

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Diogo Mateus, pelo acompanhamento, orientação, interesse e disponibilidade, manifestados ao longo da realização deste trabalho.

À minha irmã Paula, pelo seu apoio.

Ao meu filho João, sobretudo pela generosidade com que me acolheu no seu universo académico.

RESUMO

A preservação do planeta, que é crucial para a nossa sobrevivência, passa também pela redução das emissões de CO₂, produzidas pelos combustíveis fósseis e que provocam efeito de estufa. Mas não se trata apenas de ser melhor para o planeta, a verdade é que os combustíveis fósseis disponíveis estão à beira de se esgotarem. Portanto se quisermos manter a nossa vida tal como a conhecemos, completamente dependente da energia, temos de procurar novas fontes, como sejam as renováveis.

No presente trabalho traça-se o panorama da situação energética europeia e portuguesa, são abordadas as várias fontes de energia renovável, em particular a energia fotovoltaica, a legislação que a protege e regulamenta e a sua aplicação nos edifícios residenciais. É analisado o desempenho de módulos fotovoltaicos fazendo variar a orientação e é estudada a sua contribuição para o comportamento térmico de uma moradia de acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Estima-se ainda o período de retorno e o valor atualizado líquido esperado para pequenas centrais fotovoltaicas domésticas.

ABSTRACT

The preservation of the planet, crucial to our survival, entails the reduction of CO₂ emissions, produced by fossil fuels that cause greenhouse effect. But it is not only for the sake of the planet; the reality is that the availability of fossil fuels is close to an end. Therefore, if we want to keep our life as we know it, completely dependent on energy, we must seek new sources such as the renewable ones.

This work makes an overview of both the European and Portuguese energetic situation and the various sources of renewable energy, particularly photovoltaic's, as well as the legislation that protects and regulates it and its application in residential buildings. It analyzes the performance of photovoltaic modules by changing their orientation and studies their contribution to a house's thermal behavior in accordance with the Regulation of the Thermal Behaviour Characteristics of Buildings (RCCTE). It is also estimated the payback period and net present value expected for small domestic photovoltaic installations.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	ix
SIMBOLOGIA	x
ABREVIATURAS	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 SITUAÇÃO ENERGÉTICA e ENERGIAS RENOVÁVEIS	4
2.1 Situação Energética em Portugal e na União Europeia	4
2.2 Edifícios Consumidores e Produtores de Energia.....	6
2.2.1 Eficiência Energética.....	8
2.2.2 Enquadramento Legal da Produção Descentralizada	8
2.2.3 Benefícios Fiscais.....	9
2.2.4 Microprodução	10
2.3 Fontes de Energias Renováveis	11
2.3.1 Energia Hídrica	12
2.3.2 Energia Eólica	12
2.3.3 Energia Solar	13
2.3.4 Energia Geotérmica.....	13
2.3.5 Bioenergia	13
2.4 Comentário.....	14
3 ENERGIA EÓLICA	15
3.1 O Vento como Fonte de Energia.....	15

3.2 Caracterização dos Locais	15
3.3 Tipos de Turbinas Eólicas.....	17
3.4 Microgeradores Eólicos	18
3.5 Comentário.....	19
4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	20
4.1 O Sol Como Fonte de Energia	20
4.2 Sistemas Fotovoltaicos	22
4.2.1 Células Fotovoltaicas	22
4.3 Montagem e Integração dos Módulos Fotovoltaicos	25
4.4 Comentário.....	28
5 CENTRAL FOTOVOLTAICA DOMÉSTICA – CASO DE ESTUDO.....	29
5.1 Apresentação da Moradia	29
5.2 Avaliação Prévia da Produção de Módulos Fotovoltaicos	30
5.2.1 Escolha do Inversor.....	30
5.2.2 Representação de Ângulos de Orientação	31
5.2.3 Comportamento de Painéis PV	32
5.2.4 – Estudo do Painel Fotovoltaico Colocado na Moradia.....	37
5.3 Avaliação da Contribuição de Coletores Solares Térmicos.....	39
5.4 Desempenho Térmico da Moradia.....	41
5.4.1 Balanço Energético	41
5.4.2 Necessidades Nominais de Energia.....	45
5.5 Estimativa Económica	47
5.5.1 Valor Atual Líquido (VAL)	47
5.5.2 Comentário.....	51
6 CONCLUSÕES.....	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
7.1 Outras Referências	56
ANEXO A – Alguns Conceitos	57
ANEXO B – Moradia e Definição da Envolvente.....	59
ANEXO C – Exemplo de Relatório Fornecido pelo PVSYST 5.0	63

