras medidas incluem estratégias para os habitantes perderem a tendência de andar de carro e usarem os transportes públicos, disseminação de informação, e planeamento cooperativo para o planeamento e desenvolvimento de espaços públicos [37].



Figura 4.8 - Vauban em Freiburg [37].

A figura 4.8 ilustra edifício construído em Vauban na Alemanha.

4.2.5. Japão

Em 2004, foram construídas 1,160.083 casas no Japão. Entre elas, 159,000 casas (cerca de 13.7%, ou 1 em cada 7) foram pré-fabricadas. O Japão lançou um mercado de incentivo a 70,000 painéis fotovoltaicos no telhado em 1994 que cobria cerca de 50% dos custos de instalação, tornando-se no primeiro país a introduzir subsídios para instalação de sistemas fotovoltaicos em habitações. Esta estratégia fez com que o Japão fosse o líder mundial em capacidade e produção de células fotovoltaicas.

No entanto, no Japão a energia nuclear tem um papel fulcral na política energética do país. O objetivo a longo prazo é reduzir as emissões de CO₂ em 60-80% até 2050.

O *Energy Conservation Standard (ECS)* é a norma que está em vigor no Japão desde 1980 com revisões em 1992 e 1999. As últimas normas de isolamento previam uma poupança de 20% em energia gasta para sistemas de ar-condicionado mas, em 2001, apenas 8% dos novos edifícios obedeciam a estes requisitos. O Japão também adotou o *Energy Star Programme* para aplicações de eficiência energética [37].

De acordo com o protocolo de Kyoto, o Japão comprometeu-se a reduzir as emissões de CO₂ em 6% entre 2008-2012 comparando com os níveis de 1990. O caminho para atingir estes objetivos foi traçado no *New Guideline for Measures to Prevent Global Warming*, publicado em Março de 2002. Em 2006, o governo anunciou as medidas de poupança energética que serão implementadas em 40% das habitações até 2005.

O governo japonês planeia introduzir um sistema informático designado *Home Energy Management Systems (HEMS)* para fornecer os valores em tempo-real de consumo e custo da energia de forma a aumentar a preocupação dos cidadãos e no sentido de mudar a mentalidade de forma a aumentar a eficiência energética. São disponibilizados também alguns subsídios em forma de empréstimos para a compra de casas mais eficientes. A geração

de energia através do ciclo combinado é também promovida com um suporte financeiro por parte do estado, bem como incentivos para a instalação de equipamentos energeticamente eficientes [37].

i. *Kanagawa Hybrid Z*

Misawa Homes é o nome de uma empresa japonesa que fabricou a primeira *zero-energy prefabricated house* em 1998, anunciou a conclusão do modelo *Next Generation Zero Energy House* na cidade de Asahikawa. A habitação é constituída por materiais de isolamento de grande qualidade, aquecimento solar passivo no inverno e sombra no verão. As normas de isolamento são duas vezes mais eficientes que as definidas pelo *National Government's Energy-Saving Standards*. Inclui também um sistema de bomba de calor para aquecimento e arrefecimento das águas, um painel montado na parede baseado em sistema de ar condicionado que usa água aquecida ou arrefecida e um sistema de painéis fotovoltaicos com 9.5 KW que cobre o telhado por inteiro [37].



Figura 4.9 - *Kanagawa Hybrid Z* [37].

O *Kanagawa Hybrid Z* está ilustrado na figura 4.9 focado na instalação fotovoltaica .

4.2.6. Suíça

Em 2000, a Suíça tinha a densidade populacional mais baixa da Europa que correspondia a 35%. Para um indivíduo interessado em comprar casa, a compra da mesma é, na maior parte dos casos, uma decisão a longo prazo e por isso estão dispostos a investir em melhorias a longo prazo. Suíça é um dos países com maiores capacidades a nível de produção de energia, com a implementação de hidroelétricas de larga escala com fontes de energia renovável. O país tem sido, até à data, auto-suficiente e capaz de exportar energia nos meses de verão. O país tem definido uma meta de 10% para capacidade de geração de energia renovável até 2030 e a descontinuação da energia nuclear [37].

O nome *MuKE* corresponde ao regulamento para edifícios global resultante do alinhamento de regiões independentes (cantões). A melhoria da *performance* energética é a

prioridade na revisão de 2008. A *Swiss Association of Architects and Engineers (SIA)* relevou também algumas normas a nível térmico e energético nos edifícios.

A norma suíça *MINERGIE* é uma marca registada de qualidade para edifícios de baixo consumo novos ou renovados. A norma é atribuída a edifícios que proporcionam sistemas de ventilação eficientes, bem como consumos baixos de energia, sendo este último o factor principal de indicação de *performance*. As habitações devem atingir um consumo anual abaixo de 42 kWh/m² por ano para aquecimento - que corresponde a uma melhoria de 20% comparando com a norma para edifícios. Desde a criação desta norma, 12,000 edifícios foram certificados [37]. Para se perceber o impacto desta norma na Suíça apresenta-se o gráfico 4.10 [41] com o número de edifícios que estão de acordo com essa mesma norma até 2009:

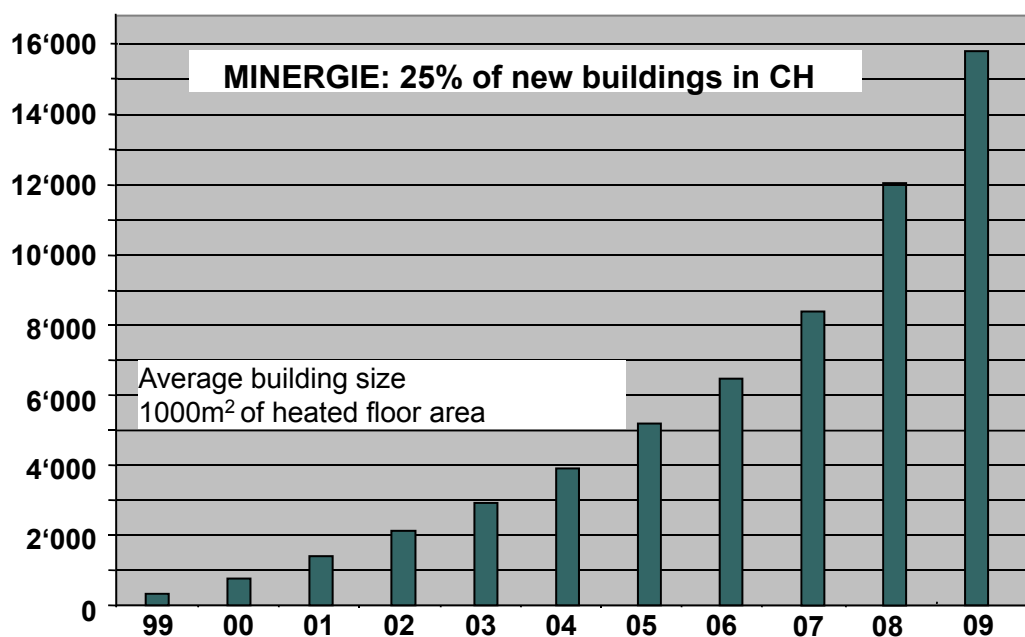


Figura 4.10 - Número de edifícios *MINERGIE* de 1999 até 2009 [41].

Para além disso, existem também algumas variantes desta norma, tais como: *MINERGIE-P* é o equivalente ao *MINERGIE* mas de ultra baixo consumo, que exige a diminuição 80% da energia gasta em aquecimento, e o *MINERGIE-Eco* que se foca essencialmente em questões ambientais, tais como a saúde e materiais. As normas definidas no *MINERGIE-P* são comparáveis com as definidas no *Passivhaus*.

De acordo com o protocolo de Kyoto, a Suíça comprometeu-se a reduzir em 8% as emissões de CO₂, comparando com os níveis de 1990. Em Março de 2007, o *Electricity Supply Act* definiu um aumento da produção de energia através de fontes de energias renováveis em 10%. Os objetivos principais da política energética do país passam por promover o uso de energias renováveis e encorajar a eficiência energética. Até à data, houve poucas variações no nível de emissões de GEE desde 1990, apesar da Suíça já ser o país que tem de longe menos emissões de GEE. Para atingir as metas traçadas na redução das emissões de CO₂, há o

compromisso de reduzir as mesmas em 1,5% por ano, o que corresponde a uma poupança de 50% até 2050 [37].

Existe uma larga e variada gama de subsídios e garantias distribuídos pelos cantões, que têm definidas como prioridades as melhorias do fabrico de edifícios (*performance* térmica das paredes, pavimentos, janelas e tecto) juntamente com serviços de eficiência energética em edifícios. Seguidamente, o objetivo passa por consciencializar os residentes e mudar o seu comportamento. Finalmente, a promoção das energias renováveis e uso das mesmas em cada cantão é também essencial para se atingir as metas definidas. A Suíça é o país com tarifas de incentivo e aceleração de projetos de energias renováveis maiores no mundo.

i. *Residential Building*

Este edifício construído em 2007 na zona de Brunnenhof, foi o primeiro edifício com certificação *Minergie-Eco*, constituído por 72 casas, com apartamentos de 3 a 6 quartos. O trabalho, que foi desenvolvido em conjunto com um *designer*, apresenta fachadas com várias cores com telas que se movem de forma a oferecer privacidade e sombra às varandas orientadas para sul. O aquecimento do subsolo e das águas quentes é proveniente do aquecimento distrital. Para além disso, os *designers* consideraram também todo o impacto ambiental desde o fabrico, passando pela operação, até ao fim de vida do projeto [37].



Figura 4.11 - Edifício desenvolvido de acordo com a *MINERGIE* em Brunnenhof [37].

A figura 4.11 ilustra o projeto desenvolvido de acordo com a *MINERGIE* em Brunnenhof, na Suíça.

4.2.7. Reino Unido

No Reino Unido, o consumo de energia primária de uma casa anda à volta dos 200 kWh/m², comparando com os 78 kWh consumidos para uma *Passivhaus* (programa da Alemanha). O código para casas sustentáveis consiste num sistema de classificação obrigatório para casas novas que define valores para a utilização de energia e água e classifica as casas de 1 a 6 para indicar a performance a nível de sustentabilidade de uma habitação.

Constitui um país pioneiro em muitos aspectos relacionados com a política energética que têm servido como modelo para outros países. Pelo facto de ser o país com o clima mais parecido com o de Portugal, são apresentados os dados de temperatura do ar, humidade e radiação solar que são úteis para se determinar as fontes de energia mais adequadas [37].

O governo do Reino Unido definiu como meta reduzir em cerca de 80% as emissões de CO₂ até 2050 tendo como referência os níveis de 1990. É, sem dúvida, um desafio difícil de superar na medida em que a maior parte das casas são antigas. O plano nacional de ação de eficiência energética do Reino Unido define também como meta a redução em de 31% das emissões no sector residencial até 2020.

Mais de 27% das emissões de CO₂ no Reino Unido são provenientes do sector residencial. Cerca de 82% da energia usada nas casas é para aquecimento do ar e das águas. Menos de um terço das casas na Grã-Bretanha tinham aquecimento central em 1970, tendo aumentado para 89%, 30 anos depois [37].

O Código para a Sustentabilidade das Casas (lançado em 2006) é uma norma que foi desenvolvida a partir do *Building Research Establishment Ecohomes System*, e foi introduzida para conduzir uma mudança na prática da sustentabilidade em edifícios. Funciona de acordo com uma escala de 1 a 6, baseada em 9 critérios de sustentabilidade que incluem a energia e emissões de CO₂. O nível 1 corresponde a uma melhoria de 10% de acordo com as normas regulamentares para edifícios, enquanto que o nível 6 será o equivalente a uma *Zero Carbon Home*, ou seja, 150% de melhoria. Em Março de 2008, o governo anunciou que a classificação seria obrigatória para todas as casas novas a partir de Maio de 2008.

De acordo com o protocolo de Kyoto, o Reino Unido comprometeu-se em reduzir as emissões de GEE de 2008-2012 em 12,5%.

O *Low Carbon Buildings Programme* (LCBP), lançado em 2006, disponibiliza financiamento para tecnologias de microprodução. O programa esteve em funcionamento até 2010 e custou 10,5 milhões de libras. Os fundos disponibilizados pelo governo da Grã-Bretanha vão até 2700 libras para casas de forma a melhorarem a eficiência da energia e do aquecimento [37].

i. *Beddington Zero Energy Development (BedZED)*

BedZED é a *eco-village* maior do Reino Unido composta por 100 habitações, espaços comunitários e escritórios para 100 pessoas. É habitado desde 2002 e os requisitos de aquecimento numa casa destas são cerca de 10% comparando com uma casa típica. O

desenvolvimento desta vila foi feito no âmbito do conceito de baixas emissões preocupando-se não só com as habitações, mas também com o conceito de reduzir o uso do automóvel, aumentar a eficiência da utilização da água e materiais. As casas beneficiam do ganho solar passivo, possuem vidro triplo e níveis elevados de insulação.

Foram feitos estudos em 2003 que descobriram que as necessidades de aquecimento na BedZED são 88% menores do que a média no Reino Unido, o consumo de água quente é 57% menor, o consumo de energia elétrica é 25% menor.

Uma central de ciclo combinada, alimentado a pedaços de madeira reciclados satisfaz a maior parte das necessidades energéticas. Os princípios aplicados na BedZED foram aplicados em 6 casas certificadas com o nível 6 de acordo com o código de sustentabilidade [37].



Figura 4.12 - *Beddington Zero Energy Development (BedZED)* [37].

A figura 4.12 ilustra a urbanização *Beddington Zero Energy Development*

4.2.8. Estados Unidos da América (EUA)

Em 2007, haviam 128 milhões de casas nos EUA, sendo que 63% destas têm 3 ou mais quartos, 65% têm garagem e 86% têm ar-condicionado. Dos países analisados, os EUA constituem o país que mais emissões de CO₂ liberta para a atmosfera. A densidade populacional é relativamente baixa e o país é maioritariamente dependente de fontes de energia fóssil. No entanto, é o país que maior financiamento e apoio fornece para as pesquisas de novas tecnologias, conduzindo o desenvolvimento da captura e armazenamento de carbono, energia nuclear, eficiência do combustível para veículos, energia eólica e fotovoltaica. O *US Zero Net Energy Buildings Outreach and Action Plan (2000)* [37] tem como objetivo disponibilizar a construção de 100,000 *net Zero Energy Solar Homes (ZESH)* até 2020.

Existem vários programas para o aumento da eficiência energética nos EUA, nomeadamente o programa *Building America* pretende desenvolver soluções económicas para reduzir o uso de energia nas habitações de 40 a 100%. O *EnergySmart Home Scale (E-Scale)*,

Zero Energy Buildings (ZEB)

estima o consumo anual energética de uma casa comparado com uma casa típica. O sistema de classificações também está disponível para as casas. Para conseguir o rótulo de *Energy Star* as casas devem ser pelo menos 15% mais eficientes que o *International Residential Code* (IRC) de 2004 [37].

O sistema de classificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) foi lançado pelo *US Green Building Council* (USGBC) em 1998. Até à data, o LEED certificou cerca de 14,000 projetos no mundo inteiro. Disponibiliza um conjunto de normas para uma construção sustentável e amiga do ambiente, incluindo medidas para otimizar a energia, água, materiais, qualidade do ar e inovação.

O governo americano criou uma iniciativa designada *Builders Challenge* para a indústria de construção de forma a construírem 220,000 casas de alta-performance até 2012. A administração atual disponibilizou 150 biliões de dólares durante os próximos 10 anos para catalisar os esforços para o futuro das energias limpas, garantir que há pelo menos 1 milhão de carros híbridos na estrada até 2015, assegurar que 10% da energia fornecida vem de fontes de energia renovável até 2010, 25% até 2025, e reduzir as emissões de GEE em 80% até 2050 [37].

O *Energy Policy Act* de 2005 facilitou a atribuição de incentivos fiscais e garantias de empréstimo para produção de energias de vários tipos. Os consumidores americanos podem usufruir de vários incentivos fiscais associados à energia, incluindo [37]:

- Crédito de melhoria da eficiência energética em habitações - para compra e instalação de produtos específicos de eficiência energética como por exemplo: janelas, insulação, portas, telhados, equipamentos de aquecimento e arrefecimento.
- Crédito de energias renováveis no sector residencial - para a instalação de sistemas solares elétricos, geradores eólicos e bombas de calor geotérmico.

i. *Vista Montaña Zero Energy Community*

É a maior comunidade *Zero Energy* com 177 casas, 80 *townhouses* e 132 apartamentos. Todas as casas dispõem de um sistema fotovoltaico de 1,2-2,4 kW e uma seleção de medidas de eficiência energética incluindo maior insulação, pisos radiantes, tecnologia HVAC avançada, etc. As casas foram desenhadas para reduzir a conta de energia até 90%. A marca *Clarum's Enviro-Home* é atribuída a casas que combinam a eficiência energética e as energias renováveis com materiais sustentáveis [37].



Figura 4.13 - *Vista Montaña Zero Energy Community* em Watsonville [37].

A *vista Montaña Zero Energy Community* está ilustrada na figura 4.13.

4.3 Legislação

Na diretiva 2010/31/UE [42] do parlamento europeu e do conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios é essencial retirar que:

- A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi alterada. Devendo ser introduzidas novas alterações substanciais, é conveniente, por razões de clareza, proceder à sua reformulação.
- Uma utilização prudente, racional e eficiente da energia deverá abranger, nomeadamente, os produtos petrolíferos, o gás natural e os combustíveis sólidos, que constituem fontes de energia essenciais e, simultaneamente, as principais fontes de emissão de dióxido de carbono.
- Os edifícios representam 40% [33] do consumo de energia total na União. O sector está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia. Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa. Conjugadas com uma utilização de energia proveniente de fontes renováveis, as medidas tomadas para reduzir o consumo de energia na União permitirão à União cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, e honrar o seu compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2°C e o seu compromisso de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos 20 % em relação aos níveis de 1990, e em 30 % no caso de se alcançar um acordo internacional. A redução do consumo de energia e o aumento da utilização

Zero Energy Buildings (ZEB)

de energia proveniente de fontes renováveis têm igualmente um importante papel a desempenhar na promoção da segurança do aprovisionamento energético, na promoção dos avanços tecnológicos e na criação de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional, especialmente nas zonas rurais.

Esta diretiva é focada nos objetivos propostos para 2020 e refere alguns aspetos importantes relativos aos *zero energy buildings*. Segundo o artigo 9º [42] sobre os edifícios com necessidades quase nulas de energia temos que:

- O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Os Estados-Membros elaboram planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Os planos nacionais podem incluir objetivos diferenciados consoante a categoria de edifícios em causa.

A nível internacional estão listados alguns exemplos de medidas [35] tomadas em vários países no sentido da construção de *zero energy buildings*:

Estados Unidos da América

“O Programa de Tecnologias de Edifícios define que o portfólio de tecnologias e atividades são necessários para atingir um objetivo estratégico de *zero energy buildings* (ZEB) a um custo incremental baixo em 2025.”

Reino Unido

“O objetivo da proposta é definir uma data no sentido do desenvolvimento *zero carbon* como contribuição para atingir as metas do UK de reduzir as emissões de carbono em 60% até 2050.”

Áustria

“Visão de 2050 sobre energia em edifícios: Os edifícios no ano de 2050 devem ser, durante o seu tempo de vida (desde a produção até à operação do edifício), totalmente isentos de emissões de carbono.”

Holanda

“Na Holanda, o governo e o sector da construção trabalham no sentido de atingir construções com gastos de energia nulos em 2020.”

Alemanha

Do ponto de vista atual, os edifícios preparados para o futuro são edifícios que exigem uma arquitetura que proporcione um enorme conforto para o utilizador, exigência mínima de energia primária, equipamento tecnológico otimizado, integração com fontes de energia

maiores, bem como cobertura para as exigências a nível da economia energética. Casas com zero emissões de carbono são um objetivo a longo prazo.”

4.4 *Passivhaus*

Em 1991 Wolfgang Feist e Bo Adamson [43] aplicaram o método do desenho passivo a uma casa em Darmstadt, com o objetivo de proporcionar um caso estudo de uma casa de baixo consumo a um custo aceitável para o clima da Alemanha. O projeto demonstrou ser um sucesso não só em termos de consumo energético, mas também nas condições de conforto que os mesmos sistemas passivos foram aplicados uma vez mais, numa segunda construção em 1995 em Groß-Umstadt.

Em 1995, com base na experiência obtida nos primeiros casos estudo, Feist classificou os conceitos passivos adoptados nas casas de Darmstadt e Groß-Umstadt na norma *Passivhaus*. Esta norma assenta fundamentalmente em três requisitos [43]:

- um limite de energia (aquecimento e arrefecimento);
- um requerimento de qualidade (conforto térmico);
- um conjunto definido de sistemas passivos preferenciais que permitem cumprir o limite energético e de qualidade sem um custo elevado.

Este projeto já incluía todas as características da norma Alemã *Passivhaus*: elevados níveis de isolamento, incluindo pontes térmicas reduzidas e janelas bem isoladas, espaços com infiltrações de ar reduzidas e um sistema de ventilação com um sistema eficiente de recuperação de calor.

Para os climas centrais da Europa, verificou-se que estas melhorias em eficiência energética resultaram na possibilidade de simplificar o sistema de aquecimento. É possível manter o edifício confortável com o aquecimento do ar que é necessário fornecer ao edifício para garantir uma boa qualidade do ar interior. Desta forma, todo o sistema de distribuição de calor pode ser reduzido a um pequeno sistema com recuperador de calor. Para além disso, esta solução resulta num sistema com alta eficiência energética e um bom custo/benefício: considerando o ciclo de vida do edifício, uma casa *Passivhaus* não é obrigatoriamente mais cara que um apartamento novo convencional.

No total mais de 8.000 [43] casas foram construídas na Alemanha e na Europa central (na Áustria, Bélgica, Suíça e Suécia) cumprindo a atual norma *Passivhaus*. A definição de uma norma para casas de baixo consumo é feita através de um número de vantagens para ambos a indústria da construção e para o mercado Alemão em particular. De facto, foi uma das principais razões para a explosão de casas de baixo consumo energético na Alemanha. De seguida apresentam-se os dois pontos [43] mais relevantes em termos energéticos que definem a atual norma Alemã *Passivhaus* para os países da Europa central:

Zero Energy Buildings (ZEB)

- Critério de aquecimento: As necessidades úteis de aquecimento não podem exceder o limite de 15 kWh por m² por ano de área útil;
- Critério de energia primária: consumo de energia primária de todos os serviços energéticos, incluindo o aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias e os equipamentos eléctricos não deverá exceder o limite de 120 kWh por m² por ano de área útil.

4.4.1. Conforto Interior

As discussões sobre edifícios de baixo consumo podem prejudicar alguns aspectos importantes do desenho dos edifícios. Uma das mais importantes funções é que o edifício proporcione um ambiente confortável para trabalhar, viver ou de lazer.