ANEXO D – Curvas de produção anual em função da orientação e inclinação.....	66
ANEXO E – Resultados para gerador com 2,25kWp colocado em várias posições e em várias zonas climáticas	67
ANEXO F – Resumo dos cálculos e das necessidades de energéticas sem a contribuição de Eren.exc	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Dependência energética total na EU (%). [Eurostat]	4
Figura 2.2 – Mix energético em Portugal em 2008. [DGEG e ADENE 2011]	4
Figura 2.3 – Percentagem de energias renováveis relativamente à energia final em 2005, 2009 e metas para 2020. [REN21].....	5
Figura 2.4 – Cenário da produção de eletricidade na EU até 2050. [TRANS-CSP, 2006]	6
Figura 2.5 – Cenário da produção para Portugal, até 2050. [TRANS-CSP, 2006]	6
Figura 3.1 – Carta do vento europeia. Fonte: http://www.windatlas.dk	16
Figura 3.2 – Carta do vento [SNIG]	16
Figura 3.3 – Turbulência do vento. [Electronia@].....	17
Figura 3.4 – Esquema de uma turbina eólica de eixo horizontal. [Castro, 2009].....	18
Figura 3.5 – Turban [Castro, 2009]	18
Figura 3.6 – Microgerador de eixo vertical [sasenergia@]	18
Figura 3.7 – Microgerador de eixo vertical. Cabo Verde, 500W. [Castro, 2009].....	19
Figura 3.8 – Microgerador de eixo vertical. Holanda, 5kW [Castro, 2009].....	19
Figura 4.1 – Potencial de energia solar fotovoltaica nos países europeus. [IET].....	20
Figura 4.2 - Potencial de energia solar fotovoltaica em Portugal. [IET].....	21
Figura 4.3 – N° de horas de insolação anuais. [SNIAMB@]	21
Figura 4.4 – Configuração de um sistema PV. [Renováveis Magasine].	22
Figura 4.10 – Células com várias colorações. [Sunways]	26
Figura 4.11 – Módulos em fachadas. [Sunways].....	26
Figura 4.12 – Células que deixam passar 18% da luz solar. [Sunways]	26
Figura 4.15 – Pormenores de solução integrada em cobertura inclinada. [SolarWorld].....	27
Figura 4.16 – Solução de revestimento de paredes, como elementos descontínuos. [Energia PV, Manual Tecnologias, 2004]	27
Figura 4.17 – Edifício Solar XXI e o parque de estacionamento. [Rodrigues, 2008]	28
Figura 4.18 – Circulação de ar no edifício Solar XXI. (Arq. Pedro Cabrita) [Rodrigues, 2008]	28
Figura 5.1 – Ângulos que definem a orientação do sol e de coletores. [Energia PV, Manual Tecnologias, 2004]	32
Figura 5.2 – Planificação do horizonte. [SolTerm]	32
Figura 5.4 – Produção AC, quando se faz variar inclinação a).	36
Figura 5.5 – Produção AC, quando se faz variar o azimute b).	36