Apesar de nas casas no sul da Europa ainda haver necessidade de serem aquecidas no inverno, é também essencial garantir o conforto no verão, o que, em alguns casos, pode traduzir-se num factor predominante. A norma *Passivhaus* foi recentemente revista para se tornar pertinente e útil para as necessidades específicas de climas quentes [43].

Para se atingir a norma *Passivhaus* é agora essencial que as temperaturas interiores no verão permaneçam inferior ao limite máximo de temperaturas definido na norma EN 15251.

De acordo com a norma EN 1525 [43], temperaturas de conforto aceitáveis atualmente dependem do sistema utilizado para obter o conforto no verão. Para se perceber melhor o impacto da norma EN 15251 apresentam-se os seguintes gráficos [44] com testes realizados para 3 categorias de ventilação diferentes em Portugal:

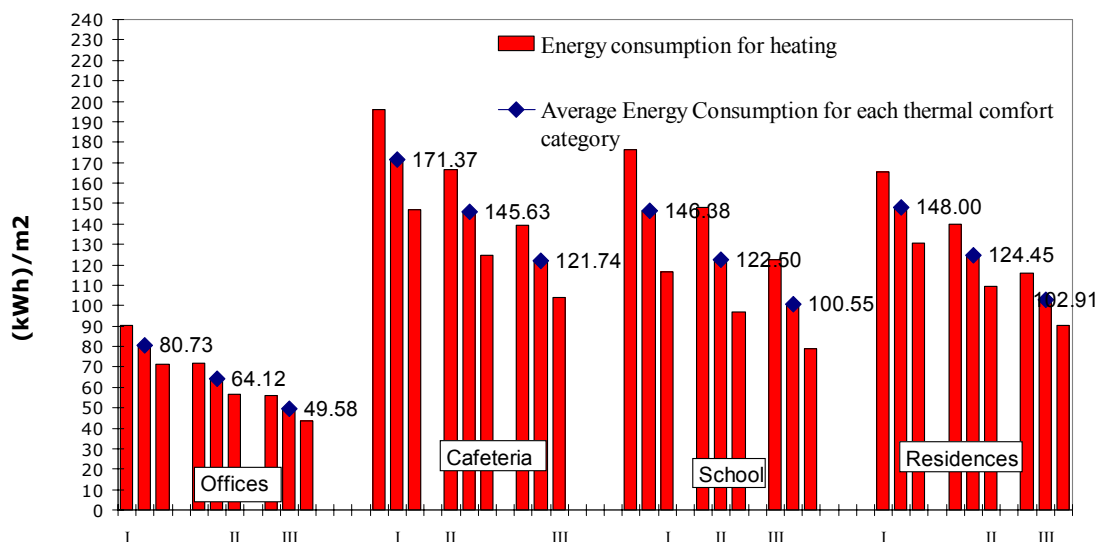


Figura 4.14 - Consumo de energia para aquecimento em edifícios em Portugal para 3 casos diferentes de ventilação de acordo com a norma EN 15251 [44].

Através da análise da figura 4.14, verifica-se que com aplicação do terceiro tipo de ventilação o consumo de energia para aquecimento reduz significativamente.

4.4.2. Custo da casa *Passivhaus*

Os custos iniciais foram calculados com base na informação disponível [43], principalmente de fonte governamental e relatórios estatísticos da indústria, sobre os custos associados com o desenvolvimento de edifícios residenciais típicos.

Foi efectuado um estudo detalhado [43] do custo inicial extra das soluções passivas optimizadas através da identificação das diferentes estratégias adoptadas e da determinação dos produtos associados, dos materiais e custos de mão-de-obra. Estes custos extras foram estimados tendo como base um edifício típico local. Na seguinte tabela estão representados os valores para a Alemanha, França, Espanha, Itália e o Reino Unido.

Tabela 4.2 - Comparação de custos *Passivhaus* em 5 países [43].

	Casa típica €/m ²	Passivhaus €/m ²	Custos extras €/m ²	Custos extras (%)
França	1100	1203	103	9
Alemanha	1400	1494	94	6.71
Itália	1200	1260	60	5
Espanha	720	740.5	20.5	2.85
Reino Unido	1317	1390	73	5.54

Através da análise da tabela 4.2, é possível concluir que o custo extra inicial varia entre 2.85% (Sevilha) até 9% (França) do custo respectivo da casa típica de referência. Esta variação reflete as diferentes realidades em termos de custo de construção, tradições de construção e regulamentação em vigor.

4.4.3. *Passivhaus* em Portugal

A casa exemplo construída de acordo com a norma *Passivhaus* em Portugal é constituída por dois quartos distribuídos por um piso único, telhado plano e uma área útil total de 110 m² que cumpre a regulamentação energética em vigor (RCCTE, DL 80/2006). As estratégias energética e de conforto da norma *Passivhaus* foram atualizadas para o contexto Português, especialmente no que se refere à longa estação de arrefecimento. A proposta tem em conta o clima local (caso estudo para Lisboa), as normas de construção e o contexto técnico e económico [43].

Os três maiores aspectos [43] tidos em consideração na *Passivhaus* são: relação com o sol, ventilação para arrefecimento e forte inércia térmica para controlar as variações de temperatura. A quantidade de radiação solar em Portugal é muito elevada, mesmo durante a

Zero Energy Buildings (ZEB)

estação de aquecimento. Um factor crucial nesta casa é a sua relação com a radiação solar, capturada diretamente (janelas) e indiretamente (sistemas solares térmicos). Possui também grandes janelas orientadas principalmente a sul aumentando os ganhos úteis solares durante o inverno. Menores áreas de envidraçado estão localizadas a este e a oeste com áreas mínimas orientadas a norte. Para além disso, a proteção solar é escolhida de acordo com a orientação: palas nas janelas a sul, assim reduzindo a incidência solar no verão, e estores venezianos exteriores em todas as janelas. Todas estas características vão de acordo com o que já foi referido anteriormente sobre o Edifício Solar XXI.

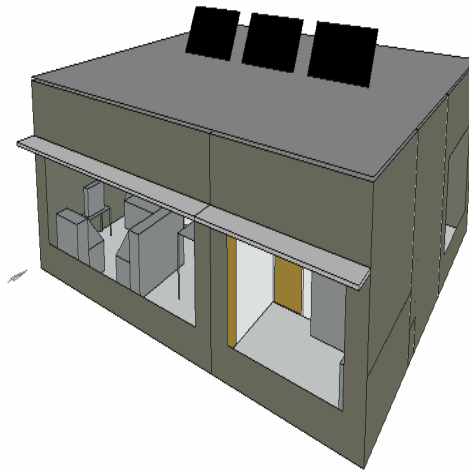


Figura 4.15 - Imagem 3D da casa *Passivhaus* proposta para Portugal [43].

Na figura 4.15 está representada uma imagem 3D da casa *Passivhaus* proposta para Portugal para se perceber, de facto a dimensão das janelas em relação à casa. Uma das características mais importantes da proposta consiste no uso de um sistema solar térmico. A regulamentação térmica atual obriga a utilização de painéis solares para aquecimento de águas sanitárias. A proposta inclui ainda a instalação do solar térmico para também contribuir para o aquecimento ambiente, com o aumento da área de captação de painéis e usando um sistema hidráulico de calor a baixa temperatura (por exemplo pavimento radiante). De acordo com a norma *Passivhaus*, a capacidade do sistema de aquecimento e arrefecimento foi limitada a 10 W/m^2 . O custo extra da proposta *Passivhaus* em Portugal é de 57 €/m^2 com um período de retorno do investimento de 12 anos [43].

i. Aspectos Construtivos

A casa aposta na capacidade de captar radiação solar (grandes vãos envidraçados a sul) e na capacidade de regular a temperatura interior com a sua grande capacidade térmica. Para ser possível obter uma redução das perdas e dos ganhos de calor, foram propostos 150 mm e 100 mm de isolamento para o cobertura e paredes exteriores, com valores de U de $0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, respectivamente. As janelas orientadas a sul correspondem a cerca

de 60% da área total de envidraçado; cerca de 20% da área envidraçada está orientada a este e outros 20% a oeste. A casa é constituída por aproximadamente $1,2 \text{ m}^2$ de envidraçado a sul para cada 10 m^2 de área útil. Os vidros duplos baixo emissivo são energeticamente eficientes nos climas frios de Portugal. Contudo, em grande parte das situações o vidro duplo típico é economicamente mais viável (valores de U de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ para o vidro duplo incolor e $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ para o vidro baixo emissivo) [43].

O sistema solar térmico fornece a maior parte das necessidades energéticas para o aquecimento da casa. Os painéis solares estão orientados a sul com uma inclinação do plano horizontal de 50° , para aumentar a eficiência durante o inverno.

ii. Desempenho Energético

As necessidades anuais de aquecimento da casa *Passivhaus* proposta para Portugal foram estimadas em $16,9 \text{ kWh/m}^2$, das quais 11 kWh/m^2 são fornecidas pelo sistema de painéis solares (nesta análise a prioridade foi dada ao aquecimento, sendo a fracção solar para aquecimento de águas sanitárias de 48%). As necessidades anuais de arrefecimento são $3,7 \text{ kWh/m}^2$. A soma das necessidades de aquecimento e arrefecimento são $9,6 \text{ kWh/m}^2$.ano [43].

De acordo com a regulamentação térmica, os limites para as necessidades de aquecimento e arrefecimento para esta casa, construída em Lisboa, são $73,5$ e 32 kWh/m^2 .ano, respectivamente. Verifica-se, deste modo, que as necessidades energéticas de uma casa *Passivhaus* são significativamente inferiores.

A temperatura é mantida abaixo de 25°C durante 71% do tempo de ocupação e abaixo de 28°C em 98% do tempo ocupado. No caso de não se prever a instalação de um sistema ativo de arrefecimento, a dimensão das janelas e o isolamento das paredes deve ser reduzido (apesar de esta solução poder aumentar as necessidades de aquecimento). O sistema de aquecimento entra em funcionamento no Inverno com uma potência de 10 W/m^2 , onde a temperatura resultante está abaixo de $19,5^\circ\text{C}$ apenas em 8% do tempo (a mais baixa temperatura resultante obtida é 18°C) [43].

Zero Energy Buildings (ZEB)

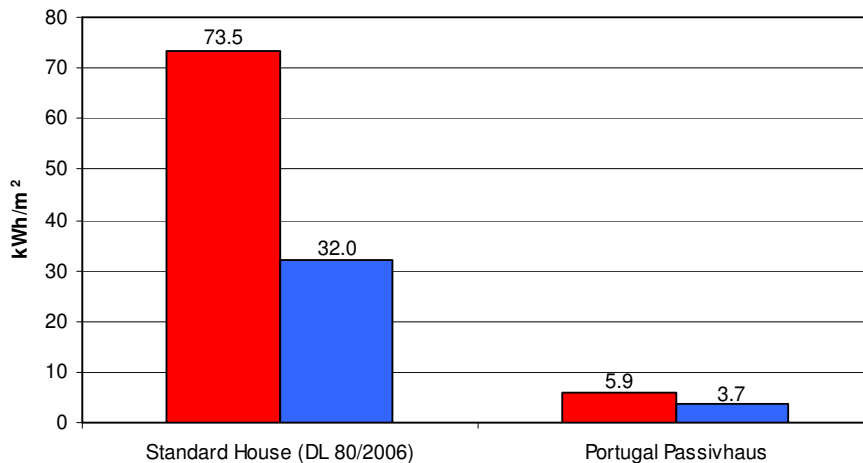


Figura 4.16 - Estimativa das necessidades anuais de aquecimento (vermelho) e de arrefecimento (azul) para uma casa típica e uma casa *Passivhaus* [43].

De acordo com a figura 4.16 é possível concluir que as estratégias adoptadas para o desenho de uma casa *Passivhaus* para o aquecimento e arrefecimento, no clima de Lisboa podem ter sucesso, em ambos os limites de necessidades energéticas e os níveis de conforto relevando-se efetivas na sua relação com o clima. As necessidades de aquecimento da *Passivhaus* são consideravelmente menores do que as de uma casa típica, como se pode verificar através da figura 4.16.

4.5 Desafios e Potenciais Soluções

A implementação dos ZEB e o desenvolvimento de metodologias associadas ao aumento da eficiência energética levantam alguns desafios que devem ser devidamente discutidos de acordo com os vários sectores que os envolvem. Neste tópico serão discutidas as questões que levantam alguns problemas e serão formuladas possíveis soluções para responder a essas mesmas questões [45].

4.5.1. Conhecimento dos profissionais

De acordo com um estudo desenvolvido pela WBCSD [46] em 2007 as pessoas reconhecem que os edifícios sustentáveis são importantes para o ambiente, mas subestimam a contribuição dos edifícios para os níveis de emissão de gases com efeito de estufa, que é atualmente cerca de 40%. Neste estudo foram questionados 3 sub-grupos de profissionais da construção:

- Técnicos e promotores - incluindo arquitetos, engenheiros, construtores e empreiteiros;
- Agentes e senhorios profissionais, incluindo proprietários de edifícios empresariais;
- Inquilinos empresariais.

Na figura 4.17 está representada a resposta à pergunta: “Que percentagem que pensa que os edifícios contribuem para o aumento das emissões de CO₂ - direta ou indiretamente?”.

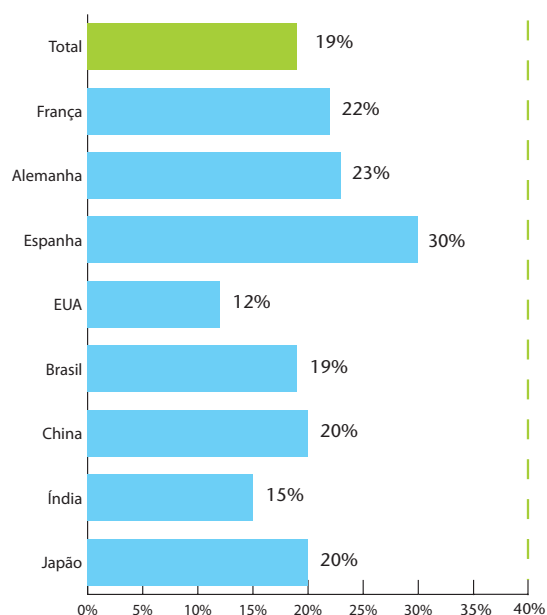


Figura 4.17 - Estimativa da contribuição dos edifícios para o total das emissões [46].

Para além das emissões, o custo é também sobrestimado, visto que é normalmente abaixo dos 5% nos países desenvolvidos, apesar de possivelmente ser mais alto na China, Brasil e Índia. Na figura 4.18 está representada a resposta à pergunta: “Quanto mais, pensa que custará um edifício sustentável certificado relativamente a um edifício normal?”.

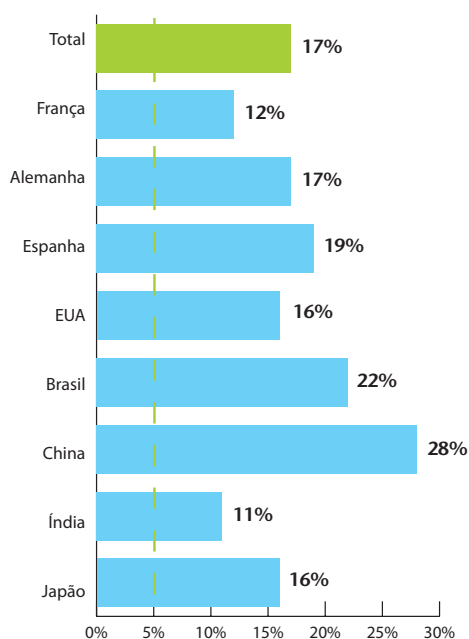


Figura 4.18 - Estimativa de custo para um edifício sustentável certificado [46].

É facilmente perceptível através da figura 4.18 que as pessoas em geral pensam que o custo é muito superior. O facto das pessoas terem essa percepção faz com que este se torne um dos maiores desafios na aposta na eficiência energética em edifícios.

4.5.2. Consciência e envolvimento

No geral, a consciência pelas questões ligadas ao ambiente em edifícios é relativamente elevada em todos os mercados. No entanto, na maioria dos mercados os números decrescem de forma drástica em questões ligadas ao envolvimento na construção sustentável. Verifica-se que apenas um terço daqueles que dizem que estão conscientes, consideram o envolvimento na construção sustentável e apenas um terço deste grupo mais pequeno estiveram na realidade já envolvidos (11% do total) [46]. A figura 4.19 mostra as percentagens daqueles que estão conscientes, que o estão a considerar e os que estiveram envolvidos.

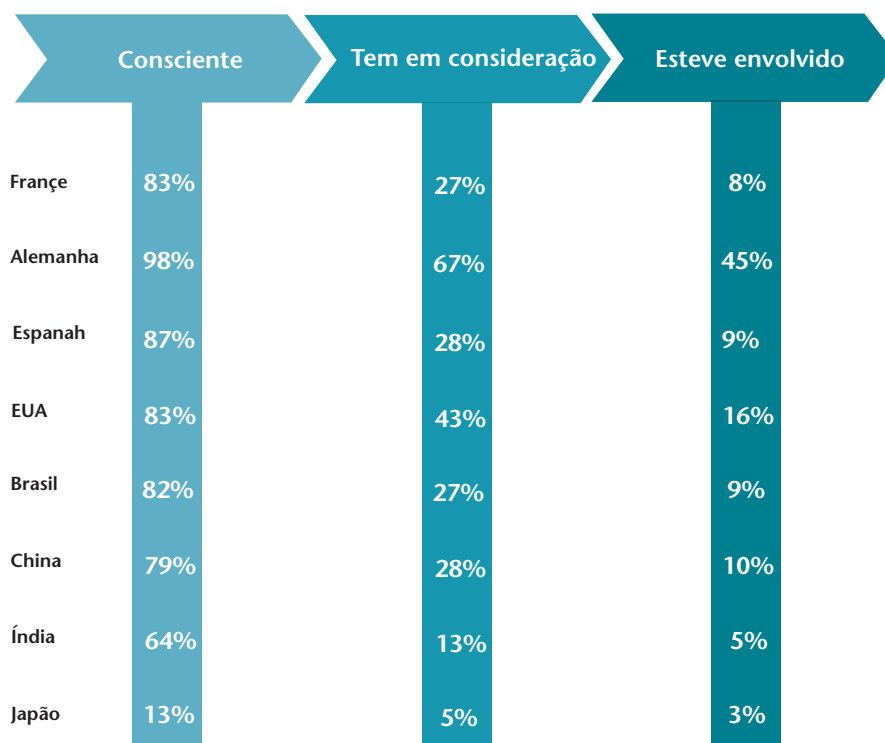


Figura 4.19 - Consciência e envolvimento dos profissionais de construção [46].

Por exemplo, em França 32% daqueles que estão conscientes consideraram a construção sustentável e 30% daqueles que já a consideraram estiveram envolvidos, o que significa que apenas 8% dos inquiridos têm experiência direta.

Em média apenas 13% dos inquiridos já estiveram envolvidos na construção sustentável, apesar deste cenário variar entre os 45% na Alemanha e apenas 5% na Índia.

4.5.3. Barreira ao progresso

No mesmo estudo conduzido pela WBCSD [46], concluiu-se que as pessoas acreditam que os financiadores e que os promotores são as principais barreiras a abordagens mais sustentáveis na cadeia de valor dos edifícios. Foram identificados quatro principais factores [46] que influenciam a tomada de decisão na construção sustentável. Constituem principais barreiras de uma maior importância e adoção pelos profissionais da construção e são os mais significativos na influência aos inquiridos no que respeita à construção sustentável:

- Conhecimento pessoal - se as pessoas entendem como melhorar o desempenho ambiental de um edifício e onde recorrer para obter um bom conselho.
- Aceitação da comunidade empresarial - se as pessoas na comunidade empresarial nos seus mercados vêem a construção sustentável como uma prioridade.
- Um ambiente empresarial de apoio - se as pessoas pensam que os seus líderes empresariais os apoiam nas decisões para apostar na construção sustentável.
- Compromisso pessoal - se a ação no ambiente é importante para eles como pessoas singulares.

4.5.4. Barreiras de mercado

Apesar da utilização racional de energia tenha a capacidade para produzir múltiplos benefícios para os utilizadores de energia e para a sociedade em geral, há um conjunto de barreiras que dificultam a penetração das tecnologias mais eficientes. As barreiras mais comuns [7] estão listadas seguidamente:

- Desconhecimento, por parte dos consumidores, das tecnologias mais eficientes e dos seus potenciais benefícios;
- O facto das pessoas evitarem o risco associado à introdução de novas tecnologias;
- As tecnologias mais eficientes são normalmente mais dispendiosas em termos de investimento inicial, embora os custos totais ao longo da vida dos equipamentos sejam menores, fruto da redução dos custos de funcionamento;
- Escassez de capital para realizar os investimentos e limitações no acesso a crédito em condições tão vantajosas como as obtidas pelas empresas responsáveis pela oferta de energia;
- Ausência de incentivos para os agentes envolvidos na seleção dos equipamentos e na gestão de energia das instalações;
- Retorno de investimento relativamente longo (superior nalguns casos a 2-3 anos), devido aos preços elevados das tecnologias mais eficientes.

Em particular no sector elétrico, têm sido desenvolvidos programas pelas empresas distribuidoras que têm como objetivo a promoção em larga escala de tecnologias que

Zero Energy Buildings (ZEB)

proporcionam a utilização eficiente da eletricidade. Estes programas proporcionam diversos tipos de instrumentos, dos quais se destacam [7]:

- Programas de informação técnica e de formação;
- Auditorias e ações de diagnóstico;
- Programas de demonstração de novas tecnologias;
- Incentivos financeiros a fundo perdido, tipicamente em percentagem dos investimentos feitos;
- Empréstimos sem juros ou com taxas reduzidas.

O facto dos bancos serem obrigados a fazer empréstimos sem juros, é frequentemente um factor decisivo para a instalação de painéis fotovoltaicos em habitações.

4.5.5. Vantagens e impactos da utilização racional de energia (URE)

A utilização racional de energia (URE) [7] visa proporcionar o mesmo nível de produção de bens, serviços e de conforto através de tecnologias que reduzem os consumos face a soluções convencionais, resultando em reduções significativas do consumo de energia e das emissões de poluentes associadas à sua conversão. Embora geralmente sejam mais dispendiosos, em termos de custo inicial, os equipamentos mais eficientes consomem menos energia, resultando em custos de funcionamento mais reduzidos e apresentando vantagens adicionais.

Para além da redução dos custos associados à factura energética, a URE destaca-se na sua contribuição para a redução das emissões de poluentes associadas à conversão de energia. As principais vantagens [7] das ações de URE são:

- Reforço da competitividade das empresas;
- Redução da factura energética do País;
- Redução da intensidade energética da economia;
- Redução da dependência energética;
- Redução das emissões de poluentes, incluindo os gases de efeito de estufa.