Figura 5.6 – Variação da produção elétrica para um painel sc-Si com 2,25 kWp, em Coimbra.	38
Figura 5.10 – Orientações da moradia.....	41
Figura 5.11 – Distribuição da energia produzida, por um painel PV colocado em seguidor solar e por um coletor solar térmico colocado sobre a cobertura plana, orientado a sul e com inclinação de 34°.....	44
Figura 5.12 - Distribuição da energia produzida, por um painel PV colocado sobre a água da cobertura inclinada, orientado a sul com inclinação de 22° e por um coletor solar térmico colocado sobre a cobertura plana, orientado a sul e com inclinação de 34°.....	44
Figura 5.13 – Representação da evolução do VAL para uma potência pico de 4,14kW.	50
Figura 7.14 – Evolução do VAL para módulos com 2,25kWp, em seguidor solar, à esquerda e fixos, com 22° de inclinação, à direita.	50
Figura B.1 – Alçado Principal	59
Figura B.2 – Alçado Posterior	59
Figura B.3 – Alçado lateral esquerdo	59
Figura B.4 – Alçado lateral direito	59
Figura B.5 – Planta da cobertura	59
Figura B.6 - Código das cores e padrão utilizado nas plantas e cortes seguintes.....	60
Figura B.7 -Pavimento e paredes do rés-do-chão.....	60
Figura B.8 – Cobertura do rés-do-chão	60
Figura B.9 – Pavimento e paredes do andar	60
Figura B.10 – Cobertura do andar	60
Figura B.11 – Corte 1-1	61
Figura B.12 – Corte 2-2.....	61
Figura B.13 – Corte 3-3.....	61
Figura B.14 – Corte 4-4.....	61
Figura B.15 – Envoltente exterior da parede rebocada.....	62
Figura B.16 – Envoltente exterior da parede revestida a tijolo maciço.....	62
Figura B.17 - Pavimento sobre o desvão sanitário	62
Figura B.18 - Cobertura de envoltente exterior	62
Figura D.1 – 90° de inclinação, sul.....	66
Figura D.2 – 35° de inclinação, Sul	66
Figura D.3 – 20° de inclinação, Sul	66
Figura D.4 – 35° de inclinação, Este	66

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tarifário em regime bonificado	11
Quadro 5.1 – Altitude e Dados Climáticos.....	29
Quadro 5.2 – Produção de módulos PV	33
Quadro 5.3 – Variação de produção de painel vertical variando azimute.....	34
Quadro 5.4 – Redução da produção AC ao aplicar sombreamento do horizonte.....	34
Quadro 5.5 – Variação de: a) inclinação; b) azimute; c) nº de módulos	35
Quadro 5.6 - Produção de Coletores Solares Térmicos.....	40
Quadro 5.7 – Resultados integrados na análise térmica pelo RCCTE, em Coimbra	42
Quadro 5.8 – Resultados integrados, obtidos com o alçado principal da moradia orientado a sul.	43
Quadro 5.9 – Valores das necessidades de energia nominais e limite para PV em seguidor solar e PS na água orientada a sul.....	46
Quadro 5.10 – Valores das necessidades de energia nominais e limite para PV fixo na água orientada a sul, com e PS na cobertura plana, orientado a sul, com 34° inclinação	47
Quadro 5.11 – Tarifas bonificadas e de compra.....	48
Quadro 5.12 – Estimativa do VAL para uma central com 4,14 kWp, em seguidor solar	49

SIMBOLOGIA

A_p – Área útil de pavimento

E_{solar} – Energia produzida pelos coletores solares térmicos

E_{ren} – Energia fotovoltaica que contribui para preparação de AQS

$E_{ren.exc}$ – Energia fotovoltaica excedente, que não foi utilizada (em AQS) e que vai ser usada para as necessidades de aquecimento e arrefecimento

F_{pu} – Fatores de conversão entre energia útil e energia primária

kgep – quilograma equivalente de petróleo

ktep – quilo tonelada equivalente de petróleo

kWp – quilo Watt de potência pico (ver Anexo A)

N_{ic} – Indicador das necessidades nominais específicas de energia útil para aquecimento

N_{vc} – Indicador das necessidades nominais específicas de energia útil para arrefecimento

N_{ac} – Indicador das necessidades nominais específicas (por unidade de área útil de pavimento) de energia útil para aquecimento de águas sanitárias

N_i , N_v e N_a – Valores limites máximos para as necessidades nominais específicas

η – rendimento (ver Anexo A)

Wp – Watt-pico. Esta designação frequentemente e erradamente utilizada para designar potência de pico. Deve dizer-se potência de pico de 10W e não potência de 10Wp.

kWh – quilo Watt hora. Unidade de Energia (ver Anexo A)

ABREVIATURAS

AC – Corrente alternada

AQS – Águas Quentes Sanitárias

a-Si – Silício amorfo

BIPV – “Building Integrated Photovoltaic”

CE - Certificado Energético

CIS ou CIGS – Células fotovoltaicas com os constituintes Cobre, Índio, Gálio, Selénio

CSP – “Concentrating Solar Power”, Centrais solares termoelétricas de concentração

DC – Corrente contínua

DCR - Declaração de Conformidade Regulamentar (Certificação energética em fase de projeto)

DL – Decreto-Lei

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

IET - Institute for Energy and Transport

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

LNEG – Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia

mc-Si – Silício poli-cristalino ou multi-cristalino

MIT – Massachusetts Institute of Technology

MPPT – “Maximum Power Point Tracking”

Sc-Si – Silício mono-cristalino

PEC – Parlamento Europeu e do Conselho

PV – Fotovoltaico (foi adotada a abreviatura internacional de Phtovoltaic)

RCM – Resolução do Conselho de Ministros

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética

sc-Si – Silício mono-cristalino

SNIG – Sistema Nacional de Informação Geográfica

SRM – “Sistema de Registo da Microprodução que constitui uma plataforma eletrónica de interação entre a Administração Pública e os produtores, acessível através do Portal Renováveis na Hora”. (DL 118-A/2010)

1 INTRODUÇÃO

A energia é, talvez, o bem mais precioso da sociedade moderna e é, sem dúvida, o motor da sociedade tal como hoje a conhecemos. Porém, as nossas principais fontes energéticas têm sido, nos últimos anos (século), os combustíveis fósseis que estão à beira de se esgotarem. Em poucos anos gastou-se a energia que a terra levou milhares de anos a armazenar. Já se utilizaram mais de metade dos combustíveis fósseis disponíveis e cada vez mais se torna necessária maior quantidade de energia para produzir a energia que consumimos pelo que, dentro em breve, a sua extração deixará de ser rentável. A produção de energia a partir dos combustíveis fósseis, seja ela para uso nas habitações, nas indústrias ou nos transportes, é responsável pela maioria das emissões de CO₂ que provocam o efeito de estufa que está a conduzir ao aquecimento do planeta. A energia nuclear, embora não produza CO₂, cria resíduos radioativos de difícil tratamento.

Brundtland, primeira ministra da Noruega, no relatório elaborado, em 1987, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, propôs uma definição de desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem as suas necessidades.

Talvez ainda estejamos a tempo de enveredar por outro caminho, pois temos a oportunidade e o conhecimento que permitirão determinar como alimentar energeticamente o nosso futuro, criando novos recursos e soluções. Soluções estas que não serão necessariamente únicas, uma vez que a diversificação é provavelmente a melhor alternativa.

A ameaça de aquecimento global associada às emissões de CO₂, bem como as sucessivas crises petrolíferas, que provocaram um enorme aumento de preços, a par com a consciência crescente da natureza finita dos combustíveis fósseis - carvão, petróleo e gás natural - fazem com que se procure nas energias renováveis uma alternativa e uma solução para a profunda dependência energética dos tempos modernos.

Em 1997, foi assinado em Quioto, por 36 países industrializados, um tratado segundo o qual os países se comprometeram a reduzir as emissões de gases que provocam efeito de estufa. A União Europeia, para cumprir o Protocolo de Quioto, previu, entre 1999 e 2012, uma redução de 8% e, no seguimento de outros compromissos assumidos a nível comunitário e

internacional, tem vindo a publicar Diretivas com o intuito de reduzir a produção de gases com efeito de estufa.

Neste contexto, a Diretiva 2002/91/CE, DE 16 DE Dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho, impôs aos Estados membros o estabelecimento de regulamentos que melhorem o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados e a obrigatoriedade de algumas medidas como seja, por exemplo, a instalação de painéis solares para produção de água quente sanitária (AQS). Esta diretiva foi parcialmente transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei (DL) n.º 80/2006, de 4 de Abril, que publicou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Recentemente o Parlamento Europeu e o Conselho (PEC) vão ainda mais longe lançando novas imposições:

- A Decisão n.º 406/2009/CE do PEC, determinou que os estados membros se comprometam a reduzir coletivamente, e relativamente aos valores de 1999, as suas emissões de gases com efeito de estufa em cerca de 30% até 2020 e em 60 a 80% até 2050, relativamente ao mesmo ano de 1990, de modo a permitir a sua estabilização a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa no sistema climático;
- A Diretiva 2009/28/CE do PEC, considera que, para atingir estes objetivos, dever-se-á controlar o consumo de energia na Europa, apostando na sua poupança, na utilização crescente de energia proveniente de fontes renováveis (incentivando sua produção descentralizada) e aumentando a eficiência energética.