As tecnologias de eficiência energética oferecem outros benefícios não energéticos que não são oferecidos pelas alternativas do lado da oferta. Do ponto de vista de muitos consumidores, são os benefícios não energéticos que constituem os factores mais importantes na tomada de decisão. Exemplos de benefícios não energéticos [7]:

- Aumento do conforto e da segurança;
- Redução do ruído;
- Aumento da produtividade do trabalho;
- Melhoria do controlo dos processos;
- Poupança de água;

- Redução dos resíduos;
- Aumento do emprego associado ao fabrico, instalação, funcionamento e manutenção de equipamentos eficientes.

i. Promoção da eficiência energética através de serviços de energia

Os serviços de energia consistem na gestão da energia do cliente através de uma abordagem integrada de todos os aspectos relacionados com a energia, incluindo não só a oferta, mas também os aspectos relacionados com a utilização.

Estes serviços incluem: atividades como auditorias energéticas, implementação de medidas de utilização racional de energia, projeto e dimensionamento de sistemas de produção local de energia mais eficientes (sistemas de cogeração e de energias renováveis), manutenção de sistemas energéticos, leasing de equipamentos e financiamento de projetos. Numa das modalidades de financiamento (financiamento por terceiros) utilizada para grandes investimentos, o utilizador pode não fazer parte no investimento inicial, pagando ao longo do tempo com as poupanças obtidas [7].

ii. Políticas de incentivo à realização de ações de URE

O ambiente de desregulação e liberalização do mercado veio condicionar a tendência de promoção de algum tipo de iniciativas por parte das empresas. O enquadramento regulatório deve incluir medidas de apoio ao desenvolvimento de programas de ações de URE, mas também definir obrigações e penalizações face a maus desempenhos ao nível da ecoeficiência.

A redução dos impactos ambientais devido a ações de URE deve incluir o mesmo tipo de incentivos legislativos que a expansão da oferta com energias renováveis, pois os impactos são semelhantes, com a vantagem do impacto no diagrama de carga ser mais previsível do que a geração com fontes intermitentes [7].

iii. Certificados brancos

O desenvolvimento de programas de Certificados Brancos (certificados de eficiência energética) resulta dos incentivos insuficientes disponíveis para que os consumidores de eletricidade (ou outras energias), adoptem ações que resultem numa utilização da energia mais eficiente (figura 4.17) [7].

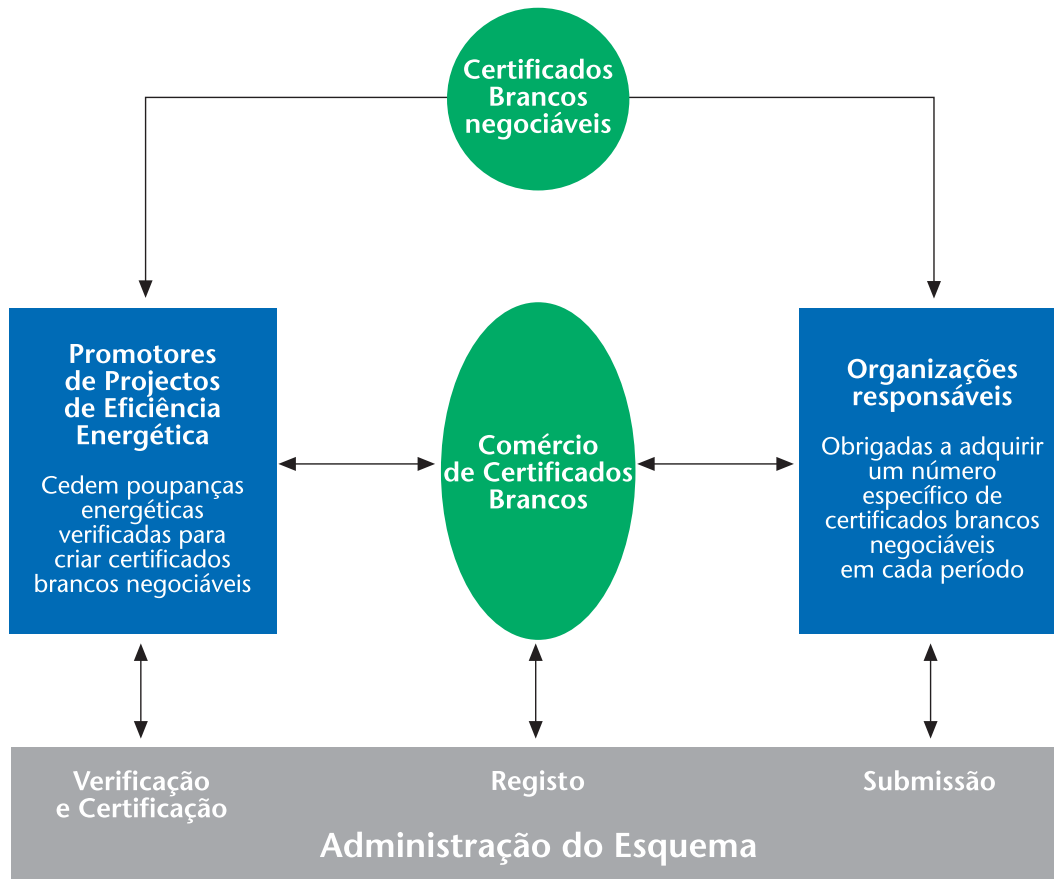


Figura 4.20 - Esquema do mercado de certificados brancos [7].

Através da criação de um mercado de troca de Certificados Brancos, é fornecido um mecanismo para a redução dos custos ajustado à política pública. Vários países europeus estão a desenvolver uma metodologia de medida e certificação dos impactos de ações de eficiência energética.

4.6 Conclusões

Um *zero energy building* (ZEB) consiste numa residência ou edifício comercial com necessidades energéticas reduzidas, conseguidas através de ganhos de eficiência tais que permitem balançar a energia necessária com aquela que é fornecida através de fontes de energia renovável [34].

Verifica-se que dos países selecionados, existem alguns que estão constantemente a ultrapassar as metas definidas e a definir novas metas. O Reino Unido é o exemplo de um país que está bastante desenvolvido no que diz respeito aos *zero energy buildings*. Este é um conceito cada vez mais internacional.

Capítulo 5

Energias Renováveis aplicadas à Eficiência Energética

5.1 Legislação aplicada à microprodução

De forma a atingir os objetivos definidos pelo ENE 2020, é essencial incentivar a produção descentralizada de eletricidade em baixa tensão por particulares, revendo o regime jurídico da microprodução. O programa da microprodução, iniciado em 2007, representa um sucesso significativo: já foram instaladas mais de 5400 unidades de microprodução, correspondentes a cerca de 19 MW de potência instalada, em pouco mais de dois anos [47]. De acordo com o artigo 6º do Decreto-Lei nº 118-A/2010 [47] o produtor deve:

- Entregar a totalidade da eletricidade produzida, líquida do consumo dos serviços auxiliares, à rede pública de distribuição em baixa tensão;
- Produzir eletricidade apenas a partir da fonte de energia registada nos termos do presente decreto-lei;
- Consumir o calor produzido no caso de produção em co-geração;
- Celebrar um contrato de compra e venda de eletricidade, nos termos do artigo 19º;
- Prestar à DGEG, ou a entidade designada por esta, à DRE, ao comercializador com que se relaciona e ao operador da rede de distribuição todas as informações que lhe sejam solicitadas;
- Permitir e facilitar o acesso do pessoal técnico da DGEG, ou da entidade designada por esta, da DRE territorialmente competente, do comercializador com que se relaciona e do operador da rede de distribuição à unidade de microprodução, no âmbito das suas competências, para efeitos do presente decreto-lei;
- Suportar os custos da ligação à RESP, nos termos do Regulamento de Relações Comerciais, incluindo o respectivo contador de venda;

- No caso de instalações que utilizem a energia eólica, ou que estejam localizadas em locais de livre acesso ao público, possuir um seguro de responsabilidade civil, nos termos a definir mediante portaria conjunta dos membros do Governo responsáveis pelas áreas das finanças e da economia.

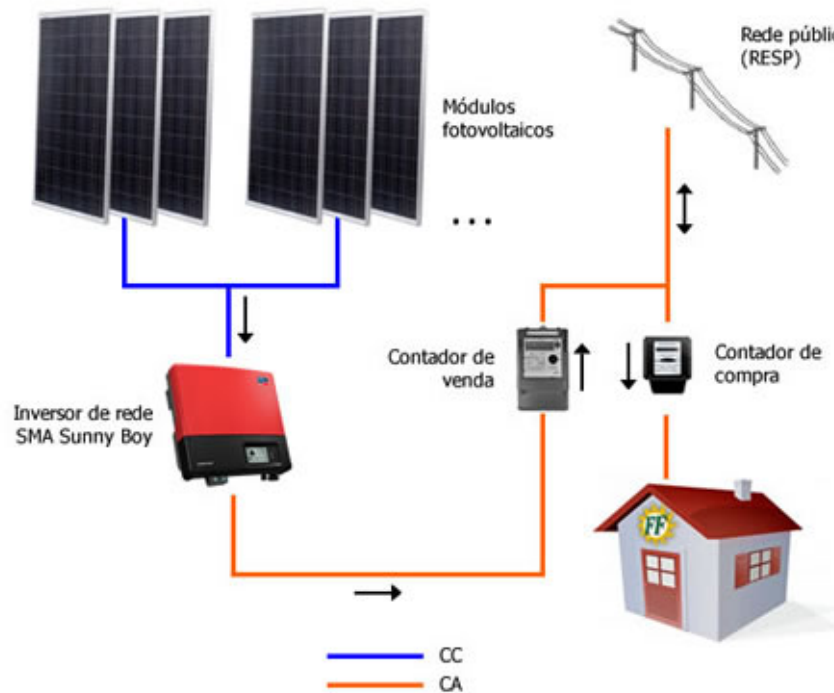


Figura 5.1 - Exemplo de instalação de microprodução ligado à rede [48].

Em 2 de Fevereiro de 2008, entrou em vigor o Decreto-Lei 363/2007 [49] que consiste no regime simplificado aplicável à microprodução de eletricidade, também designado por “Renováveis na Hora”, que define que:

- qualquer entidade que disponha de um contrato de compra de eletricidade em baixa tensão pode tornar-se um microprodutor;
- pode instalar, no local de consumo, unidades de microprodução de eletricidade monofásica em baixa tensão com uma potência de ligação de até 5,75 kW;
- pode injetar na rede até 50% da potência contratada (limite não aplicável a instalações em nome de condomínios).

Devido à elevada adesão à microprodução e com a consequente dificuldade na obtenção de registos, a DGEG decidiu alterar a regulamentação descrita no DL 363/2007 de 2 de Novembro. O Decreto-Lei 118-A/2010 introduz alterações a nível da tarifa de venda e obtenção de registos [50].

De acordo com o artigo 9º [47]:

1 - O produtor está sujeito a um dos seguintes regimes remuneratórios:

- a) O regime geral, aplicável a todos os que tenham acedido à atividade de microprodução e não se enquadrem no regime bonificado, nos termos do presente decreto-lei;
- b) O regime bonificado.

2 - O regime previsto na alínea b) é aplicável a produtores que preencham cumulativamente os seguintes requisitos:

- a) A potência de ligação da respectiva unidade de microprodução não seja superior a 3,68 kW ou, no caso dos condomínios, a 11,04 kW;
- b) A unidade de microprodução utilize uma das fontes de energia previstas no nº 6 do artigo 11º;
- c) O local de consumo associado à microprodução disponha de colectores solares térmicos com um mínimo de 2 m² de área útil de colector ou de caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente.

No caso dos condomínios é imposta a realização de uma auditoria energética ao edifício e a implementação das medidas de eficiência energética (com período de retorno até 2 anos) identificada nessa auditoria. É dispensada a colocação do colector solar térmico. No entanto, no regime bonificado existem algumas limitações [49] sobre a venda de energia à rede:

- 2400 kWh/ano por kW instalado, no caso da energia solar;
- 4000 kWh/ano por kW instalado, no caso das restantes energias;
- potência de ligação máxima de 10 MW em 2008, com um aumento de 20% por ano nos anos seguintes.

3 - O regime bonificado é ainda aplicável:

- a) Aos produtores que preencham os requisitos previstos nas alíneas a) e b) do número anterior e cuja unidade de microprodução seja uma co-geração e esteja integrada no aquecimento do edifício;
- b) Aos condomínios, mediante uma auditoria energética e desde que a implementação de medidas de eficiência energética identificadas na auditoria preveja um retorno até dois anos.

O acesso a um dos regimes remuneratórios previstos no nº 1 é solicitado pelo promotor aquando do registo e está sujeito à verificação do cumprimento do disposto nos números anteriores.

De acordo com o artigo 11º [47]:

1. No regime bonificado, o produtor é remunerado com base na tarifa de referência que vigorar à data da emissão do certificado de exploração.
2. A tarifa é devida desde o início do fornecimento à rede.
3. A tarifa é aplicável durante um total de 15 anos contados desde o 1º dia do mês seguinte ao do início do fornecimento, subdivididos em dois períodos, o primeiro com a duração de 8 anos e o segundo com a duração dos subsequentes 7 anos.
4. A aplicação do regime remuneratório bonificado caduca quando o produtor comunique ao SRM a renúncia à sua aplicação, ou no final do período de 15 anos referido no número anterior, ingressando o produtor no regime remuneratório geral.
5. A tarifa de referência é fixada em 400 €/MWh para o primeiro período e em 240 €/MWh para o segundo período, sendo o valor de ambas as tarifas sucessivamente reduzido anualmente em 20 €/MWh.
6. O tarifa a aplicar varia consoante o tipo de energia primária utilizada, sendo determinada mediante a aplicação das seguintes percentagens:
 - Solar – 100 %;
 - Eólica – 80 %;
 - Hídrica – 40 %;
 - Co-geração a biomassa – 70 %;
 - Co-geração não renovável – 40 %.

A nova lei da microprodução tem como objetivo incentivar a participação da população no investimento nas energias renováveis. Desta forma, o Governo decidiu publicar um regime simplificado aplicável à microprodução de eletricidade permitindo uma instalação de produção de energias renováveis de sistemas com uma potência máxima até 5,75 kW em regime geral e 3,68 kW em regime bonificado [48].

Ao abrigo do disposto no nº2 do artigo 11.º-A do Decreto-Lei nº363/2007, de 2 de Novembro (na versão alterada e republicada pelo Decreto-Lei nº118-A/2011, de 25 de Outubro), a Portaria nº284/2011, de 28 de Outubro procedeu à atualização [51] do valor da redução anual da tarifa de referência aplicável à microprodução no âmbito do regime bonificado, bem como a quota anual de potência a locar, a partir de 2012. Assim, o valor de redução anual da tarifa de referência foi fixada em 54 €/MWh, para o primeiro período de 8 anos e 35 €/MWh, para o segundo período. De acordo com o que foi referido anteriormente, a DGEG informa e estabelece o seguinte [51]:

1. O valor da tarifa de referência aplicável às unidades de microprodução que obtenham o respectivo certificado de exploração em 2012 é de 326 €/MWh para o primeiro período e de 185 €/MWh para o segundo período;

2. A quota total de potência de ligação a alocar no ano de 2012 é de 10 MW.
3. A quota de 210 MW referida no número anterior é alocada em sessões mensais, a realizar no último dia útil de cada mês, de acordo com a seguinte programação:
 - a. No mês de Janeiro - 2 MW;
 - b. Nos meses de Fevereiro a Setembro - 1 MW.
4. A potência eventualmente não atribuída numa das sessões mensais transita para o seguinte do mesmo ano, acumulando-se à potência disponível para esta sessão.
5. Após a sessão de Setembro e caso exista ainda um saldo de potência por atribuir é realizada uma última sessão em Outubro para atribuição do saldo remanescente.

Tabela 5.1 - Diferenças entre o novo e o antigo regime [50].

	Novo regime	Anterior regime
Períodos da tarifa de venda	Dois períodos com tarifa fixa: 0,326 €/kWh nos primeiros 8 anos 0,185 €/kWh nos restantes 7	Tarifa fixa durante 5 anos (mais ano 0). Posteriormente a tarifa é reduzida anualmente.
Redução da tarifa de venda para novos registos	0,054 €/kWh por ano. Após a atribuição da quota de 25 MW referente a 2010, a tarifa seguinte vai ser 0,35 € /kWh.	5% por cada 10 MW de potência instalada.
Registo	A obtenção do registo da microprodução passará a ser por ordem sequencial de entrada, distribuídos temporalmente ao longo do ano.	Passava primeiro por um pré-registo e, depois em sessões ao longo do ano, os candidatos tentavam registar a sua instalação.
Taxa de gestão SRM	A pagar no ato de registo inicial.	Pagava-se apenas quando se conseguia o registo.
Ano de ligação para efeitos da tarifa	Começa a contar no mês seguinte ao da ligação à rede, durante 15 anos. Deixa de existir o ano 0.	Existia o ano zero (ligação à rede), findo o qual começa o período inicial de 5 anos a 1 de Janeiro do ano seguinte.
Limites da Potência de Ligação	3,68 kW para clientes particulares e empresariais. 11,04 kW para condomínios com 6 ou mais fracções.	3,68 kW quer seja particular, empresa ou integrada em condomínio.

As principais [52] mudanças na nova legislação e em linguagem clara são as seguintes:

- **Aumenta a quantidade de eletricidade que pode ser produzida** - Passam a poder ser produzidos através de microprodução 25 milhões de watts por ano, em vez dos atuais 14 milhões de watts por ano. Um watt é uma medida de eletricidade.
- **Facilita o acesso à microprodução** - Para se tornar produtor de eletricidade deve-se aceder ao Sistema de Registo de Microprodução (SRM) através da internet e inscrever-se. O SRM só deixa de aceitar inscrições quando o número de produtores registados ultrapassa o limite estabelecido. Esse limite depende da quantidade de eletricidade que pode ser gerada por microprodução nesse ano. Na fase seguinte, é indicada a quantidade de eletricidade que pode produzir. Por fim, a microprodução é inspeccionada e é-lhe atribuído um certificado de exploração que lhe permite produzir e vender eletricidade.
- **Passa a ser obrigatório o fornecedor comprar a eletricidade produzida** - O produtor liga a sua unidade de microprodução à Rede Eléctrica de Serviço Público e vende ao seu fornecedor de eletricidade toda a eletricidade gerada. O valor pago pela eletricidade depende de: o produtor estar ou não no regime bonificado e das fontes de energia usadas pela microprodução (por exemplo, se usar energia solar recebe mais do que se usar energias não renováveis).
- **Incentiva os serviços de interesse público a produzir eletricidade** - As escolas, os hospitais, as câmaras municipais e juntas de freguesia, as forças de segurança, os serviços públicos, etc., podem vir a produzir até 5% dos 25 milhões de watts que podem ser gerados por microprodução por ano.
- **Promove a investigação científica nesta área** - Os laboratórios do Estado e outras entidades públicas que desenvolvam projetos científicos relevantes e inovadores podem vir a produzir até 10 milhões de watts por ano em microprodução.

5.2 Remuneração de Produtores em Regime Especial

Para determinar a remuneração aplicável às centrais num determinado mês m , utiliza-se a seguinte [53] expressão:

$$VRD_m = \{KMHO_m \times [PF(VRD)_m + PV(VRD)_m] + PA(VRD)_m \times Z\} \times \frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}} \times \frac{1}{1 - LEV} \quad (5.1)$$

Onde:

- $KMHO_m$ - é o coeficiente que modula os valores de $PF(VRD)_m$, de $PV(VRD)_m$ em função do posto horário em que a eletricidade tenha sido fornecida;
- $PF(VRD)_m$ - é a parcela fixa da remuneração aplicável a centrais renováveis;

- $PV(VRD)_m$ - é a parcela variável da remuneração aplicável a centrais renováveis;
- $PA(VRD)_m$ - é a parcela ambiental da remuneração aplicável a centrais renováveis;
- Z - é o coeficiente adimensional que traduz as características específicas do recurso endógeno e da tecnologia utilizada na instalação licenciada;
- IPC_{m-1} - é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente;
- IPC_{ref} - é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente, referente ao mês anterior ao do início do fornecimento de eletricidade à rede pela central renovável;
- LEV - representa as perdas, nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável. Apresenta o valor 0,015 para centrais com potência maior ou igual a 5 MW e 0,035 para centrais cuja potência é inferior a 5 MW.

Em que $KMHO_m$, é calculado a partir da seguinte [53] fórmula:

$$KMHO_m = \frac{KMHO_{pc} \times ECR_{pc,m} + KMHO_v \times ECR_{v,m}}{ECR_m} \quad (5.2)$$

Sendo que:

- $KMHO_{pc}$ assume o valor 1,15 quando se trata de uma central hídrica sem bombagem e o valor 1,25 para as restantes centrais.
- $KMHO_v$ assume o valor 0,8 quando se trata de uma central hídrica sem bombagem e o valor 0,65 para as restantes centrais.
- $ECR_{v,m}$ - energia produzida pela central renovável nas horas de vazio.
- $ECR_{pc,m}$ - energia produzida pela central renovável nas horas de ponta e cheias.

Começando pela parcela fixa, esta calcula-se da seguinte [53] fórmula:

$$PF(VRD)_m = PF(U)_{ref} \times COEF_{pot,m} \times POT_{med,m} \quad (5.3)$$

Onde:

- $COEF_{pot,m}$ - coeficiente adimensional que traduz a contribuição da central renovável, para a garantia de potência proporcionada pela rede pública.
- $POT_{med,m}$ - é a potência média disponibilizada pela central à rede.

Em que $COEF_{pot,m}$ e $POT_{med,m}$ são calculados da seguinte [53] forma:

$$COEF_{pot,m} = \frac{ECR_m}{576 \times POT_{dec}} \quad e \quad POT_{med,m} = \min \left(POT_{dec}; \frac{ECR_m}{24 \times NDM_m} \right) \quad (5.4)$$

Onde:

- $ECE(U)_{ref}$ - é o valor unitário de referência para as emissões de CO₂ evitadas pela central renovável e o seu valor é de 2×10^{-5} €/g.
- ECR_m - energia produzida pela central renovável, resulta por isso da soma da energia produzida nas horas de vazio e nas horas de ponta e cheias.
- POT_{dec} - potência declarada da central, que nesta situação terá um valor igual ao da potência instalada.
- NDM_m - representa o número de dias do mês m .

A parcela variável de cada central renovável é calculada pela seguinte [53] expressão:

$$PV(VRD)_m = PV(U)_{ref} \times ECR_m \quad (5.5)$$

Onde:

- $PV(U)_{ref}$ - é o valor unitário de referência que corresponde aos custos de operação e manutenção que seriam necessários à exploração dos novos meios de produção cuja construção é evitada pela central renovável e tem valor de 0,036 €/kWh.
- ECR_m - energia produzida pela central renovável, resulta por isso da soma da energia produzida nas horas de vazio e nas horas de ponta e cheias.

A parcela ambiental é determinada pela seguinte [53] expressão:

$$PA(VRD)_m = ECE(U)_{ref} \times CCR_{ref} \times ECR_m \quad (5.6)$$

Onde:

- CCR_{ref} - é o montante unitário das emissões de CO₂ da central de referência, e toma o valor de 370 g/kWh.
- $ECE(U)_{ref}$ - é o valor unitário de referência para as emissões de CO₂ evitadas pela central renovável e o seu valor é de 2×10^{-5} €/g.
- ECR_m - energia produzida pela central renovável, resulta por isso da soma da energia produzida nas horas de vazio e nas horas de ponta e cheias.

5.3 Energia Solar

A crescente necessidade de energia resulta na procura de novas fontes de energia. A energia solar e eólica têm sido populares pela fácil disponibilidade e conversão em energia eléctrica. A eficiência de um sistema de energia solar é de cerca de 18%, enquanto a eficiência de um sistema de energia eólica é de cerca de 55% [14].

5.3.1. O efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico consiste na transformação direta da luz em energia eléctrica e, para isso, recorre-se a células solares. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum. Atualmente, cerca de 95% de todas as células solares existentes no mundo são de silício. É o segundo elemento químico mais utilizado na Terra. O silício apresenta uma disponibilidade quase ilimitada. Contudo, não existe como um elemento químico, existindo somente associado à areia de sílica [54].

5.3.2. Princípio de funcionamento

Os átomos de silício formam um retículo cristalino estável. Cada átomo de silício detém quatro electrões de coesão (electrões de valência) na sua camada periférica. De forma a alcançar uma configuração estável de electrões, dois electrões de átomos vizinhos formam um par de ligações de electrões. Através do estabelecimento desta ligação com quatro átomos de silício vizinhos, obtém-se a configuração do gás inerte estável de seis electrões. Com a influência da luz ou do calor, a coesão dos electrões pode ser quebrada. O electrão pode então mover-se livremente, deixando uma lacuna atrás de si, no retículo cristalino. Este processo é designado por auto-condução [54].

A auto-condução não pode ser utilizada para gerar energia. Para que o material de silício funcione como um gerador de energia, o retículo cristalino é propositadamente contaminado com os átomos impuros. Estes átomos possuem um electrão a mais (fósforo), ou um electrão a menos (boro), do que o silício na camada externa de valência. Desta forma, os átomos impuros causam defeitos no interior do retículo cristalino. Se for adicionado ao retículo fósforo (impureza n), fica um electrão supérfluo por cada átomo de fósforo introduzido. Este electrão pode mover-se livremente dentro do cristal e transportar carga eléctrica. Com o boro (impureza p), fica disponível uma lacuna por cada átomo de boro introduzido. Os electrões dos átomos vizinhos de silício podem preencher este orifício, resultando na criação de uma nova lacuna noutra lugar.

Analisando de forma individual material de impureza p ou n , as cargas livres não têm uma direção definida durante o seu movimento. Juntando as camadas dos semicondutores n e p impuros, produz-se uma região de transição pn , que conduz à difusão dos electrões supérfluos do semiconductor n para o semiconductor p na junção. Na área n da região de transição, os átomos dopantes positivos são empurrados para trás, acontecendo de modo semelhante com os negativos na área p . É criado um campo eléctrico que se mantém contrário ao movimento dos portadores de carga.

Quando um semiconductor pn (célula solar) é exposto à luz, os fotões são absorvidos pelos electrões. As ligações entre electrões são quebradas por este fornecimento de energia. Os

electrões libertados são conduzidos através do campo eléctrico para a área n . As lacunas assim criadas seguem na direcção contrária para a área p . Todo este processo é denominado por efeito fotovoltaico [54].

5.3.3. Tecnologias dos módulos fotovoltaicos

Os módulos em silício cristalino representam a tecnologia mais usual. O silício cristalino, em 85% do mercado, encontra-se no formato monocristalino e policristalino. Estes são materiais que podem resultar num problema de escassez num mercado dominado pela indústria electrónica. Outra tecnologia comum é a película fina que apresenta as seguintes variantes [55]:

- Silício amorfo;
- Telurieto de Cádmio e/ou Sulfureto de Cádmio (CdTe/CdS);
- Selenieto de Cobre e Índio (CIS);
- Di-Selenieto de Cobre Índio Gálio (CIGS).

Por último nesta secção, são abordadas tecnologias de terceira geração, bem como técnicas acessórias usadas nos módulos que têm uma contribuição valiosa no ganho energético dos mesmos. Caracterizam-se por estar em permanente desenvolvimento [55]:

- Células orgânicas (Células fotoelectroquímicas pigmentadas, polímeros condutores, etc.);
- Células multijunção (rendimentos superiores a 40 %) - Concentradores (Multiplicação de ganhos energéticos face à radiação incidente);
- Células Híbridas HCL;
- Sistema de Seguimento Solar.

É importante salientar que atualmente módulos FV economicamente viáveis são provenientes praticamente de três tipos de tecnologias: de silício cristalino, de películas finas, ou destes dois tipos combinados.

i. Silício Monocristalino

O material mais importante para as células solares cristalinas é o silício. Não é um elemento químico puro, mas uma ligação química em forma de dióxido de silício.

Em primeiro lugar, para a obtenção do silício, é necessário separar o oxigénio não desejado do dióxido de silício. A areia de sílica é aquecida e fundida num cadinho, junto com pó de carvão. Durante este processo é criado o silício metalúrgico, com uma pureza de 98% [56]. São produzidas células redondas, semi-quadradas ou quadradas, dependendo da quantidade que é estriada do cristal único. As células redondas são mais baratas do que as

semi-quadradas ou as quadradas, uma vez que se perde menos material durante a sua produção. No entanto, raramente são utilizadas em módulos standards devido à sua exploração ineficaz do espaço. Para módulos especiais, utilizados em sistemas de integração em edifícios, para os quais é desejável algum grau de transparência, ou para sistemas solares domésticos, as células redondas poderão constituir uma boa alternativa. Este tipo de tecnologia consegue atingir uma eficiência de 15 a 18% [56].

ii. Silício Policristalino

O processo de fundição de lingotes constitui o processo de produção mais comum para o silício policristalino. O silício em estado bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de 1.500 °C e depois arrefecido na direção da base do cadinho, a uma temperatura aproximada de 800 °C. Durante a fundição do bloco, formam-se cristais com várias orientações. Os cristais individuais podem ser facilmente vistos na superfície (padrão estrutural semelhante a cristais de gelo), devido ao efeito criado pela diferente reflexão da luz. Este tipo de células possui uma eficiência de 15 a 18% [56].

iii. Película fina

Assim como os chips usados na indústria dos computadores, os dispositivos FV são materiais semicondutores. Deste modo foi possível transferir conhecimento do desenvolvimento de tecnologias electrónicas para a produção de dispositivos FV. Do processo de transferência resultam as técnicas em película fina, que são aplicações de grande potencial na indústria FV. Existem inúmeras técnicas de deposição que têm como característica comum possuírem menores custos que os associados às técnicas para o crescimento de lingotes apenas com o silício cristalino. Estes processos podem ser redimensionados e ajustados conforme seja produção de pequenas células ou produção de módulos [55].

Na seguinte tabela apresenta-se a eficiência fotovoltaica para os diferentes módulos:

Tabela 5.2 - Comparação da eficiência das células fotovoltaicas [56].

Material da célula solar	Eficiência da Célula z (Laboratório)	Eficiência da Célula z (Produção)	Eficiência da Célula M (Produção em Série)
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Células de silício policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Silício cristalino de película fina	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida HCl	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telurieto de Cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8%	27,4%	27%
Célula sensibilizadas com colorante	12,0%	7%	5%

5.4 Híbridos

Sistemas Híbridos de produção de energia elétrica são sistemas que combinam duas ou mais fontes de energia. As fontes de produção de energia poderão ser de origem renovável, tais como energia eólica, energia solar, energia da biomassa, energia hídrica, etc. Podem também ser integradas fontes de produção ditas convencionais, que consomem combustíveis fósseis, tais como os geradores a diesel.

Estes sistemas são de grande interesse devido à complexidade destes, não só pelas diferentes origens da produção de energia, mas também pela utilização de fontes cujos recursos não são de todo previsíveis, podendo essa previsibilidade ser compensada pela complementaridade dos recursos [57].

O recente desenvolvimento de sistemas híbridos de energia é o resultado de atividades em variados campos de investigação que se traduzem numa eficiência melhorada, uma maior fiabilidade e qualidade do sistema. O desenvolvimento de controladores automáticos de carga que melhoram a operação de sistemas híbridos de energia e reduzem a necessidade de manutenção é um exemplo disso [58].

Este tipo de sistemas são geralmente de pequenas dimensões podendo funcionar em modo isolado, fornecendo energia em zonas remotas, onde a extensão da rede eléctrica acarretaria

custos excessivos e onde a dificuldade de acesso a estes locais faz com que o custo de combustíveis fósseis atinja preços insuportáveis inflacionados pelo seu transporte. Por outro lado, este tipo de integração de várias fontes poderá dar origem a sistemas interligados com a rede eléctrica [59].

Tem sido feitos grandes desenvolvimentos em termos de métodos e de sistemas de simulação de configurações híbridas de energia, tais como HOMER, HYRID2, TRNSYS, RETSCREEN, etc. Tanto os sistemas de painéis fotovoltaicos como as pequenas turbinas de energia eólica dependem do clima e das condições meteorológicas. Este tipo de sistemas constitui uma combinação teoricamente perfeita, na medida em que: no Verão, quando os raios solares são mais fortes, o vento é mais fraco; no Inverno, existem menos dias de sol mas, por outro lado, o vento é mais forte. O único problema é o facto do vento não ser uma grandeza facilmente previsível e por vezes os valores reais serem um bocado distantes dos valores obtidos na previsão. A eficiência deste tipo de sistemas varia ao longo do ano [14].

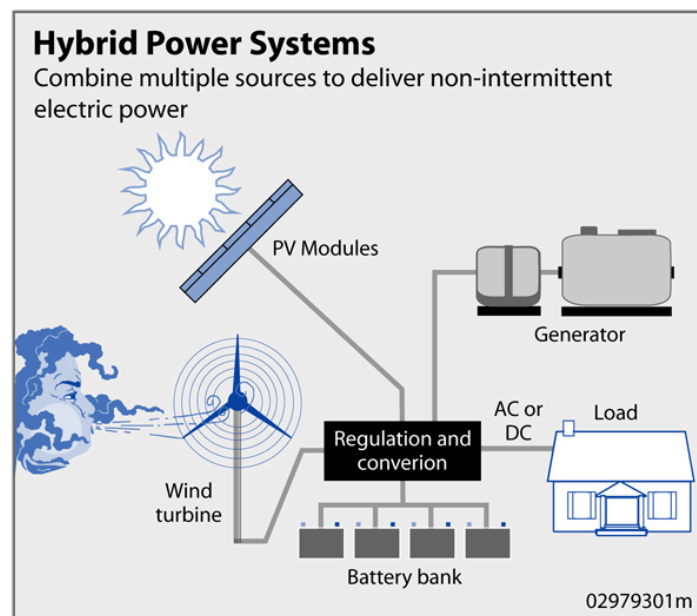


Figura 5.2 - Sistemas de energia híbridos [60].

Na figura 5.2 está representado o funcionamento de um sistema híbrido no qual se pode verificar que a energia é obtida através do sistema solar fotovoltaico e da turbina de energia eólica. Dependendo das condições meteorológicas a energia pode ser fornecida por cada um dos sistemas separadamente ou em simultâneo. A unidade de controlo é responsável por decidir que fonte usar para carregar as baterias de acordo com a energia produzida por cada um dos sistemas como está representado na figura 5.3.

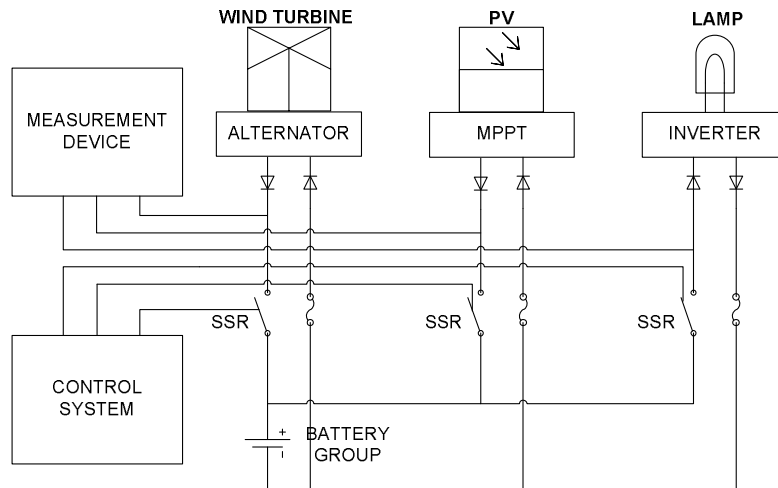


Figura 5.3 - Diagrama de blocos de um sistema híbrido [14].

Em primeiro lugar, a turbina converte a energia cinética em energia mecânica e só depois converte em energia elétrica. A turbina representada no diagrama de blocos consiste numa torre, alternador, caixa de velocidades e uma hélice. A energia cinética do vento é convertida em energia mecânica no rotor. O MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) regula a energia proveniente dos painéis solares e assegura a geração contínua de energia. A corrente do MPPT é usada para carregar a bateria. As baterias servem para armazenar a eletricidade produzida pela energia solar e eólica. Na figura 5.4 está representado um exemplo de um sistema híbrido.



Figura 5.4 - Sistema híbrido instalado em Miami [61].

i. Sistemas Híbridos Isolados

Sistemas híbridos de energia isolados são sistemas que não estão ligados à rede eléctrica. Este tipo de sistemas revela-se extremamente vantajoso em determinadas situações, quando não é rentável a extensão da rede eléctrica para alimentar locais de consumo resultando numa forma ecológica de consumir energia. Constitui uma das mais promissoras aplicações de sistemas renováveis de energia, em zonas extremamente remotas, onde a dificuldade de acesso leva a um aumento progressivo do custo de transporte de combustível para alimentar geradores autónomos. Os sistemas híbridos possuem vasto leque de aplicações, desde a área de telecomunicações, electrificação de aldeias remotas, aplicações rurais, etc. Alguns estudos demonstram o sucesso deste tipo de aplicações na electrificação de zonas desta natureza [62].

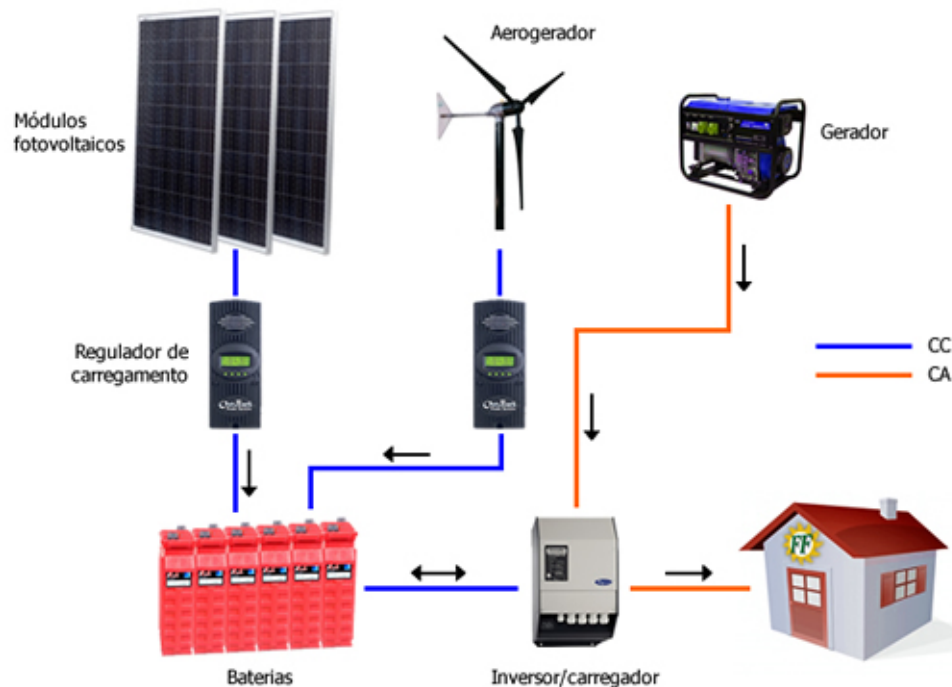


Figura 5.5 - Exemplo de um sistema híbrido isolado [63].

Um sistema isolado deste tipo, representado na figura 5.5, é constituído por um ou mais geradores de energia, que são tipicamente painéis fotovoltaicos que captam a energia do sol, ou sistemas híbridos com aerogerador. O regulador de carregamento a energia eléctrica é responsável por carregar as baterias, onde é armazenada até ser necessária. Para poder ser consumida, a eletricidade é retirada da bateria e convertida de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) através do inversor de corrente. Deste modo, é possível o uso de electrodomésticos convencionais, de forma análoga à energia eléctrica proveniente da rede de energia pública. Existem ainda sistemas de corrente contínua que não possuem inversor, permitindo apenas o uso de aparelhos de corrente contínua, normalmente de 12 ou 24 V. Este é o sistema autónomo mais simples, adequado para pequenas instalações [63].

5.5 Conclusões

Ao longo deste capítulo foi estudada a tecnologia solar e híbrida (solar e eólica). Para além disso a remuneração da produção em regime especial foi analisada com detalhe para que se perceba como se calculam as tarifas aplicadas à microprodução.

A legislação aplicada à microprodução está em evolução constante e, por isso, foi estudado o regime atual tendo sido feita uma comparação com o regime anterior. A indústria dos painéis fotovoltaicos é uma indústria em crescimento exponencial na medida em que as tecnologias estão em constante evolução resultando em rendimentos cada vez mais altos.

Os sistemas híbridos constituem uma solução interessante, principalmente em funcionamento isolado, quando não é rentável a extensão da rede eléctrica para alimentar estes locais de consumo resultando também numa forma ecológica de consumir energia. Constitui uma das mais promissoras aplicações de sistemas renováveis de energia, em zonas extremamente remotas, onde a dificuldade de acesso leva a um aumento progressivo do custo de transporte de combustível para alimentar geradores autónomos.

Capítulo 6

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

O projeto e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos ligados à rede dependem essencialmente das seguintes [64] condições:

- Do espaço disponível nos telhados, sua orientação e ângulo de inclinação;
- Das especificações técnicas dos módulos e inversor;
- Localização geográfica, longitude e latitude;
- Temperatura do local;
- Requisitos estéticos do edifício;
- Disponibilidade financeira.

O projeto de sistemas fotovoltaicos ligados à rede pode ser dividido nas seguintes [64] tarefas:

- Estimativa inicial da potência instalada baseada na área disponível e no financiamento;
- Seleção do módulo solar;
- Seleção do inversor compatível ou de uma configuração de inversores compatível com o módulo;
- Definição da configuração ótima módulo-inversor;
- Listagem dos componentes;
- Estimativa da energia produzida baseada nos dados da radiação solar do local;
- Consideração de aspectos adicionais tais como proteções contra sobrecargas.

6.1 Seleção de módulos

Para satisfazer as necessidades de produção, os módulos têm de ser ligados em série (para aumentar o valor de tensão) e em paralelo (para aumentar o valor de corrente). Para calcular o número de módulos, é essencial obter os seguintes [64] dados:

- Potência de pico do painel (determinada em função do custo e área disponível);
- Área disponível para a instalação dos painéis;
- Dimensões do módulo;
- Número de módulos a ligar por fileira tendo em vista o inversor.

O número de módulos é calculado através do quociente entre a potência de pico do painel e a potência de pico do módulo escolhido [64]:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Potência de pico do painel}}{\text{Potência de pico do módulo}} \quad (6.1)$$

Depois de ter sido calculado o número de módulos, é preciso verificar se é possível colocá-los no espaço disponível para o efeito. Muitas vezes as restrições em termos de espaço disponível podem condicionar o número de módulos que constituem o painel e o modo como vão ser ligados.

6.2 Tensão dos módulos para diferentes condição de funcionamento

O valor da tensão dos módulos deve ser determinado, tendo em conta que no Inverno, quando se verificam temperaturas mais baixas, a tensão atinge o valor mais elevado. No Verão, quando os módulos experimentam temperaturas mais elevadas, a tensão regista valores mais baixos.

Para se saber o valor das tensões sob temperatura mínima e máxima é essencial saber os valores da tensão e corrente correspondentes ao ponto de potência máxima do módulo (VPPM e IPPM) e tensão de circuito aberto para baixas temperaturas (-10°C).

Os valores para a tensão máxima (VPPM), para a corrente máxima (IPPM) e tensão em circuito aberto (VCA), são dados fornecidos pelos fabricantes em condições STC no plano do painel. A tensão em circuito aberto para as temperaturas mínima e máxima, verificadas no local, devem ser calculadas utilizando o coeficiente de variação com a temperatura, também fornecido pelo fabricante [64].

6.3 Cálculo da tensão para as temperaturas extremas do módulo

Considerando uma variação média anual da temperatura no plano do painel entre -10°C e 70°C , os desvios absolutos relativamente à temperatura 25°C (STC) são de -35°C e 45°C respectivamente [64]. As tensões são calculadas da seguinte forma:

$$V_{CA}(-10^{\circ}\text{C}) = V_{CA}(25^{\circ}\text{C}) + 35 \times T_C(V_{CA}) \quad (6.2)$$

$$V_{PPM}(-10^{\circ}\text{C}) = V_{PPM}(25^{\circ}\text{C}) + 35 \times T_C(V_{CA}) \quad (6.3)$$

$$V_{PPM}(70^{\circ}\text{C}) = V_{PPM}(25^{\circ}\text{C}) + 45 \times T_C(V_{CA}) \quad (6.4)$$

sendo $V_{CA}(-10^{\circ}\text{C})$ a tensão em circuito aberto a -10°C (V), $V_{CA}(25^{\circ}\text{C})$ a tensão em circuito aberto 25°C (V), $T_C(V_{CA})$ o valor de variação da tensão em função da temperatura (V), $V_{PPM}(-10^{\circ}\text{C})$ a tensão máxima a -10°C (V) e $V_{PPM}(70^{\circ}\text{C})$ a tensão máxima a 70°C (V).

O valor mais elevado da tensão em circuito aberto verifica-se para a temperatura mais baixa (-10°C), tal como para o valor máximo da tensão [64].