O objetivo desta dissertação é o estudo da produção de energia descentralizada proveniente de fontes de renováveis, nomeadamente o desempenho de sistemas de microprodução, que, por definição, são vocacionados sobretudo para edifícios residenciais. Será orientada para a produção de energia através de módulos fotovoltaicos sendo, neste campo, que se apresentará uma apreciação da sua contribuição no âmbito do RCCTE, mediante a avaliação da produção de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos aplicada a um caso de estudo, implantado em distintas zonas climáticas, dentro do território nacional.

Encontra-se dividida em seis capítulos, a começar pela Introdução, em que se apresenta o tema, os objetivos do trabalho, a sua estrutura e o seu conteúdo.

No segundo capítulo, para além de se fazer uma síntese do panorama energético europeu e português e da evolução e metas esperadas, sintetiza-se o enquadramento legal dos edifícios enquanto consumidores e produtores de energia, referindo-se, em particular, a regulamentação

da microprodução de eletricidade a partir de recursos renováveis e apresenta-se uma introdução ao conceito de energias, com referências às suas fontes.

No terceiro capítulo aborda-se a energia eólica, o que é, quais os melhores lugares de implantação, e os tipos mais comuns de geradores domésticos.

O tema do quarto capítulo é a energia solar fotovoltaica, sendo referidos o potencial europeu e português de produção, a constituição e integração dos sistemas fotovoltaicos nos edifícios e os tipos de célula já existentes no mercado e em fase de desenvolvimento.

O quinto capítulo analisa a produção energética de módulos fotovoltaicos, comparando o seu posicionamento, orientação, e, para uma mesma moradia, implantada sucessivamente em Coimbra, Figueira da Foz, Bragança, Guarda, Castelo Branco, Évora e Faro, estuda o desempenho na sua contribuição para o comportamento térmico, no âmbito do RCCTE, tendo em consideração a existência de coletores solares. Faz ainda uma breve análise da sua viabilidade económica.

Termina-se com a síntese das conclusões e objetivos atingidos, bem como se referem as limitações deste trabalho e se deixam algumas sugestões para desenvolvimentos futuros nesta área temática.

2 SITUAÇÃO ENERGÉTICA E ENERGIAS RENOVÁVEIS

2.1 Situação Energética em Portugal e na União Europeia

Segundo os dados do Eurostat, a dependência energética na união europeia, entre 1999 e 2009, aumentou de 45,1% para 53,9% (figura 2.1) e em Portugal, embora o consumo final tenha aumentado, a dependência energética total exterior decresceu de 87,5% para 80,9%, sendo a principal fonte de energia o petróleo e os seus derivados. Contudo, a produção interna baseou-se, exclusivamente, em fontes de energias renováveis, fundamentalmente hídrica e eólica (considerando as grandes hídricas como renováveis). Em 2009 o consumo total foi de 24969 ktep e a produção proveniente de energias renováveis foi de 4886 ktep (cerca de 19%). A figura 2.2 mostra o peso de cada fonte de abastecimento de energia primária em 2008.

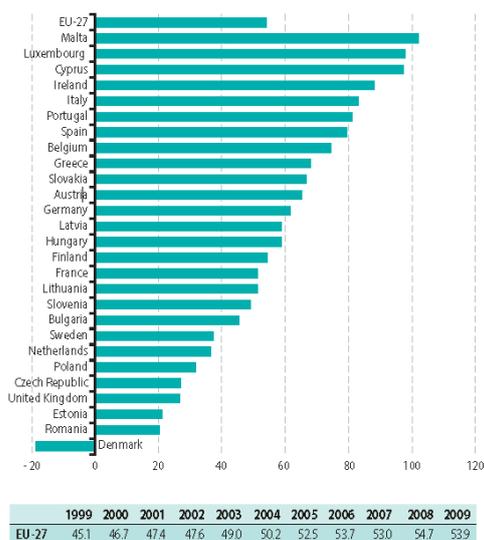


Figura 2.1 – Dependência energética total na EU (%). [Eurostat]