6.4 Seleção do inversor

Nos sistemas fotovoltaicos com pequenas potências instaladas, onde se verifica que a superfície possui uma orientação e inclinação uniforme e que não existem sombreamentos, deve utilizar-se um único inversor para potências até 5kW. No caso da potência instalada ser mais elevadas, a utilização de mais que um inversor pode ser vantajosa na medida em que aumenta a fiabilidade do sistema.

A potência nominal do inversor é calculada pela potência de pico do módulo, que é fornecida pelo fabricante para as condições STC, as quais muito raramente se verificam na prática. Desta forma, a potência nominal do inversor pode assumir valores na ordem dos 5% a 10% mais baixos do que a potência de pico dos módulos. No entanto, o valor máximo da corrente de entrada e da tensão no inversor nunca devem ser excedidos. O número de inversores é calculado através da seguinte [64] expressão:

$$\text{Número de inversores} = \frac{\text{Potência corrigida do sistema}}{\text{Potência nominal do inversor}} \quad (6.5)$$

6.5 Limites de tensão e da configuração do módulo

A tensão dos terminais das fileiras deve assumir valores que estejam entre o limite mínimo e máximo da tensão correspondente ao ponto de potência máxima do inversor. O valor da tensão em circuito aberto da fileira deve também ser verificado, de forma a assegurar que é inferior ao valor máximo da tensão de entrada do inversor.

Normalmente, o valor máximo da tensão aos terminais de cada fileira ocorre para o valor mínimo de temperatura. Tendo em conta estas considerações é necessário determinar o número de módulos a ligar em série e/ou em paralelo.

A gama de variação da tensão de entrada no inversor V_{PPMmax} e V_{PPMmin} determina o número de módulos a ligar em série, ou seja, o número de módulos por fileira [64].

$$N^{\circ} \text{ máximo de módulos} = \frac{V_{PPMmax}}{V_{PPM(-10^{\circ}C)}} \quad (6.6)$$

$$N^{\circ} \text{ mínimo de módulos} = \frac{V_{PPMmin}}{V_{PPM(70^{\circ}C)}} \quad (6.7)$$

Deve garantir-se que a tensão nos terminais de cada fileira se encontra dentro da gama de variação da tensão de entrada do inversor, para a qual tem capacidade de extrair a potência máxima da fileira. O número mínimo de módulos de cada fileira não deve ser inferior ao número calculado anteriormente, nem superior ao número máximo de módulos, também calculado anteriormente. O valor máximo da tensão em circuito aberto ocorrerá a uma temperatura, V_{CA} ($-10^{\circ}C$), no plano do painel quando a fileira se encontrar em circuito aberto.

De forma a assegurar que o valor máximo da tensão V_{CA} de entrada do inversor não é excedido em nenhuma circunstância, o número máximo de módulos [64] por fileira é dado pela expressão 6.8.

$$N^{\circ} \text{ máximo de módulos} = \frac{V_{DCmax}}{V_{CA(-10^{\circ}C)}} \quad (6.8)$$

6.6 Configuração do painel compatível com o inversor

É essencial verificar se o número total de módulos inicialmente calculado pode ser dividido em fileiras com o mesmo número de módulos. É uma condição essencial no caso de ser escolhido um inversor central. Contudo, uma solução mais cara baseada na configuração do inversor de fileira, suporta fileiras com diferentes números de módulos. Assim, o número de fileiras é calculado de acordo com a expressão 6.9 [64]:

$$N^{\circ} \text{ de fileiras} = \frac{N^{\circ} \text{ de módulos}}{N^{\circ} \text{ de módulos por fileira}} \quad (6.9)$$

A nova potência do sistema é calculada através da expressão 6.10 [64]:

$$\text{Potência corrigida} = N^{\circ} \text{ de fileiras} \times N^{\circ} \text{ máximo de módulos} \quad (6.10)$$

Conforme a configuração a adoptar, o processo de projeto e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos envolve a avaliação das possíveis soluções.

6.7 PVSYST

O dimensionamento de um sistema com ligação à rede para uma moradia localizada na cidade do Porto foi feito através do software PVSYST versão 5.53.1 [65]. Este software foi desenvolvido em 1991 pela *Université de Genève* e permite trabalhar com diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial de representação até um sistema detalhado de simulação. Possui uma base de dados de radiação de 22 localidades na Suíça e de 200 localidades no mundo.

Este *software* permite trabalhar com diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial de representação até um sistema detalhado de simulação. Apresenta também uma ferramenta adicional, tridimensional, que tem em conta as limitações do horizonte e de objetos que possam criar sombras sobre os painéis fotovoltaicos. Possui uma larga BD de radiação de localidades no mundo.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico com ligação à rede através do software PVSYST pode dividir-se nas seguintes etapas:

- Características do local e do projeto;
- Seleção do módulo fotovoltaico;
- Seleção do inversor;
- Configuração do sistema.

6.7.1. Características do local e do projeto

O microprodutor pretende vender a totalidade da energia à EDP e deseja obter os benefícios do regime bonificado. Para que este microprodutor possa usufruir do regime bonificado, a potência total a injetar na rede não pode exceder os 3,68 kWp, tendo sido estabelecida uma potência máxima de 3,6 kWp por limites impostos pelo programa (arredondamentos).

Trata-se de um prédio com muito pouco sombreamento, uma vez que se situa entre 2 prédios que são aproximadamente da mesma altura. Existe apenas uma chaminé que poderá causar algum sombreamento aos painéis solares mas não é significativo.

A *interface* do programa revela ser bastante intuitiva permitindo escolher o local do projeto, a orientação, horizonte, sombreamentos, sistema e disposição dos módulos como se pode verificar a partir da figura 6.1.

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

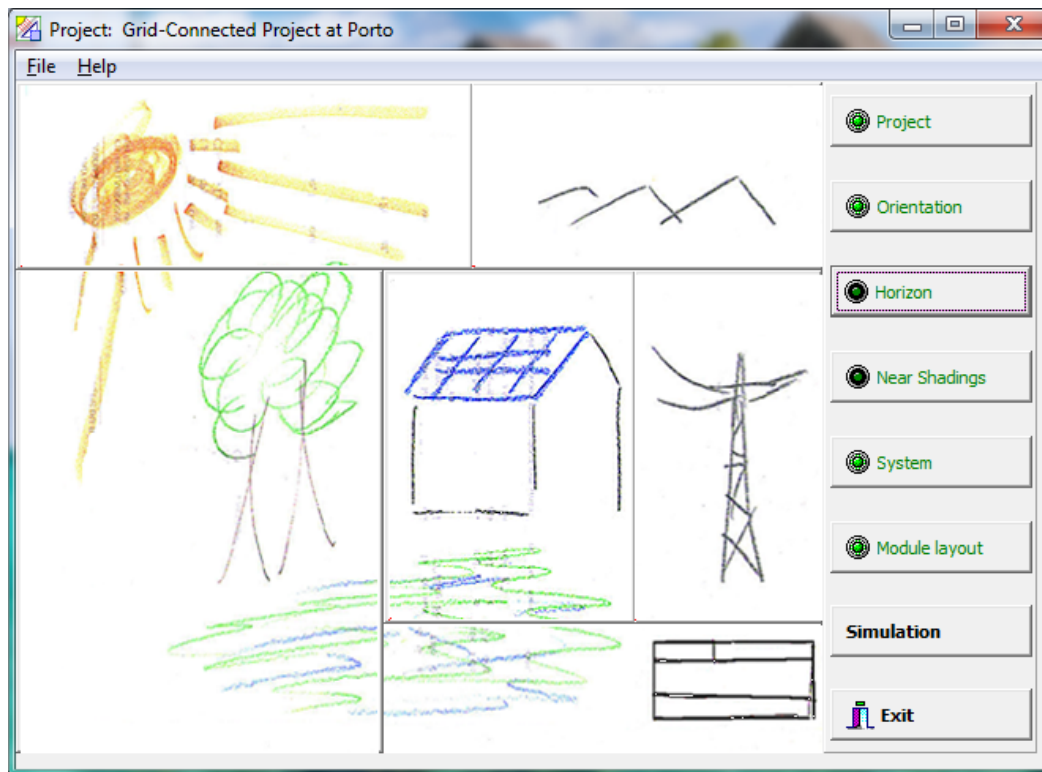


Figura 6.1 - Menu principal do programa PVSYST.

Foi selecionada a localização do projeto para o distrito do Porto, sendo que o PVSYST fornece alguns dados relativos aos níveis de radiação no Porto, inclinação óptima dos painéis e azimute solar. Na figura 6.1 pode verificar-se que o menu principal do programa é bastante intuitivo, na medida em que todas as opções estão listadas e são facilmente acedidas. Posteriormente, cada uma delas será explorada e explicada de forma a perceber-se melhor todas as possibilidades que o programa oferece.

Na figura 6.2 está representado o percurso solar em função do azimute solar no Porto com inclinação de 30° e azimute 0° .

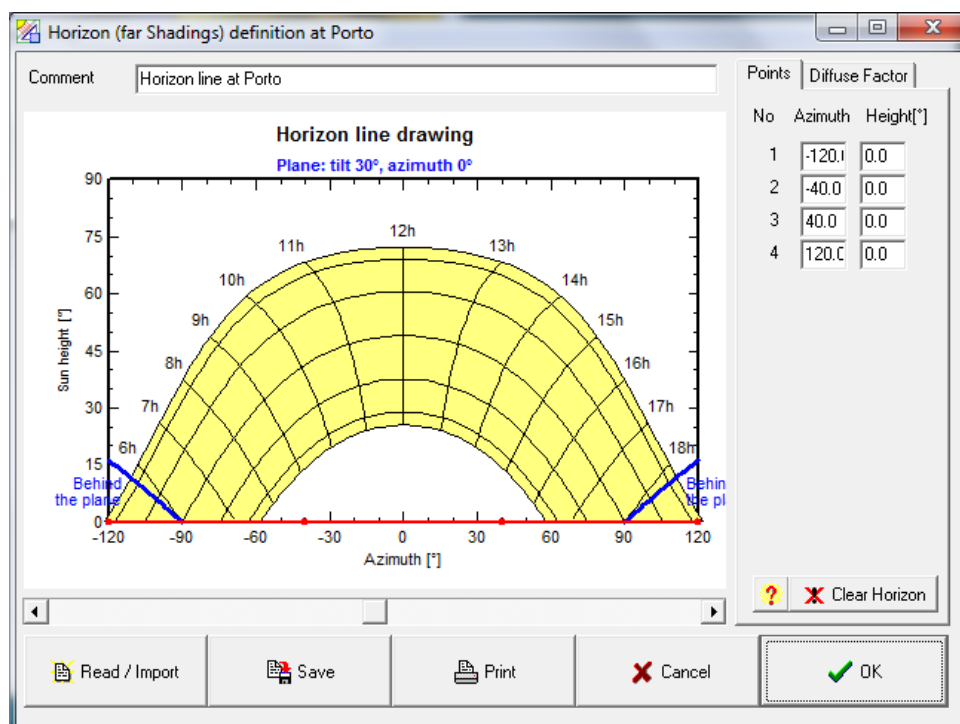


Figura 6.2 - Percurso solar em função do azimute solar no Porto.

Nesta análise, considerou-se o sistema FV fixo, com azimute solar de 0° e inclinação dos painéis de 30° (figura 6.3). Estes são os valores óptimos fornecidos pelo PVGIS [66].

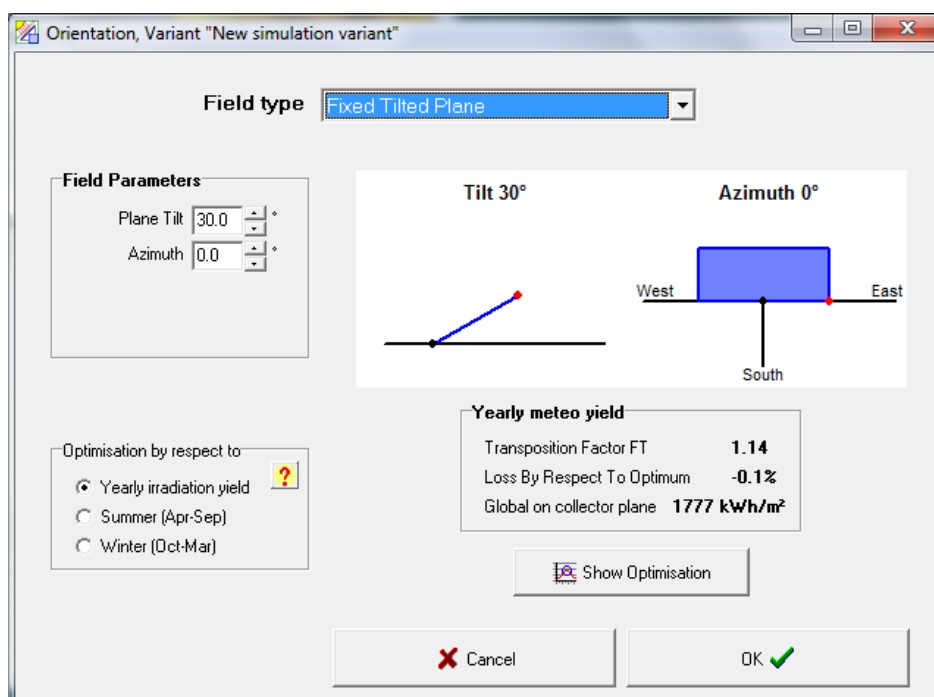


Figura 6.3 - Orientação dos painéis para o sistema fixo.

6.7.2. Seleção dos módulos

Para o dimensionamento de painéis fotovoltaicos através da utilização do programa PVSYSY, começa-se por inserir o valor da potência a injetar na rede ou com o valor da área disponível. O microprodutor manifestou a vontade de obter o regime de remuneração bonificado e estabeleceu-se para o projeto uma potência de pico de 3,6 kWh que vai de acordo com os 3,68 kWh limitados por lei (figura 6.4).

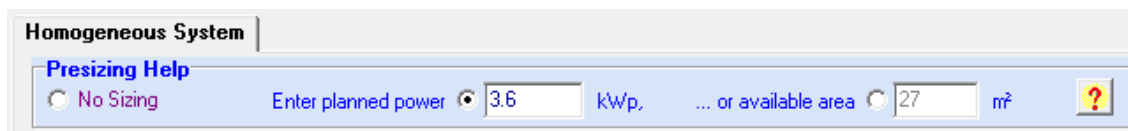


Figura 6.4 - Introdução da potência máxima para o sistema FV.

Após a inserção da potência máxima e de forma a se saber qual o número de módulos necessários, número de inversores e a área disponível para a instalação, foi escolhido o tipo de painéis fotovoltaicos a adoptar neste projeto.

O módulo selecionado foi o módulo da marca *SunTech*, modelo STP 225-20/Vb (figura 6.5), de silício monocristalino de 225 Wp.

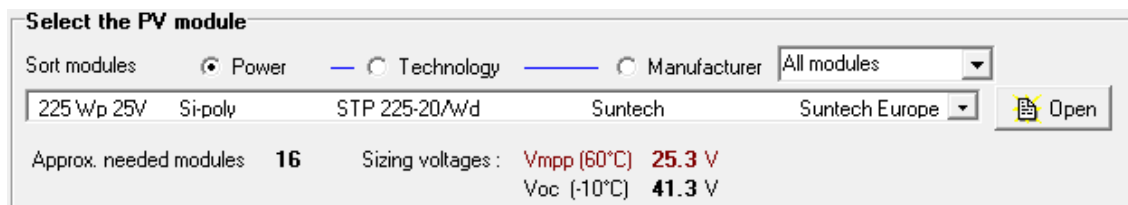


Figura 6.5 - Seleção do tipo de módulo do sistema FV.

Mediante a escolha do tipo de módulo, o PVSYSY indicou que seriam necessários 16 módulos, somente um inversor e que a área total ocupada pelos módulos seria de 20 m².

A figura 6.6, fornecida pelo software PVSYSY, representa as características eléctricas dos módulos *Suntech*. O PVSYSY dispõe uma ampla base de dados de componentes que constituem os sistemas fotovoltaicos embora não tenha produtos da *S-Energy* que foram usados posteriormente no programa *Sunny Design*.

Figura 6.6 - Características elétricas dos painéis SunTech.

6.7.3. Seleção do Inversor

Para este sistema fotovoltaico fixo foi escolhido o inversor da marca *Sunny Boy*, modelo SB3800 (figura 6.7). O *Sunny Boy* é o tipo inversor mais utilizado atualmente nas instalações solares ligadas à rede.

Figura 6.7 - Seleção do tipo de inversor.

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

Após a seleção do tipo de inversor e através da combinação deste inversor com os módulos fotovoltaicos escolhidos, chegou-se à conclusão que seriam necessários 18 módulos, sendo 2 fileiras de 9 módulos em série, como foi previsto inicialmente.

A figura 6.8 mostra as características eléctricas gerais dos inversores do tipo *Sunny Boy SB3800*.

The screenshot shows the 'Grid inverter definition' window with the following configuration:

Parameter	Value	Unit
Model	Sunny Boy SB 3800	
Manufacturer	SMA	
File name	SMA_SunnyBoy3800.DND	
Data source	Manufacturer 2010	
Input side (DC PV field)		
Minimum MPP Voltage	200	V
Min. Voltage for PNom	202	V
Nominal MPP Voltage	200	V
Maximum MPP Voltage	400	V
Absolute max. PV Voltage	500	V
Power Threshold	19.0	W
Contractual specifications, without real physical meaning <input type="checkbox"/> Required		
Nominal PV Power	4.04	kW
Maximum PV Power	4.04	kW
Maximum PV Current	20.00	A
Output side (AC grid)		
Type	<input checked="" type="radio"/> Monophased	
	<input type="radio"/> Triphased	
	<input type="radio"/> Biphased	
Frequency	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz	
	<input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz	
Grid Voltage	230	V
Nominal AC Power	3.80	kW
Maximum AC Power	3.80	kW
Nominal AC current	16.50	A
Maximum AC current	18.00	A
Efficiency		
Maximum efficiency	95.6 %	
EURO efficiency	94.7 %	
<input type="checkbox"/> Efficiency defined for 3 voltages		

Figura 6.8 - Características do inversor.

6.7.4. Configuração do sistema

Após ter sido feita a escolha do sistema e de ter verificado a compatibilidade, foi efectuada a simulação. Obteve-se o resultado presente na figura 6.9.

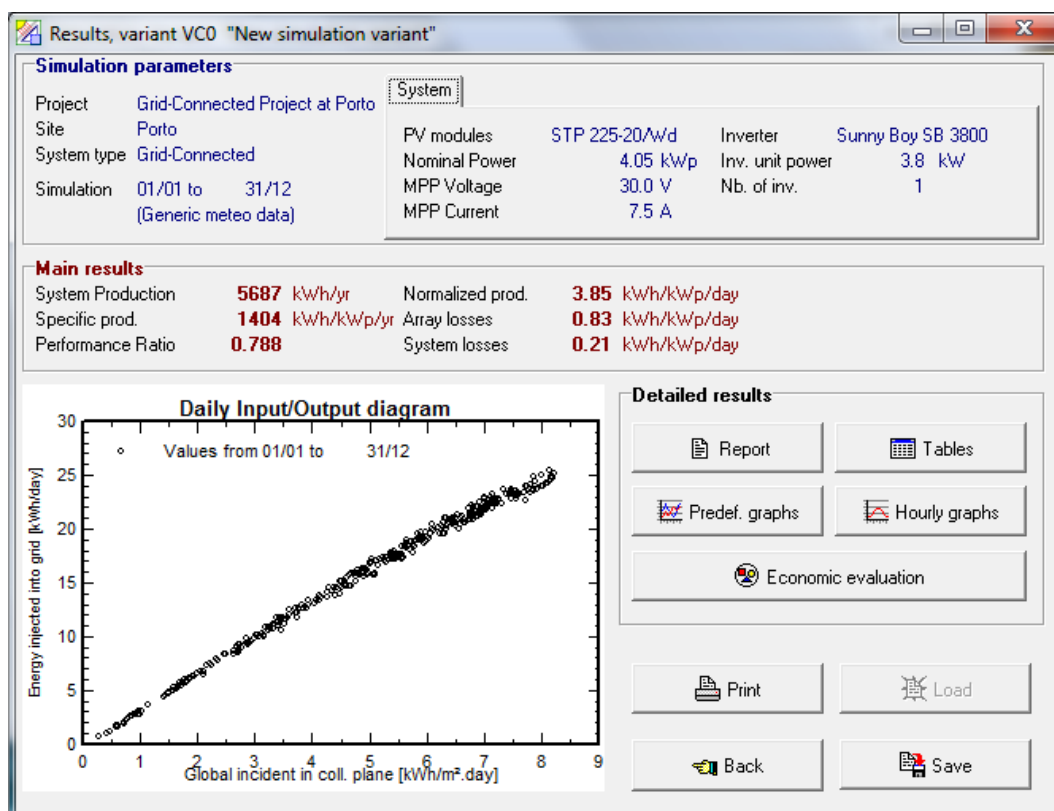


Figura 6.9 - Resultado da simulação do projeto.

Através da análise da figura 6.9 verifica-se que a produção anual do sistema foi de 5687 kWh/ano, e a taxa de desempenho de 78,8%. Ainda assim, o PVSYST permite obter alguns gráficos que se revelam interessantes para uma análise mais cuidada dos resultados.

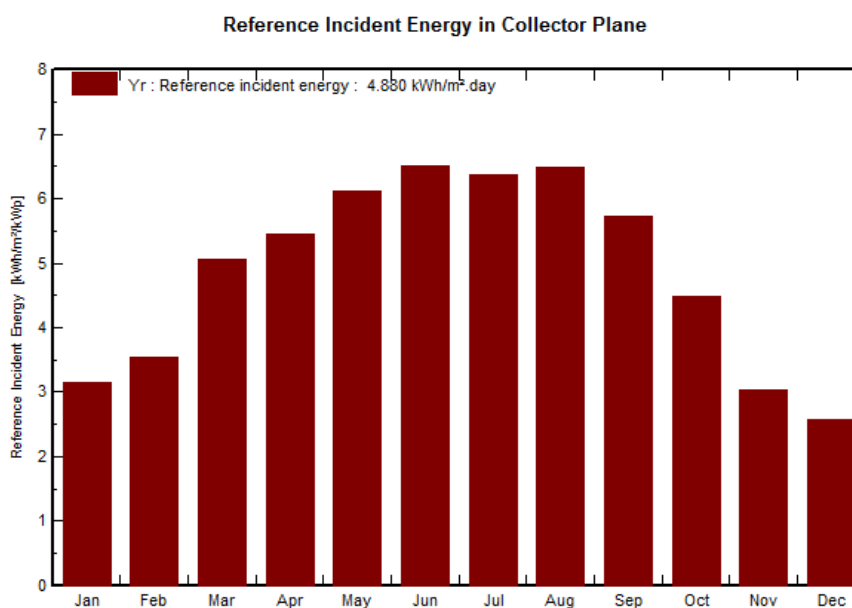


Figura 6.10 - Energia incidente (kWh/m²/kWp), em cada mês, no painel fotovoltaico.