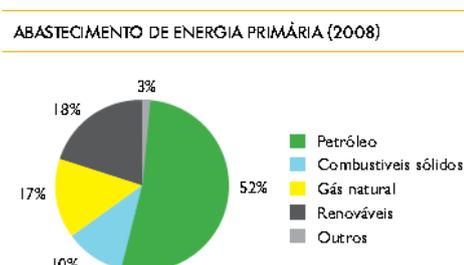


Figura 2.2 – Mix energético em Portugal em 2008. [DGEG e ADENE 2011]

Se nos referirmos apenas a eletricidade, a presença de renováveis representava, na Europa, 13,2% em 1999 e 18,2% em 2009. Em Portugal subiu de 20,4% em 1999 para 33,3% em 2009.

As metas propostas para a União Europeia, em 2010, eram de 40 GW para energia Eólica e 3 GW de potência pico para energia fotovoltaica e foram ultrapassadas, com 86 GW e 29 GW respetivamente. As metas definidas pela União Europeia para energias renováveis no ano de 2020 encontram-se na figura 2.3, retirada do relatório da REN21.

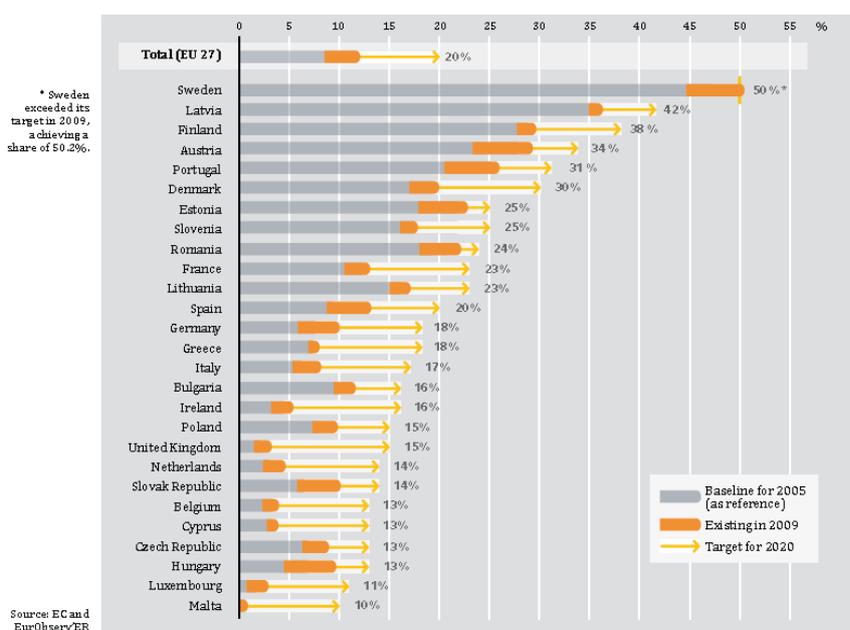


Figura 2.3 – Percentagem de energias renováveis relativamente à energia final em 2005, 2009 e metas para 2020. [REN21]

Portugal, de acordo com a Diretiva 2009/28/CE, transposta parcialmente pela ordem jurídica interna através do DL n.º 141/2010, de 31 de Dezembro, deverá, até 2020, aumentar a utilização de energias renováveis em 31%, ou seja 60% da eletricidade produzida, e reduzir o consumo de energia primária em 20% (Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010).

É importante aumentar a percentagem de energias renováveis no *mix* energético pois, não só, temos a obrigação de proteger o ambiente, cuja degradação é acentuada pelo uso de combustíveis fósseis, como, por outro lado, devemos assegurar a diversidade e segurança no fornecimento de energia. Para o que é vital gerir adequadamente os fluxos de produção, pois, no que diz respeito ao abastecimento de energia elétrica, em cada instante, a produção de eletricidade tem de ser exatamente igual ao consumo acrescido das perdas, uma vez que a energia elétrica não pode ser armazenada. Os recursos hídricos, por exemplo, podem funcionar como complemento e como armazenamento da energia proveniente de outras fontes flutuantes, embora existam variações sazonais. Como o padrão de produção de energia é

altamente variável no tempo, é necessário que o sistema seja composto de um mix energético que em cada instante possa colmatar, por exemplo a falta de vento ou de sol.