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

Como se pode verificar a partir da figura 6.10, os meses em que os níveis de energia incidente, em kWh/m²/kWp, são maiores correspondem aos meses de maior calor (primavera e verão) e portanto maior número de horas solares.

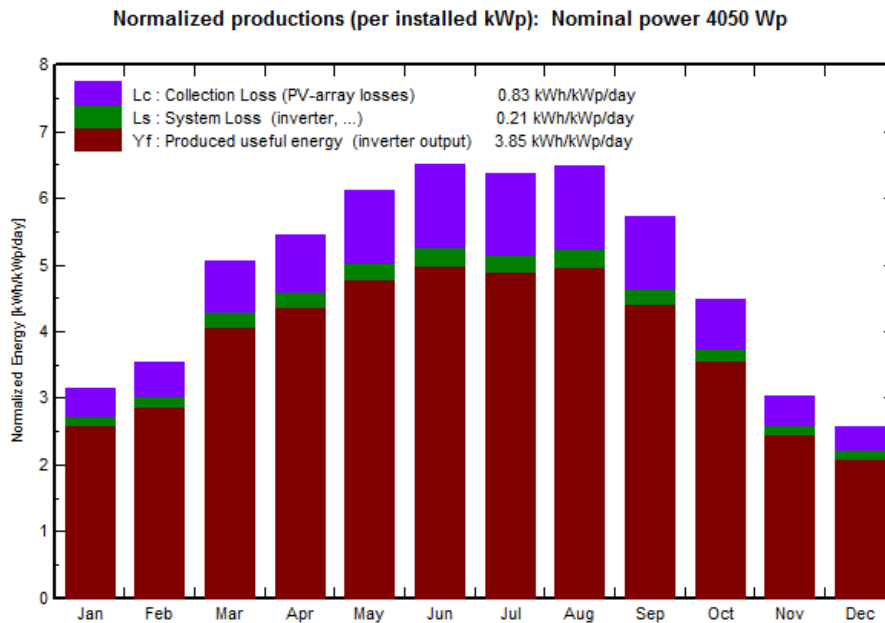


Figura 6.11 - Produção anual normalizada (por kWp instalado), para a potência nominal de 3.6 kWp, considerando-se as perdas.

A produção normalizada (figura 6.11) kWh/kWp/dia, bem como a energia incidente, intensificam-se igualmente nos meses de maior calor. O mesmo acontece com as perdas, essencialmente quando são perdas derivadas dos módulos fotovoltaicos.

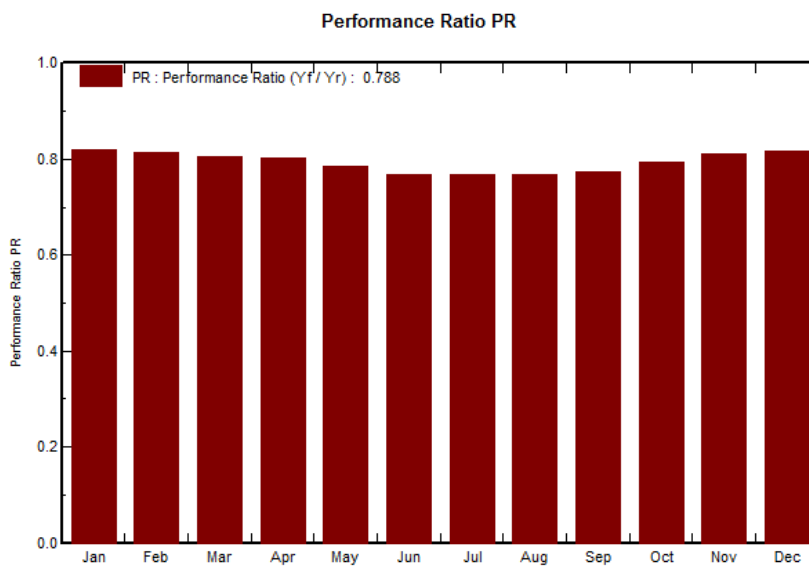


Figura 6.12 - Desempenho do sistema fotovoltaico

O rendimento do sistema fotovoltaico (figura 6.12) é praticamente constante ao longo do ano, apresentando contudo ligeiras quedas nos meses de mais calor.

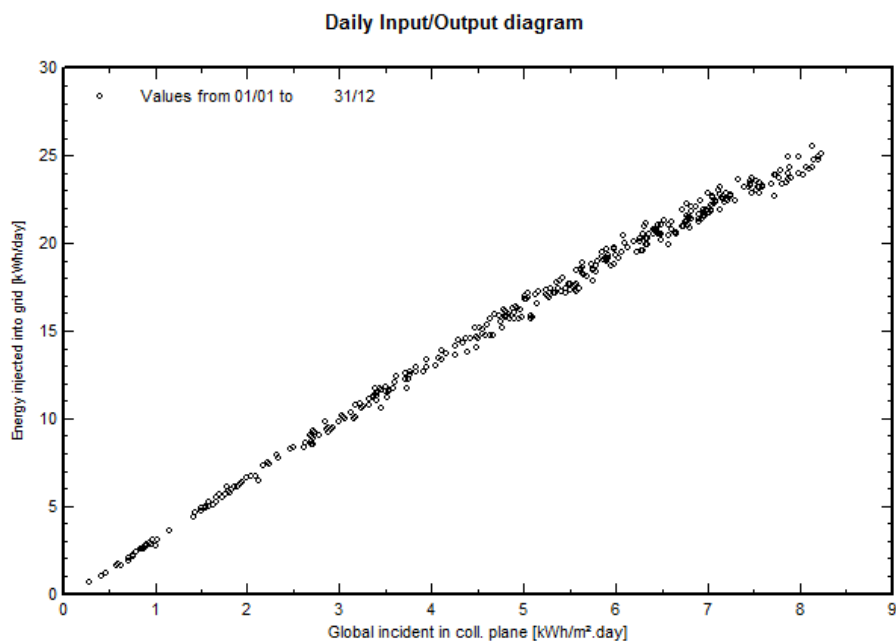


Figura 6.13 - Energia diária injetada na rede em função da irradiação solar.

Através da análise da figura 6.13, é possível concluir que a energia injetada (em kWh/dia) na rede será maior conforme a quantidade de irradiação que o painel recebe.

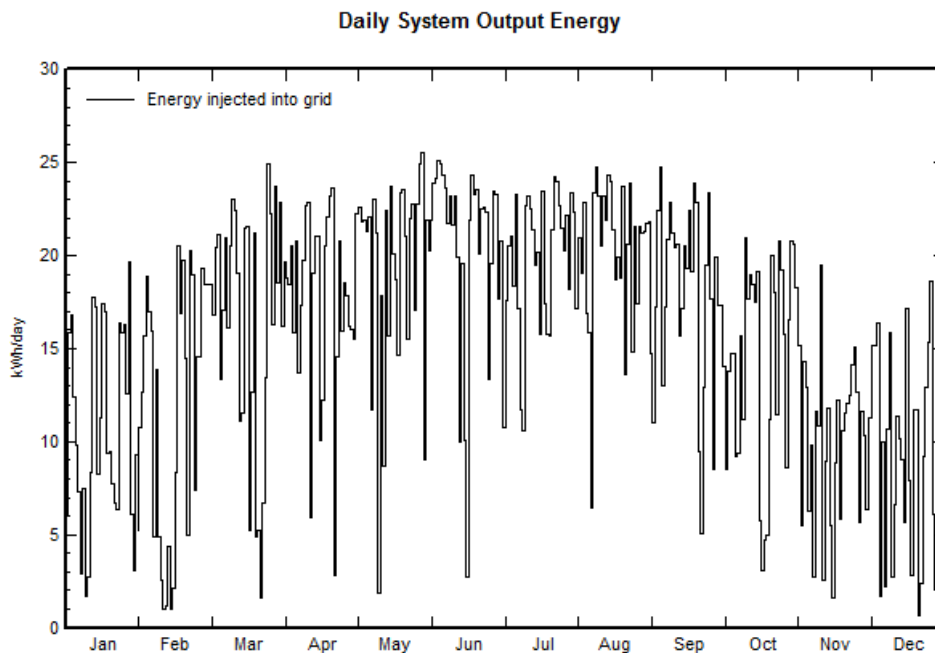


Figura 6.14 - Energia anual injetada na rede.

Como se pode verificar na figura 6.14 os meses de maior calor resultam numa quantidade de energia injetada na rede, em kWh/dia. Nos anexos A.1, A.2 e A.3 encontram-se as folhas de características exportadas pelo PVSYST.

6.8 Sunny Design

O software *Sunny Design* [67] foi desenvolvido pela empresa *SMA Solar Technology* e constitui um programa bastante intuitivo no dimensionamento de instalações fotovoltaicas. Este software foi analisado em alternativa ao PVSYST e verifica-se que é bastante mais simples, dispondo, naturalmente, de menos opções e, conseqüentemente, menor detalhe no dimensionamento de painéis fotovoltaicos.

6.8.1. Seleção do local e dos módulos

Numa primeira fase o programa oferece a possibilidade de selecionar várias localizações geográficas de forma a recolher as informações meteorológicas necessárias para o dimensionamento dos painéis.

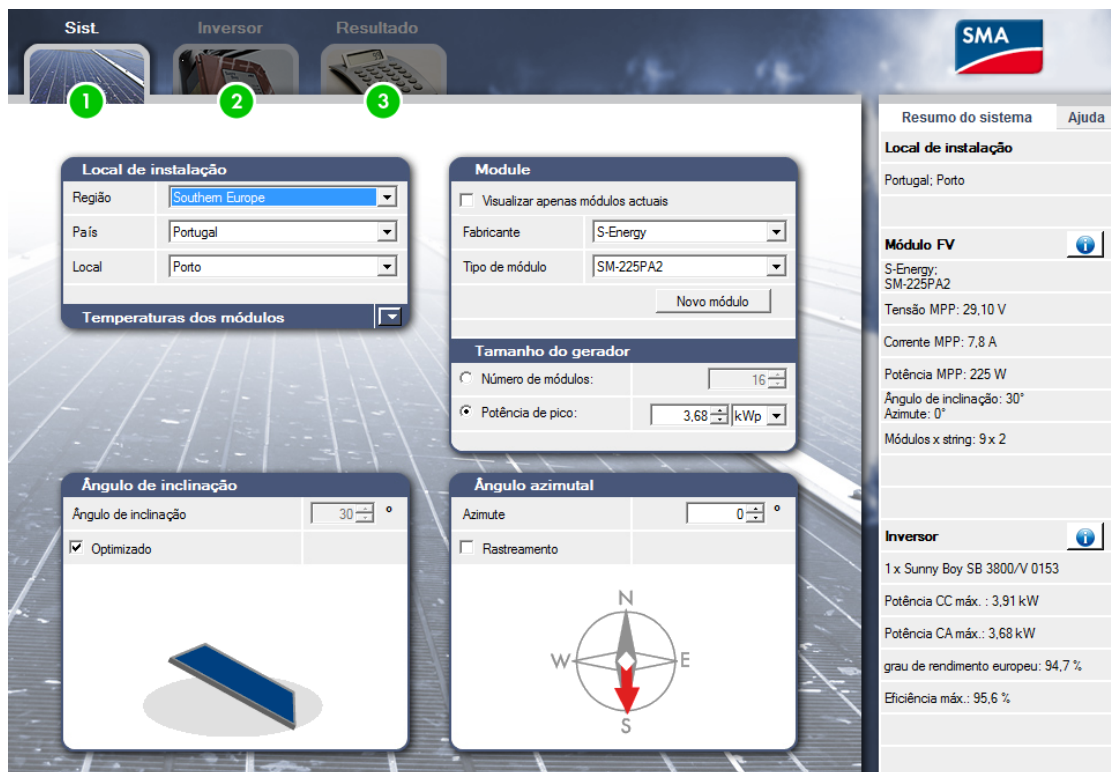


Figura 6.15 - Seleção do sistema e respectiva localização.

Como se pode verificar através da visualização da figura 6.15, o local escolhido foi o Porto e selecionou-se um ângulo de inclinação de 30° como foi feito no PVSYST, mantendo o ângulo de azimute a 0°. Os painéis selecionados neste programa são diferentes, visto que o modelo

do PVSYST não consta da lista de painéis deste software. O painel escolhido foi o S-Energy SM-225PA8 que apresenta características muito semelhantes. Este foi o painel escolhido por apresentar a melhor relação qualidade/preço e por ser uma marca extremamente fiável. A *datasheet* dos painéis está disponível nos anexos A.6 e A.7.

Existe também a possibilidade de definir a potência de pico que, neste caso, foi definida para 3.68 kWp que constam da legislação em vigor.

6.8.2. Seleção do inversor

O próximo passo consiste em seleccionar um inversor que vá de acordo com o painel seleccionado. Neste caso o inversor seleccionado foi exactamente o mesmo que o escolhido no PVSYST, ou seja, o *Sunny Boy SB3800*.

The screenshot displays the 'Inversor' selection screen in the Sunny Design software. It features three main sections:

- Seleção de Inversor:** A dropdown menu is set to 'Sunny Boy SB 3800/V 0153', accompanied by an image of the red inverter unit. Below the image, the specifications are listed: 'Sunny Boy SB 3800/V 0153', 'Potência CC máx.: 3,91 kW', and 'Potência CA máx.: 3,68 kW'. A 'Seleção de categoria' button is visible.
- Lista de verif. sistema fv / Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis:** A table with the following data:

Número total de módulos	18
Coefficiente da potência nominal	97 % ✓
Potência do string (entrada)	4,05 kW
Proporção da potência (entrada)	100 %
Tensão MPP no string no 15°C	274 V ✓
Tensão MPP no string no 50°C	233 V ✓
Tensão MPP no string no 70°C	210 V ✓
Tensão MPP m.in., tensão de rede definida: 230 V	200 V
Tensão de circuito aberto do string no -10°C	373 V ✓
Tensão CC máx. admissível (Inversor)	500 V
Corrente máx. do gerador fotovoltaico	15,5 A ✓
Corrente CC máx. admissível	20,0 A
N.º de strings (3 entradas)	2
N.º de módulos por string m.in.=9; máx.=12	9
- Configuração do sistema:** A table with the following data:

Potência de pico do gerador fotovoltaico	4,05 kW
Superfície do gerador FV	29,0 m²
Número de inversores	1
Potência CC máx.	3,91 kW
CA máx. Potência de rendimento	3,68 kW
Tensão de rede (ou seja, tensão no ponto de alimentação)	230 V

On the right side, there is a 'Resumo do sistema' and 'Ajuda' section with a world map icon. Below the map, there is a warning: 'Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis. No caso de uma tensão de rede aumentada é possível que, com uma temperatura elevada do módulo, o ponto de trabalho actual do gerador FV possa divergir ligeiramente do seu MPP. Por essa razão, este dimensionamento apenas é recomendado, quando a tensão de rede média esperada no inversor não excede o valor utilizado no cálculo. Soluções: - Seleccionar outro tipo de módulo - Seleccionar outros inversores'.

Figura 6.16 - Seleção do inversor.

Na figura 6.16 é possível seleccionar o número de inversores e definir a tensão de rede que, em Portugal, e na maior parte dos países da Europa é 230 V. É ainda possível definir o número de *strings* e de módulos por *string* que neste caso resulta num total de 18 módulos fotovoltaicos.

O passo seguinte consiste em obter os resultados desta configuração de forma a saber o rendimento energético anual e outras informações relevantes.

6.8.3. Resultados da configuração

Na figura 6.17 estão representados os resultados obtidos através da configuração escolhida verificando-se um rendimento anual específico de 5528 kWh. Entre os valores retirados do programa, realça-se o facto da taxa de desempenho ser de 82%. Apesar do rendimento energético anual específico ser ligeiramente menor do que o obtido com os painéis da *Suntech*, verifica-se que a taxa de desempenho passa de 78,8% para 82%.

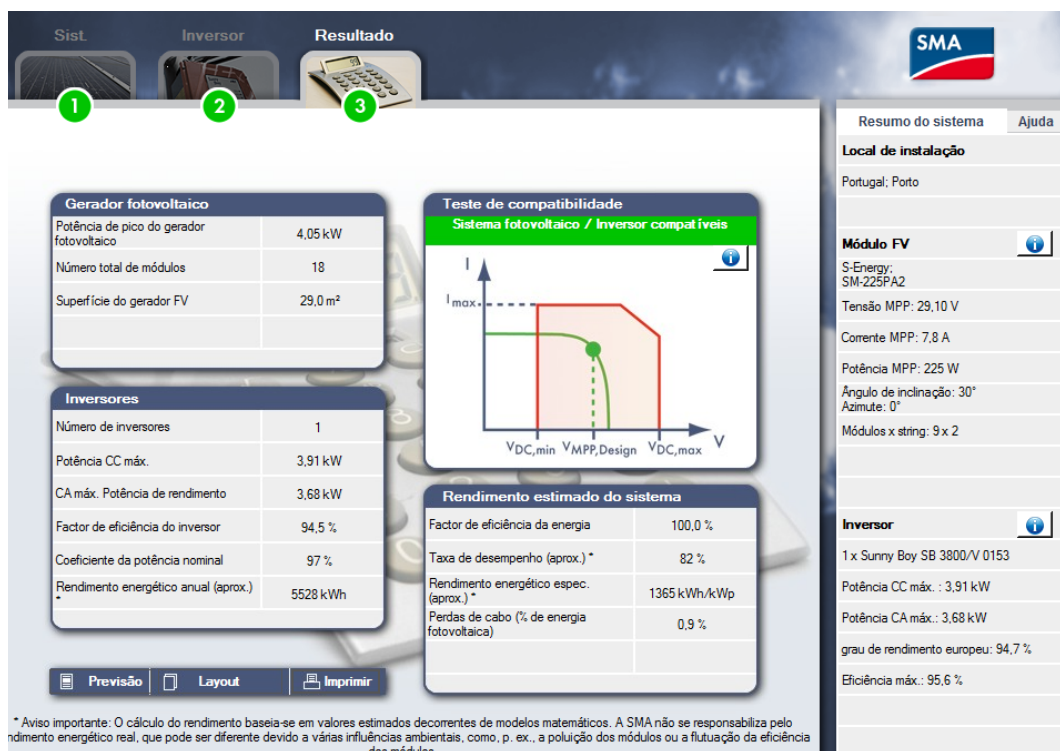


Figura 6.17 - Resultados da configuração.

Depois de extraídas todas as conclusões e de ter sido verificado o teste de compatibilidade entre o sistema fotovoltaico e o inversor, é possível imprimir um ficheiro em formato pdf com o resumo do sistema. Nos anexos A.4 e A.5 encontram-se, respectivamente, a lista de verificação e o resumo do sistema, extraídos pelo *Sunny Design*.

6.9 Sistema de Monitorização *Sunny Beam*

O sistema de monitorização *Sunny Beam* constitui um aparelho que através de uma ligação *bluetooth* é capaz de comunicar com o inversor de forma a fornecer alguns valores que são bastante interessantes para o consumidor. Os dados presentes no sistema de monitorização são válidos desde 18 de Novembro de 2010, data em que os painéis fotovoltaicos foram instalados e o sistema de monitorização foi ligado pela primeira vez. Através desses dados foram construídos alguns gráficos com valores interessantes para uma

análise mais cuidada dos painéis fotovoltaicos. Os valores principais estão representados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Valores extraídos do sistema de monitorização.

	Hoje	Total
Retribuição	8,05 €	3405,4 €
Energia	14 kwh	5805,3 kwh
Emissões de CO2 evitadas	10,98 kg	4644,2 kg

Estes dados foram recolhidos dia 23 de Novembro de 2011, fazendo aproximadamente 1 ano desde que o sistema foi ligado pela primeira vez.

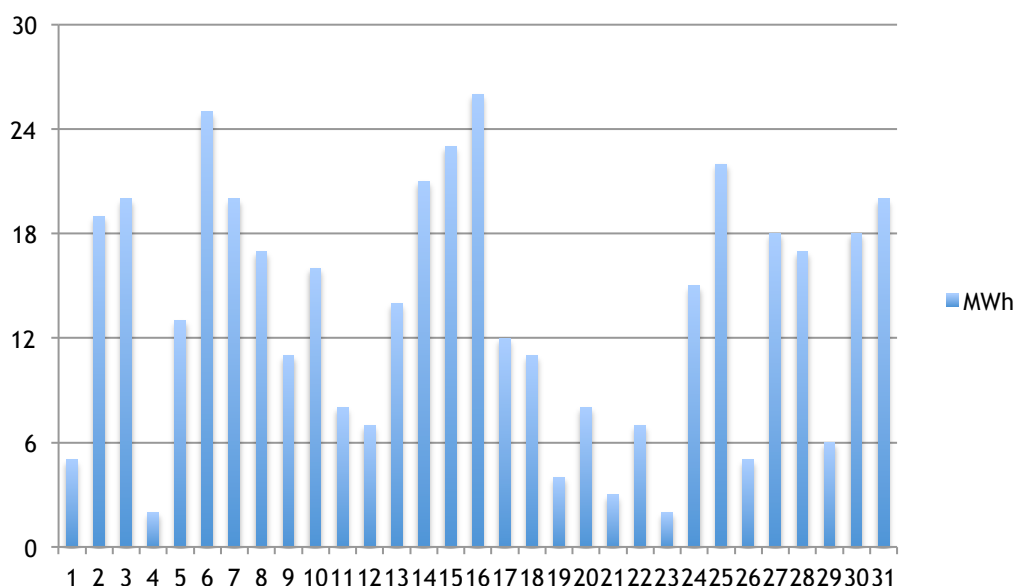


Figura 6.18 - Rendimento dos últimos 31 dias.

A figura 6.18 demonstra o rendimento dos últimos 31 dias, sendo estes 31 dias entre os meses de Outubro de Novembro de 2011. Verifica-se que, naturalmente, nos dias com maior incidência solar existe um aumento na produção.

De forma a aumentar a produção nos meses de Inverno, ou seja, com menor radiação solar, a instalação de mais uma *string* de painéis podia ser uma boa solução. Embora no Verão, haja produção de energia em excesso, o aumento de produção no Inverno podia facilmente compensar o investimento.

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

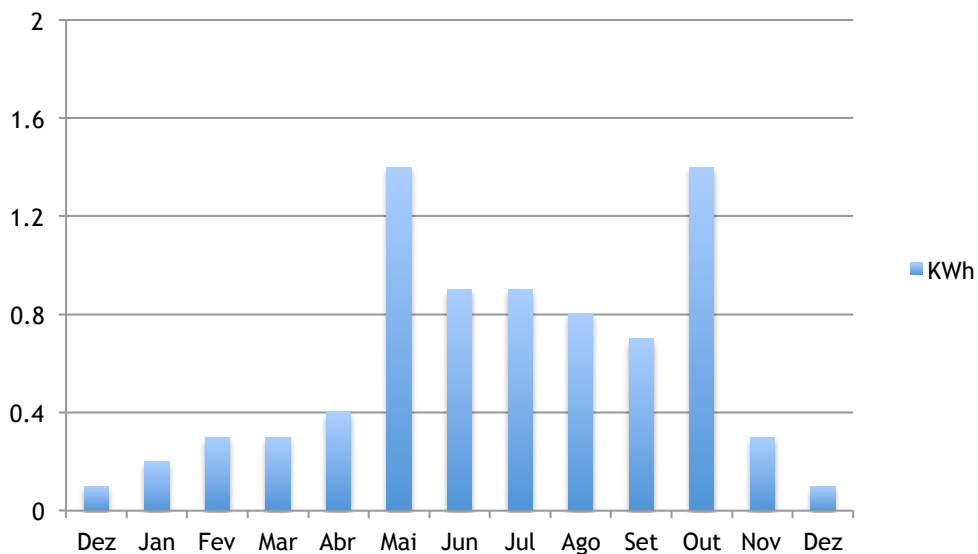


Figura 6.19 - Rendimento dos últimos 12 meses.

Relativamente ao rendimento dos últimos 12 meses (figura 6.19), verifica-se que Maio e Outubro foram os meses de maior rendimento em KWh. Naturalmente que os meses de Verão conseguem um rendimento muito superior aos meses de Inverno devido ao maior número de radiações solares.

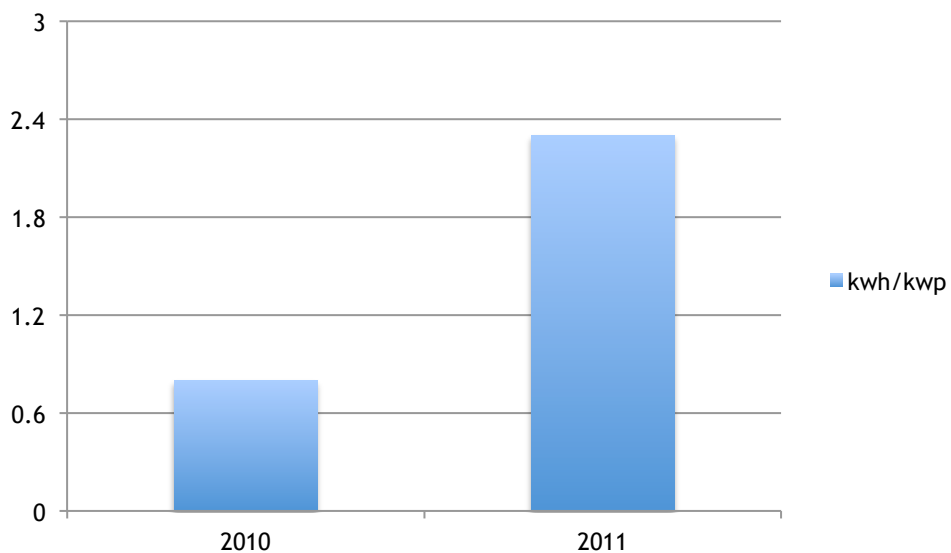


Figura 6.20 - Rendimento específico do ano.

Sobre o rendimento específico do ano (figura 6.20) não é possível tirar conclusões na medida em que os painéis foram instalados há cerca de 1 ano e portanto é impossível comparar o rendimento entre anos diferentes.

6.10 Avaliação económica

De forma a proceder à avaliação económica, foram considerados os preços de cada componente que constituem o sistema fotovoltaico estudado. Estes preços vão de acordo com a data da instalação que foi no final de 2010. Como já foi referido anteriormente, de acordo com a legislação anterior, a preço é o mesmo para os primeiros 5 anos, com a existência de um ano 0, e no final desse período é feita uma estimativa do pior caso possível que é na eventualidade do número máximo de pessoas apostar na instalação de sistemas fotovoltaicos para microprodução.

Tabela 6.2 - Evolução das tarifas e proveito acumulado com o projeto em 2010.

Ano (kWh)	Produção (kWh)	Preço (€/kWh)	Proveito (€)	Proveito Acumulado (€)	Média mensal (€)
0	5528	0,5850	3234	3.234	269
1	5528	0,5850	3234	6.468	269
2	5528	0,5850	3234	9.702	269
3	5528	0,5850	3234	12.936	269
4	5528	0,5850	3234	16.169	269
5	5528	0,5850	3234	19.403	269
6	5528	0,2861	1582	20.985	132
7	5528	0,2330	1288	22.273	107
8	5528	0,1803	997	23.270	83
9	5528	0,1659	917	24.187	76
10	5528	0,1712	946	25.133	79

Em relação à tabela 6.2, o proveito é calculado através do produto entre a produção e o preço que representa a tarifa em vigor para um determinado ano. O proveito acumulado é calculado através da soma dos proveito atual com o proveito anterior. A média mensal é calculada através da divisão do proveito pelo número de meses no ano.

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

Tabela 6.3 - Orçamento do sistema fotovoltaico em 2010.

Descrição	Quantidade	Percentagem	Custo
S-Energy 225Wp	18 un	51%	€ 9.873,02
Inversor SMA Sunny Boy 3800V // ESS - PT	1 un	11%	€ 2.129,48
Estrutura Intersol Estrutura de suporte para os módulos fotovoltaicos Montagem coplanar a cobertura	1 conj	4%	€ 774,35
Sistema de monitorização SMA Sunny Beam SMA Funk Piggy Back / Sunny Beam	1 un	5%	€ 967,94
Contador Janz - A 1700 Modem GSM Inclui cabo RS 232 ou RS 485 Antena GSM 3 db janz	1 un		
Portinhola	1 un		
Cabos Radox Solar para ligação DC Cabo para ligação AC	100 m 30 m	11%	€ 2.129,48
Quadros e aparelhagem de proteção	1 conj		
Instalação, colocação em serviço e comissionamento	1 serv	19%	€ 3.678,19
Preço			€ 19.358,87

Verifica-se que de acordo com a tabela 6.2, é possível começar a lucrar a partir do final do 5º ano, em que o proveito passa a ser superior ao preço do painel.

Na figura 6.21 apresenta-se a evolução do *cash-flow* para 10 anos admitindo a instalação em 2010 e é possível verificar que a partir do 5º ano os painéis ficam pagos. Os painéis são mais caros em 2010 do que em 2012 mas, pelo facto das tarifas serem muito superiores, obtém-se o retorno em relativamente pouco tempo.

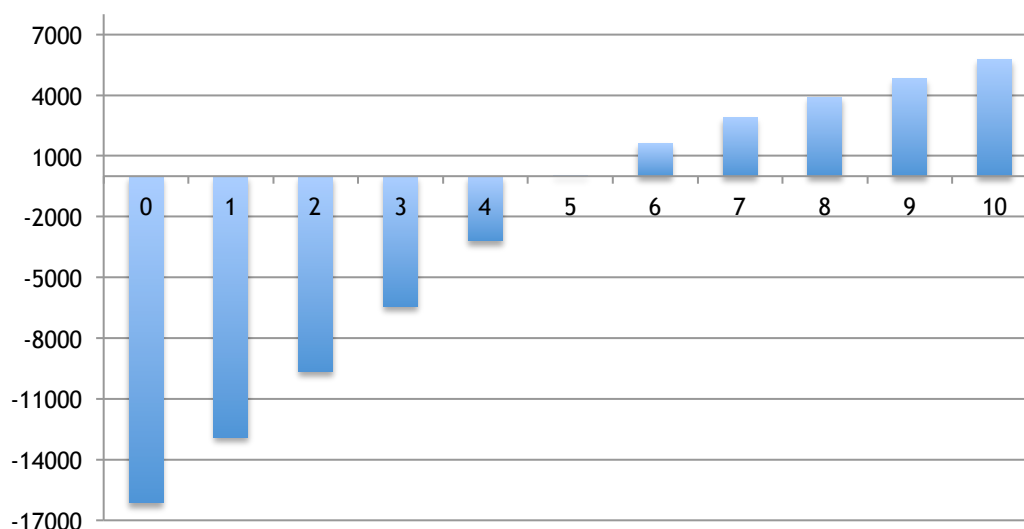


Figura 6.21 - Evolução do *cash-flow* admitindo a instalação em 2010.

De seguida apresenta-se uma tabela com uma estimativa para 10 anos, com as tarifas atuais para o caso da instalação ser feita hoje, ou seja, em 2012. De acordo com a nova legislação, nos primeiros 8 anos é atribuída a tarifa de 0,326 €/kWh e nos 7 anos seguintes a tarifa é atualizada para 0,185 €/kWh.

Tabela 6.4 - Evolução das tarifas e proveito acumulado com o projeto para 2012.

Ano (kWh)	Produção (kWh)	Preço (€/kWh)	Proveito (€)	Proveito Acumulado (€)	Média mensal (€)
1	5528	0,326	1802	1.802	150
2	5528	0,326	1802	3.604	150
3	5528	0,326	1802	5.406	150
4	5528	0,326	1802	7.209	150
5	5528	0,326	1802	9.011	150
6	5528	0,326	1802	10.813	150
7	5528	0,326	1802	12.615	150
8	5528	0,326	1802	14.417	150
9	5528	0,185	1023	15.440	85
10	5528	0,185	1023	16.462	85

Verifica-se que o proveito acumulado é, de facto, inferior ao de 2010 pelo facto das tarifas terem descido bastante muito por causa da situação económica atual do país. Para que o investimento não deixe de ser rentável, os fabricantes sentiram a necessidade de baixar os preços dos painéis.

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede

Tabela 6.5 - Orçamento do sistema fotovoltaico em 2012.

Descrição	Quantidade	Percentagem	Custo
S-Energy 225Wp	18 un	44%	€ 6.273,05
Inversor SMA Sunny Boy 3800V // ESS - PT	1 un	15%	€ 2.138,54
Estrutura Intersol Estrutura de suporte para os módulos fotovoltaicos Montagem coplanar a cobertura	1 conj	5%	€ 712,85
Sistema de monitorização SMA Sunny Beam SMA Funk Piggy Back / Sunny Beam	1 un	6%	€ 855,42
Contador Janz - A 1700 Modem GSM Inclui cabo RS 232 ou RS 485 Antena GSM 3 db janz	1 un		
Portinhola	1 un		
Cabos Radox Solar para ligação DC Cabo para ligação AC	100 m 30 m	12%	€ 1.710,83
Quadros e aparelhagem de proteção	1 conj		
Instalação, colocação em serviço e comissionamento	1 serv	17%	€ 2.423,68
Preço			€ 14.256,94

Todos os valores referentes ao custo dos componentes do sistema fotovoltaico foram fornecidos pela STGEN [68] e que foi responsável pela instalação na habitação analisada nesta dissertação. As tarifas foram retiradas da legislação que já foi apresentada anteriormente.

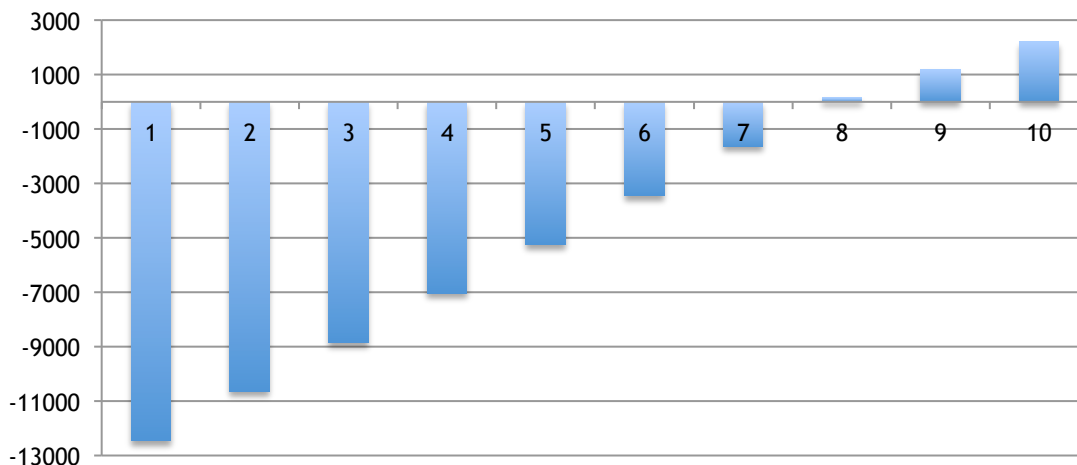


Figura 6.22 - Evolução do *cash-flow* admitindo a instalação em 2012.

Através da análise da evolução do *cash-flow* para 2012 (figura 6.22) é possível concluir que só se consegue obter o retorno a partir do 8º ano. Comparando com a figura 6.21, verifica-se que a situação económica do país prejudicou o investimento em sistemas fotovoltaicos.

No caso do consumidor preferir pagar os painéis em prestações, é possível pedir um empréstimo ao banco com taxas de juro muito reduzidas. Isto acontece porque para este tipo de investimentos, que são consideravelmente seguros visto que a previsão é extremamente fiável, os bancos são obrigados a praticar *spreads* muito baixos.

6.11 Conclusões

Após terem sido utilizados a fundo os 2 programas selecionados para efetuar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico ligado à rede verifica-se que o PVSYST consiste numa oferta muito mais completa. No entanto, verifica-se que o resultado foi muito semelhante para painéis da mesma gama.

Cada programa tem características muito específicas, embora o PVSYST permita definir o *layout* dos painéis considerando casos de sombreamento. O *Sunny Design* consiste numa oferta que pode ser muito útil para o consumidor comum, visto que demonstra ser uma opção muito simples que facilmente simula a produção para um determinado sistema.

Devido à situação atual do país e ao número crescente de instalações fotovoltaicas tem-se verificado uma atualização constante da legislação aplicada à microprodução. É possível concluir que na legislação atual é preciso mais algum tempo até obter o retorno do investimento nos painéis fotovoltaicos.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 Conclusões Gerais

A interação entre os conceitos essenciais abordados nesta dissertação: eficiência, energia, gestão, edifícios, renováveis, mostrou ser uma tarefa desafiadora, ambiciosa e dinâmica. É incontestável que o mundo da energia é complexo e é constituído por inúmeras variáveis. Ao longo do trabalho desenvolvido, a ideia de que a eficiência energética é absolutamente necessária e viável foi, sem dúvida, bastante analisada e reforçada.

A redução do consumo de energia em edifícios públicos ou privados envolve as empresas produtoras/distribuidoras de energia, agências de energia, empresas, arquitetos, projetistas e os restantes cidadãos de uma forma geral.

Nesta dissertação é estudada a eficiência energética dos edifícios, onde passamos mais de 80% do nosso tempo e é consumida cerca de 40% da energia mundial. A primeira conclusão que se retira após a realização desta dissertação, é o facto da eficiência energética ser muito mais do que um conjunto de boas intenções, defendida por ambientalistas e algumas figuras na área do ambiente e energia.

As boas intenções podem e devem passar à prática, através de diversas medidas e soluções abordadas ao longo do estudo, que são essenciais no sentido de se construir um futuro sustentável, diminuindo as alterações climáticas, reduzindo a dependência, o défice externo e a vulnerabilidade dos preços do petróleo. A eficiência energética tem a vantagem de apresentar medidas em que todos os intervenientes ficam a ganhar, apresentando períodos de retorno aceitáveis.

O conceito de eficiência energética é essencial para a redução de custos relacionados com consumos de recursos, nomeadamente na situação económica atual do país em que se gasta mais do que realmente é possível gastar.

A certificação energética foi outra das áreas com maior potencial de melhoria, com a proposta de um sistema nacional para a certificação energética municipal e do Estado. A introdução do *zero energy buildings* nos edifícios públicos até 2018 na nova diretiva, realça a importância desta certificação. O conceito de *zero energy buildings* é internacional e, nesse sentido, são tomadas cada vez mais medidas para que na construção de edifícios novos respeitem as normas de eficiência energética.

Atualmente, os módulos fotovoltaicos ainda representam custos demasiado elevados. Tem-se verificado, contudo, uma redução dos custos, bem como um aumento da sua eficiência e do seu tempo de vida útil. A microprodução é uma solução a adoptar para proporcionar um desenvolvimento mais sustentável. A produção dispersa resulta na redução de perdas na rede de transporte e o aumento da fiabilidade do fornecimento de eletricidade.

Em Portugal, a inclusão da microprodução na rede ainda se apresenta algo limitada e pouco consistente, existindo, no entanto, políticas favoráveis e os investimentos atuais já registam bons níveis de tempo de retorno. Atendendo à crise financeira e à quantidade de energia importada atualmente, é de espera-se um crescente investimento na energia solar fotovoltaica.

7.2 Perspectivas de trabalhos futuros

Nesta dissertação foram analisados de forma extensa os *Zero Energy Buildings*. Podia ter sido, contudo, sugerido um exemplo de *zero energy building* para Portugal. Devido ao facto de ser um tema que engloba inúmeras áreas optou-se por focar o estudo na parte elétrica, mais especificamente na implementação de painéis fotovoltaicos. É de esperar que no futuro se assista a uma crescente aposta nos sistemas fotovoltaicos ligados à rede nos países industrializados e sistemas autónomos nos países em vias de desenvolvimento.

A integração arquitectónica de sistemas fotovoltaicos em edifícios, ainda pouco estudada pelos profissionais, releva ser um passo extremamente importante na divulgação deste tipo de aproveitamento, traduzindo-se num valor acrescido à tecnologia utilizada.

No futuro, o dimensionamento de um sistema híbrido (solar e eólica) em funcionamento isolado, pode ser um trabalho interessante, no caso de se estudar uma moradia situada num local com uma altitude considerável, de forma a ser rentável instalar uma microturbina eólica.

Referências

- [1] EDP. (2011, 23/9/2011). *Guia Prático da Eficiência Energética*. Available: http://ws.cgd.pt/blog/pdf/guia_edp.pdf
- [2] Direcção Geral de Energia. (2002, 15/9/2011). *Eficiência Energética nos Edifícios*. Available: <http://lge.deec.uc.pt/ensino/geei/Docs/ProgramaEffEdificios.pdf>
- [3] Direcção Geral de Energia e Geologia. (2011, 2/10/2011). *Caracterização Energética Nacional*. Available: <http://www.dgge.pt>
- [4] ADENE. (2010, 24/11/2011). *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*. Available: <http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/pub-medidas-eficiencia-energetica-industria.pdf>
- [5] European Commission, "Energy -Efficient Buildings PPP - Multi-annual Roadmap and Longer Term Strategy," 2010.
- [6] Sá, A.F.R., *Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética*: Publindústria, 2010.
- [7] BSCD Portugal. (2005, 14/12/2011). *Manual de boas práticas de eficiência energética*. Available: <http://www.bcsdportugal.org/manual-eficiencia-energetica/465.htm>
- [8] BSCD Portugal. (2010, 14/12/2011). *Como contribuir para o desenvolvimento sustentável? - Case Study REN*. Available: <http://www.bcsdportugal.org/files/a65be468192ee76aa95b288aaec708c56616ce3a.pdf&fileDesc=Case-Study-REN-2010>
- [9] Vários autores. (14/12/2011). *Certificação do desempenho energético e da qualidade do ar interior*. Available: http://www.eco.edp.pt/images/stories/Certificado_Habitacoes.pdf
- [10] Comité Económico e Social Europeu, "Parecer sobre a promoção das políticas e dos programas de eficiência energética junto dos utilizadores finais," 2009/C 318/08, 2009.
- [11] Parlamento Europeu e Conselho, "Directiva 2006/32/CE," *Jornal Oficial da União Europeia*, 2006.
- [12] Edifício Solar XXI - Edifício energeticamente eficiente em Portugal. (2005, 27/10/2011). *INETI*. Available: http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1321/1/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf

- [13] Mukherjee, S., "Opportunities and Challenges with Net Zero Energy Buildings," *Proceeding of the 23rd International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's*, 2011.
- [14] Fesli, U., Bayir, R. e Ozer, M., "Design and Implementation of a Domestic Solar-Wind Hybrid Energy System," *Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2009.
- [15] Strong, S. (2008, 28/11/2011). *Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*. Available: <http://www.wbdg.org/resources/bipv.php>
- [16] Plastow, J., "Progress in Building Integrated PV Technologies," *Photovoltaic Energy Conversion Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference*, 2006.
- [17] Hayter, S. J. e Martin, R. L., "Photovoltaics for Buildings Cutting-Edge PV," *National Renewable Energy Laboratory*, 1998.
- [18] Eco EDP. (2011, 14/12/2012). *Energia a biomassa*. Available: <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/gerar/gerar-a-sua-propria-energia/energia-a-biomassa>
- [19] Eco EDP. (2011, 14/12/2011). *Energia geotérmica*. Available: <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/gerar/gerar-a-sua-propria-energia/energia-geotermica>
- [20] Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. (2004, 14/12/2011). *Arquitetura bioclimática - Perspectivas de inovação e futuro*. Available: http://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio_Arq_Bioclimatica.pdf
- [21] Vários autores. (2009, 13/10/2011). *A Climatização Solar*. Available: <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Documentacao/Maisrecentes/Documents/BrochuraClimatiza%C3%A7%C3%A3oSolar.pdf>
- [22] FF Solar - Energias Renováveis. (2011, 4/11/2011). *Aquecimento/arrefecimento por superfícies radiantes*. Available: <http://www.ffsolar.com/index.php?lang=PT&page=superficies-radiantes>
- [23] Fernandes, R., "Eficiência Energética de Edifícios versus Qualidade de Iluminação," *Tese no âmbito do MIEEC da FEUP*, 2008.
- [24] Bertoldi, P., Boza-Kiss, B. e Rezessy, S., "Latest Development of Energy Service Companies across Europe," *Institute for Environment and Sustainability*, 2007.
- [25] Abreu, J., "Gestão Municipal e Empresarial de Energia em Edifícios Públicos e de Serviços," *Dissertação no âmbito do MIEA da FCT*, 2010.
- [26] Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento. (2010, 25/9/2011). *Estratégia Nacional de Energia ENE 2020 - Uma inspiração para Portugal e uma ideia para o mundo*. Available: http://www.governo.gov.pt/pt/GC18/Documentos/MEID/Plano_Novas_Energias.pdf
- [27] 1.ª série—N.º 97 Diário da República, "Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015," 2008.
- [28] Ministério da Economia e da Inovação, "Portugal Eficiência 2015 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética," 2008.