Deve notar-se que, embora a União Europeia seja hoje uma das regiões do planeta mais eficientes energeticamente, espera tornar-se cada vez mais eficiente. O relatório “Trans-Mediterranean Interconnection for Concentration-Solar Power (2006) aponta para que, em 2050, a percentagem de energias renováveis na Europa seja de 80%, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis para os raros momentos em que o fornecimento de energia renovável e o consumo de energia elétrica não coincidam. Sendo a eletricidade proveniente sobretudo de fontes renováveis e domésticas, diminui substancialmente a importação. As figuras 2.4 e 2.5 estimam a percentagem das fontes de energia elétrica para a união europeia e para Portugal, respetivamente.

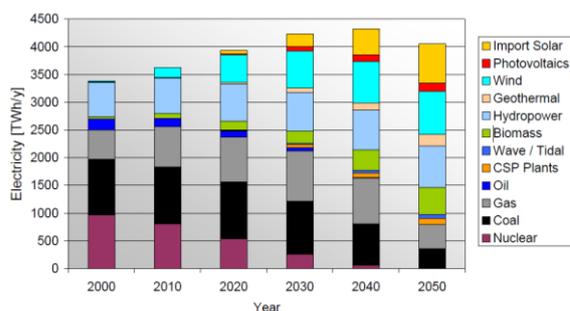


Figura 2.4 – Cenário da produção de eletricidade na EU até 2050. [TRANS-CSP, 2006]

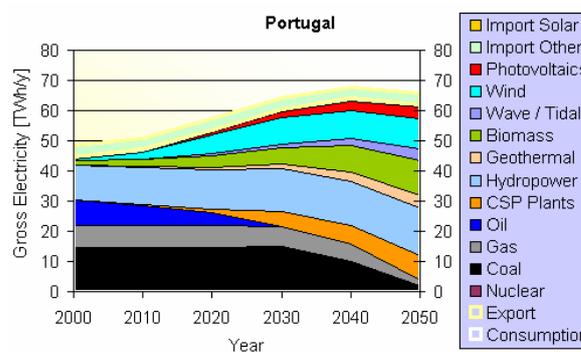


Figura 2.5 – Cenário da produção para Portugal, até 2050. [TRANS-CSP, 2006]

No sentido de atingir os valores estimados, os vários países da União Europeia estão a desenvolver políticas de apoio e incentivos para promover a instalação de equipamentos de produção que utilizem energias renováveis.

2.2 Edifícios Consumidores e Produtores de Energia

Os edifícios são responsáveis pelo consumo de cerca de 40% da energia total da União Europeia. O setor residencial em Portugal, em 2004, consumiu próximo de 17% em termos de energia primária total, representando 29% do consumo de eletricidade [Adene, 2011] e este valor tem vindo a aumentar nos últimos anos. Sendo esta uma parcela considerável, importa focar esforços no sentido não só de reduzir o seu consumo, implementando medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação, transporte e

utilização, como também de melhorar a eficiência energética dos edifícios e promover a utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), publicado pelo DL n.º 80/2006, de 4 de Abril, veio tornar mais exigente o grau de qualidade térmica dos edifícios de habitação ou pequenos edifícios de serviços, novos e reabilitados, implementando várias medidas como seja consagrar um modelo de certificação energética, tornando obrigatório o cumprimento de determinados requisitos energéticos, impondo limites máximos para as necessidades de aquecimento ou de arrefecimento e para a preparação de águas quentes sanitárias, impondo igualmente requisitos mínimos de qualidade para a envolvente, ou tornando, por exemplo, obrigatória a instalação de painéis solares para produção de água quente sempre que haja exposição solar adequada.

O Sistema de Certificação Energética (SCE) é assegurado por Peritos Qualificados, que antes da emissão da licença de utilização têm de verificar o cumprimento dos requisitos do RCCTE e se desenvolve em duas fases: ainda em projeto é necessária uma certificação energética em fase de projeto, Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR) e no final da obra, o Certificado Energético (CE).