- [29] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. (2011, 2/10/2011). *Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica*. Available: <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/Paginas/default.aspx>
- [30] Presidência do Conselho de Ministros. (11/10/2011). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011*. Available: <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/01/00800/0027000271.pdf>
- [31] Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento. (2011, 11/10/2011). *Decreto de Lei nº 29 de 2011*. Available: <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/02/04100/0120901216.pdf>
- [32] Parlamento Europeu. (2009, 5/12/2012). *Parlamento Europeu fecha pacote clima-energia: "três vintes" até 2020*. Available: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081216IPR44857+0+DOC+XML+V0//PT>
- [33] Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu. (2011, 14/12/2011). *Plano de Eficiência Energética de 2011*. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0109:FIN:PT:PDF>
- [34] Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. e Crawley, D., "Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition," *National Renewable Energy Laboratory*, 2006.
- [35] Gonçalves, H., "Towards Net Zero Energy Buildings," *Laboratório Nacional de Energia e Geologia*, 2010.
- [36] NHBC Foundation. (2009, 10/1/2012). *Zero carbon homes - an introductory guide for housebuilders*. Available: <http://www.nhbcfoundation.org/LinkClick.aspx?fileticket=8%2f949UUO%2fw4%3d&tabid=420&mid=904>
- [37] NHBC Foundation, ZCH e PRP, "Zero Carbon Compendium - Who's doing what in housing worldwide," 2010.
- [38] EDP. (2012, 16/1/2012). *Compromisso Ambiental*. Available: <http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/producaodeelectricidade/Pages/CompromissoAmbiental.aspx>
- [39] Wang, H. e Liu, C., "Research on Incentive Mechanism to Promote Energy Efficiency in Existing Buildings," *Industrial Engineering and Engineering Management*, 2007.
- [40] Todorovic, B., "Towards Zero Energy Buildings: New and Retrofitted Existing Buildings," *Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES)*, 2011.
- [41] Gugerli, H., "Energy efficient buildings: The Swiss experience," *Green Building Congress*, 2010.
- [42] Comissão Europeia, "Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho," 2010.
- [43] Gonçalves, H. e Brotas, L. (2007, 4/1/2012). *A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: Directrizes de Projecto para Casas Confortáveis de Baixo Consumo Energético*. Available: <http://www.passive-on.org/CD/1. Technical Guidelines/Part 1/Part 1 - Portugues.pdf>

- [44] Santamouris, M. e Sfakianaki, P., "The energy impact of the EN 15251 comfort categories," *COMMONCENSE - Comfort monitoring for CEN standard EN15251 linked to EPBD*, pp. 6-8, 2009.
- [45] Buildings Performance Institute Europe. (2011, 5/12/2011). *Principles for Nearly Zero-Energy Buildings*. Available: http://www.buildup.eu/system/files/content/HR_nZEB_study.pdf
- [46] World Business Council for Sustainable Development e BSCD Portugal. (2009, 10/1/2012). *Eficiência Energética em Edifícios - Realidades empresariais e oportunidades*. Available: <http://www.bcsdportugal.org/files/c1312605114bc300f2a6ebb0c0334a24cb83b2af.pdf&fileDesc=Eficiencia-Energetica-em-Edificios>
- [47] Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento, "Decreto-Lei nº118-A/2010," *Diário da República*, 2010.
- [48] FF Solar - Energias Renováveis. (2011, 4/11/2011). *Microprodução (antiga microgeração)*. Available: <http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=microproducao>
- [49] EDP. (2012, 17/1/2012). *Microprodução - Processo de Registo*. Available: <http://www.edpsu.pt/pt/PRE/Microproducao/Pages/processoRegisto.aspx>
- [50] Enerwise. (2011, 4/11/2011). *Nova Legislação Microgeração*. Available: <http://www.enerwise.pt/index.php?id=21>
- [51] DGEG e Ministério da Economia e do Emprego. (2011, 22/1/2012). *Microprodução - Despacho DGEG de 26 de Dezembro de 2011*. Available: http://www.stgen.pt/1/upload/1_alocacao_de_potencia_2012_micro.pdf
- [52] Diário da República. (2010, 8/11/2011). *Decreto-Lei n.º 118-A/2010 - Resumo em linguagem clara*. Available: http://www.dre.pt/sug/1s/diplomas_resumo.asp?id=20102626&p=dn
- [53] Moreira, C., "PowerPoint sobre Remuneração da Produção Dispersa, FEUP," vol. Aula 1, 2010.
- [54] Santos, F., "Utilização de Energia Fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia," *Dissertação no âmbito do MIEEC da FEUP*, 2011.
- [55] Gomes, S., "Integração em Edifícios de um Sistema Fotovoltaico de Potência," *Dissertação no âmbito do MIEIG do IST*, 2009.
- [56] GREENPRO. (2004, 4/11/2011). *Energia Fotovoltaica Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*. Available: <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>
- [57] Deshmukh, M. K. e Deshmukh, S.S., "Modeling of hybrid renewable energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 235-249, 2008.
- [58] Nema, P., Nema, R.K. e Rangnekar, S., "A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009.
- [59] C. D. Barley, "Modeling and Optimization of Dispatch Strategies for Remote Hybrid Power Systems," *Mechanical Engineering: Colorado State University*, 1996.

- [60] Energy Savers. (2011, 6/10/2011). *Small "Hybrid" Solar and Wind Electric Systems*. Available: http://www.energysavers.gov/your_home/electricity/index.cfm/mytopic=11130
- [61] Sun & Climate. (6/10/2011). *Photovoltaic and wind hybrid system in Miami, Florida*. Available: <http://www.sunandclimate.com/applications/facilities/1-solar-power/130-wind-and-solar-power.html>
- [62] Himri, Y., Boudghene, A., Stambouli, Draoui, B., e Himri, S., "Techno-economical study of hybrid power system for a remote village in Algeria," *Energy*, vol. 33, pp. 1128-1136, 2008.
- [63] FF Solar - Energias Renováveis. (2011, 4/11/2011). *Sistemas autónomos*. Available: <http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=sistemas-autonomos>
- [64] Morais, J., *Sistemas Fotovoltaicos: da teoria à prática*: Edição do autor, 2009.
- [65] PVSYSY: *Software for photovoltaic systems*. (22/11/2011). Available: <http://www.pvsyst.com/>
- [66] PVGIS: *Photovoltaic Geographical Information System*. (16/11/2011). Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [67] SMA Solar Technology - *Sunny Design*. (16/11/2011). Available: <http://www.sma.de/en/products/software/sunny-design.html>
- [68] STGEN - *Soluções Globais de Energia*. (2012, 25/1/2012). Available: <http://www.stgen.pt/>

Anexo A

PVSYST V5.53		21/12/11	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Grid-Connected Project at Porto		
Geographical Site	Porto	Country	Portugal
Situation	Latitude 41.1°N	Longitude	8.4°W
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	100 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Porto, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	New simulation variant		
	Simulation date	21/12/11 15h54	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 30°	Azimuth 0°	
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	STP 225-20/Wd
	Manufacturer	Suntech	
Number of PV modules	In series	9 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	18	Unit Nom. Power 225 Wp
Array global power	Nominal (STC)	4050 Wp	At operating cond. 3606 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	240 V	I mpp 15 A
Total area	Module area	29.7 m²	
Inverter			
	Model	Sunny Boy SB 3800	
	Manufacturer	SMA	
Characteristics	Operating Voltage	200-400 V	Unit Nom. Power 3.80 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT 56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	270 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 0.1 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter 0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

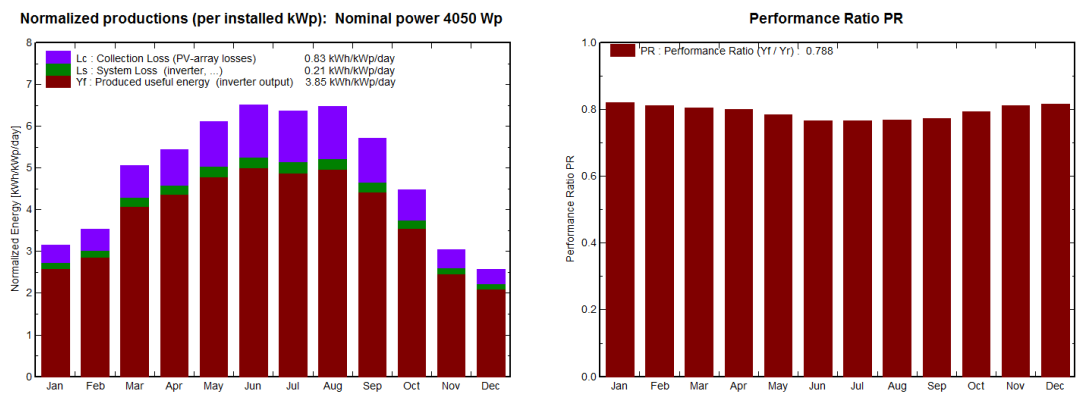
Figura A.1 - Folha de características (1/3) do sistema fotovoltaico ligado à rede no Porto.

Grid-Connected System: Main results

Project : Grid-Connected Project at Porto
Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	30°	azimuth -1°
PV modules		Model	STP 225-20/Wd	Pnom 225 Wp
PV Array		Nb. of modules	18	Pnom total 4050 Wp
Inverter		Model	Sunny Boy SB 3800	Pnom 3800 W ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results
 System Production **Produced Energy 5.69 MWh/year** Specific prod. 1404 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR **78.8 %**



New simulation variant Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	%	%
January	60.0	9.30	97.7	94.8	0.343	0.325	11.79	11.18
February	71.0	10.10	98.8	95.9	0.344	0.325	11.69	11.07
March	126.0	11.50	156.9	152.4	0.539	0.512	11.57	10.98
April	151.0	12.90	163.4	158.5	0.558	0.530	11.49	10.92
May	193.0	15.10	189.3	183.0	0.633	0.601	11.25	10.68
June	208.0	18.10	195.6	189.0	0.640	0.608	11.01	10.45
July	206.0	19.90	197.5	191.2	0.646	0.614	11.00	10.45
August	192.0	19.80	200.8	195.0	0.657	0.624	11.01	10.46
September	145.0	19.00	171.6	166.9	0.566	0.538	11.09	10.54
October	101.0	16.20	139.0	135.1	0.471	0.447	11.39	10.82
November	60.0	12.30	91.2	88.5	0.316	0.300	11.67	11.06
December	48.0	9.90	79.5	77.0	0.279	0.263	11.79	11.14
Year	1561.0	14.53	1781.4	1727.3	5.992	5.687	11.31	10.74

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
 GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area

Figura A.2 - Folha de características (2/3) do sistema fotovoltaico ligado à rede no Porto.

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Grid-Connected Project at Porto

Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth -1°
PV modules	Model	STP 225-20/Wd	Pnom 225 Wp
PV Array	Nb. of modules	18	Pnom total 4050 Wp
Inverter	Model	Sunny Boy SB 3800	Pnom 3800 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Loss diagram over the whole year

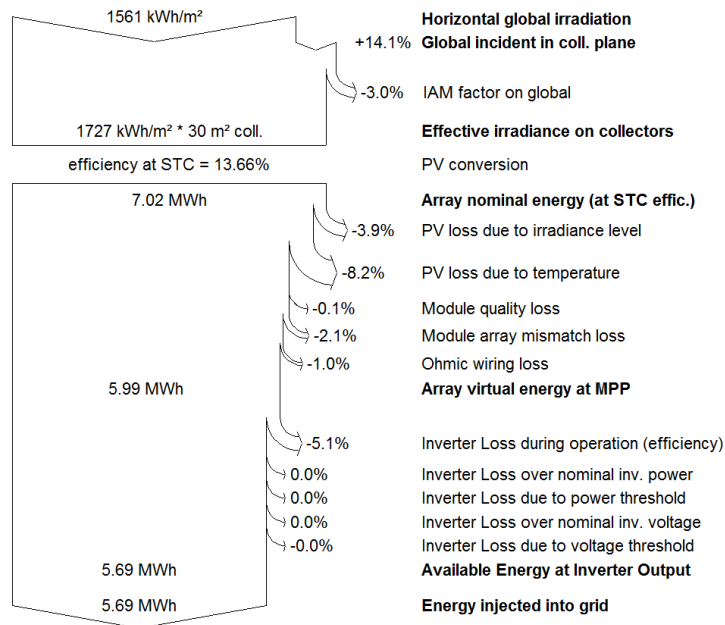


Figura A.3 - Folha de características (3/3) do sistema fotovoltaico ligado à rede no Porto.

Lista de verificação:

Ficheiro de projecto: Ainda não foi memorizado nenhum ficheiro com esta configuração.

Resumo do sistema

Inversor: 1 x Sunny Boy SB 3800/V 0153

Local de instalação: Portugal / Porto

Temperaturas dos módulos fotovoltaicosMódulo FV

Mínima temperatura fotovoltaica: -10°C

S-Energy

Temperatura de dimensionamento: 50°C

SM-225PA2

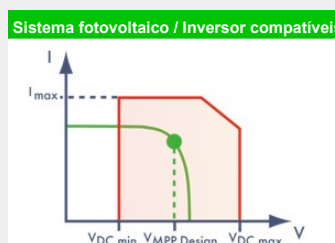
Máxima temperatura fotovoltaica: 70°C

Inclinação: 30° (Optimizado)

Azimute: 0°

Dados estruturais

Potência de pico do gerador fotovoltaico	4,05 kW
Superfície do gerador FV	29,0 m ²
Número de inversores	1
Potência CC máx.	3,91 kW
CA máx. Potência de rendimento	3,68 kW
Tensão de rede (ou seja, tensão no ponto de alimentação)	230 V
Número total de módulos	18
Coefficiente da potência nominal	97 % (ok)
String A:	
Potência do string (entrada)	4,05 kW
Proporção da potência (entrada)	100 %
Tensão MPP no string no 15°C	274 V (ok)
Tensão MPP no string no 50°C	233 V (ok)
Tensão MPP no string no 70°C	210 V (ok)
Tensão MPP mín., tensão de rede definida: 230 V	200 V
Tensão de circuito aberto do string no -10°C	373 V (ok)
Tensão CC máx. admissível (Inversor)	500 V
Corrente máx. do gerador fotovoltaico	15,5 A (ok)
Corrente CC máx. admissível	20,0 A
N.º de strings (3 entradas)	2
N.º de módulos por string mín=9; máx=12	9



No caso de uma tensão de rede aumentada é possível que, com uma temperatura elevada do módulo, o ponto de trabalho actual do gerador FV possa divergir ligeiramente do seu MPP. Por essa razão, este dimensionamento apenas é recomendado, quando a tensão de rede média esperada no inversor não excede o valor utilizado no cálculo.

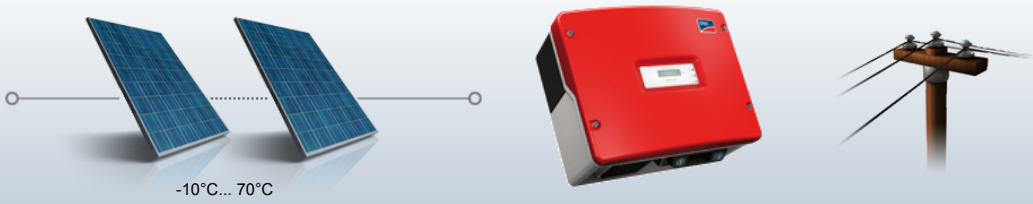
Soluções

- Seleccionar outro tipo de módulo
- Seleccionar outros inversores

V1.57

Figura A.4 - Lista de verificação extraída do Sunny Design.

Resumo do sistema (Portugal / Porto)



String A	Inversor
S-Energy	1 x Sunny Boy SB 3800/V 0153
SM-225PA2	Eficiência máx.: 95,6 %
Módulos x string:	grau de rendimento europeu: 94,7 %
9 x 2	Potência CA máx.: 3,68 kW
Inclinação / azimute:	Potência CC máx. : 3,91 kW
30° / 0°	Cabo CA (por inversor): 2,5mm ² ; 10,0m
Cabo CC (Ø / comprimento total, por string):	
2,5mm ² ; 16,0m	

Dados estruturais
Potência de pico do gerador fotovoltaico: 4,05 kW
Número total de módulos: 18
Superfície do gerador FV: 29,0 m ²
Número de inversores: 1
Potência CC máx. : 3,91 kW
CA máx. Potência de rendimento : 3,68 kW
Factor de eficiência do inversor: 94,5 %

Coefficiente da potência nominal: 97 %
Rendimento energético anual (aprox.) *: 5528 kWh
Factor de eficiência da energia: 100,0 %
Taxa de desempenho (aprox.) *: 82 %
Rendimento energético espec. (aprox.) *: 1365 kWh/kWp
Perdas de cabo (% de energia fotovoltaica): 0,9 %

Assinatura ' _____

* Aviso importante: O cálculo do rendimento baseia-se em valores estimados decorrentes de modelos matemáticos. A SMA não se responsabiliza pelo rendimento energético real, que pode ser diferente devido a várias influências ambientais, como, p. ex., a poluição dos módulos ou a flutuação da eficiência dos módulos.

Figura A.5 - Resumo do sistema extraído do *Sunny Design*.



SM-XXXPA8 Series

245 ~ 200Watt Photovoltaic Module

Performance

Rated power (Pmax)	245~200W
Power tolerance	0~3%
Nominal voltage	24V
Limited Warranty	30 years



Electrical Characteristics

Model	245PA8	240PA8	235PA8	230PA8	225PA8	210PA8	205PA8	200PA8
Voltage at Pmax (Vmp)	30.1V	29.8V	29.6V	29.4V	29.2V	26.7V	26.4V	26.1V
Current at Pmax (Imp)	8.14A	8.08A	7.95A	7.84A	7.72A	7.89A	7.78A	7.67A
Warranted minimum Pmax	245W	240W	235W	230W	225W	210W	205W	200W
Short-circuit current (Isc)	8.67A	8.63A	8.56A	8.45A	8.34A	8.51A	8.39A	8.29A
Open-circuit voltage (Voc)	37.5V	37.4V	37.1V	36.9V	36.7V	33.3V	33.1V	32.8V
Temperature coefficient of Isc	0.04%/°C	0.04%/°C	0.04%/°C	0.04%/°C	0.04%/°C	0.04%/°C	0.04%/°C	0.04%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.32%/°C	-0.32%/°C	-0.32%/°C	-0.32%/°C	-0.32%/°C	-0.32%/°C	-0.32%/°C	-0.32%/°C
Temperature coefficient of power	-0.35%/°C	-0.35%/°C	-0.35%/°C	-0.35%/°C	-0.35%/°C	-0.35%/°C	-0.35%/°C	-0.35%/°C
NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/°C; Wind 1m/s)	47±2°C	47±2°C	47±2°C	47±2°C	47±2°C	47±2°C	47±2°C	47±2°C
Maximum series fuse rating	10A	10A	10A	10A	10A	10A	10A	10A
Maximum system voltage	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V
Module efficiency	15.43%	15.12%	14.80%	14.49%	14.17%	14.68%	14.33%	13.98%
Dimensions	1620mm x 980mm Depth:50mm				1460mm x 980mm Depth:50mm			
Weight	19Kg				18Kg			
Solar cells	60 cells (6 x 10 matrix)				54 cells (6 x 9 matrix)			

Mechanical Characteristics

Frame	Static load : 8,000Pa (816Kg/m ²) ; Color: Silver/Black ; Anodizing thickness 16µm
Output Cables	RHW-2, 12AWG (4mm ²) cable with polarized weatherproof DC rated connectors; Cable length-1000mm (+ -)
Construction	Front : High-transmission 3.2mm low iron tempered glass; White back sheet; Encapsulant; EVA

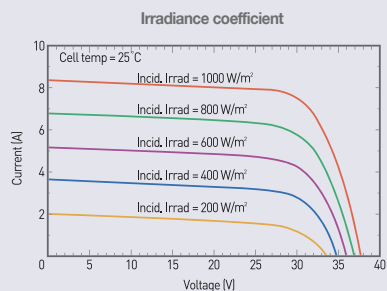
- Warrant : Power output for 30 years (90% of minimum output power per 10 years, 80% of minimum output power per 30 years).
Freedom from defects in materials and workmanship for 10 years.
- These data represent the performance of typical SM-XXXPA8 Series products, and are based on measurements made in accordance with ASTM E1038 corrected to SRC (STC)

Figura A.6 - Datasheet do painel fotovoltaico S-Energy SM225 (1/2).

Quality Assurance

S-Energy photovoltaic modules have passed the following tests,

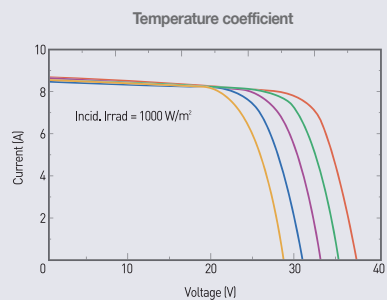
Thermal shock / cycling test	Mechanical loading test
UV preconditioning test	Hot-spot endurance test
Humidity - Freeze test	Water proof test
Electrical insulation test	Outdoor exposure test
Damp-heat test	Hail impact test



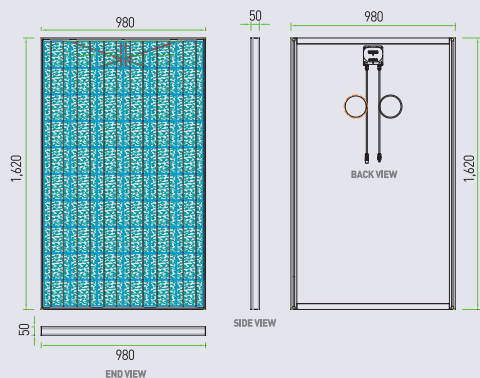
Qualification Test Parameters

Tests are proceeded by IEC 61215 standard,

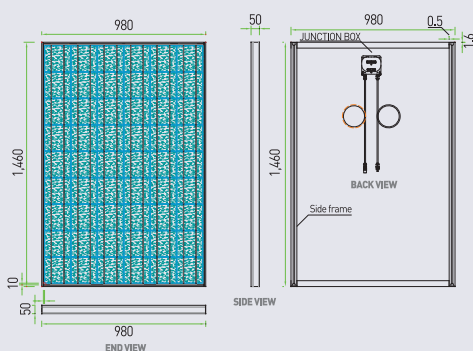
Thermal cycling range	-40°C to +85°C
Humidity freeze, damp heat	85% RH
Static load front and back	8,000Pa (816Kg/m²)
Hailstone impact	25mm at 23 m/s
STC	1000W/m² ; 25°C ; AM 1.5



Module Diagram



Module : SM-245PA8, SM-240PA8, SM-235PA8,
SM-230PA8, SM-225PA8



Module : SM-210PA8, SM-205PA8, SM-200PA8

NOTE : This publication summarizes product warranty and specification, which are subject to change without notice

S-ENERGY

E-mail : inquiry@s-energy.co.kr

TEL : +82-2-801-7100 / FAX : +82-2-801-8788

Address: 10th Fl, E&C Venture Dream Tower VI, 197-28 Guro-dong, Guro-gu, Seoul, Korea

Figura A.7 - Datasheet do painel fotovoltaico S-Energy SM225 (2/2).