A Diretiva 2010/31/UE do PEC reformula a Diretiva 2002/91/CE que esteve na base do RCCTE. A primeira, que deverá ser transposta para a legislação dos Estados-Membros, nomeadamente para a portuguesa, até 9 de Julho de 2012, “promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade”. Os Estados-Membros deverão elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, devendo o setor público dar o exemplo no domínio do desempenho energético dos seus edifícios, estabelecendo para eles objetivos mais ambiciosos. Assim, cada Estado deve assegurar que, até 31/12/2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia, mas se forem edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas essa data será encurtada para 31/12/2018.

Serão estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios ou das frações autónomas, a fim de alcançar níveis ótimos de rentabilidade entre os investimentos efetuados e os custos de energia economizados ao longo da vida útil do edifício ou seja níveis de eficiência ótimos em termos de minimização de custos. No entanto podem os Estados-Membros optar por níveis mais exigentes, tendo em conta a eficiência energética.

2.2.1 Eficiência Energética

A redução do consumo passa também por melhorar consideravelmente o desempenho energético e de sustentabilidade dos edifícios tomando medidas a nível da sua construção que maximizem os ganhos solares e minimizem as perdas. O conhecimento e aplicação de estratégias bioclimáticas são fundamentais na fase de conceção, procurando otimizar a orientação e localização, tirando partido da exposição solar, protegendo de ventos e condições climáticas difíceis. Para além disso, utilizando sistemas solares passivos adequados, protegendo do sol no verão ou conferindo uma inércia térmica suficiente, para evitar sobreaquecimento, melhorando o seu comportamento térmico, quer no momento da sua construção, quer reabilitando os edifícios existentes.

2.2.2 Enquadramento Legal da Produção Descentralizada

Entretanto, com vista a atingir as metas a alcançar, de 31% de energias renováveis no total de energia consumida, em 2020, tem sido produzida legislação nacional que contempla a produção de energia descentralizada, ou seja, também os particulares, em residências ou empresas podem produzir energia. Tem existido uma intenção de incentivar e incrementar a produção descentralizada de energia elétrica a partir de diversas fontes de energia renovável, baseada tanto em unidades de microprodução destinadas a residências ou pequenas empresas, como em unidades de miniprodução para potências um pouco maiores em contratos de baixa e média tensão, até 250 KW (RCM n.º 54/2010), desde que exista consumo efetivo de eletricidade no local da instalação. O regime jurídico da miniprodução de eletricidade que foi definido pelo *DL n.º 34/2011* de 8 de Março, visa complementar a microprodução, é vocacionado para o mercado empresarial (industrial e de serviços) e está dividido em três escalões distintos: até 20 kW, até 100kW e até 250kW.

O *Decreto-Lei n.º 189/88*, de 27 de Maio, com as suas sucessivas alterações (*DL n.º 168/99*, *DL n.º 339-C/2001*, *DL n.º 33-A/2005*, *DL n.º 225/2007* e *Portaria n.º 1057/2007*) e demais legislação subsequente, abriu caminho para a atividade de produção independente de energia mediante a utilização de recursos renováveis, combustíveis fósseis nacionais, resíduos industriais, agrícolas ou urbanos e instalações de co-geração, definindo por exemplo, a forma de faturação.

O *DL n.º 538/99* com as alterações introduzidas posteriormente alterações pelos *Decretos-Leis n.ºs 312/2001*, *313/2001* e *118-A/2010*, estabelece regras aplicáveis à produção simultânea, num processo integrado, de energias térmica e elétrica e/ou mecânica – cogeração, vindo o *DL 23/2010* a proceder ao enquadramento da atividade de produção em cogeração, estabelecendo o seu regime jurídico, determinando a tabela remuneratória e definindo igualmente duas modalidades, geral e especial, conforme a capacidade instalada.

A atividade de produção de eletricidade em baixa tensão para autoconsumo, com possibilidade de entrega de energia à rede pública, foi regulada inicialmente pelo *DL n.º 68/2002* de 25 de Março.

O *DL n.º 29/2006* estabeleceu dois regimes de produção de eletricidade, um em regime ordinário e outro especial. Ao regime especial corresponde a produção de eletricidade com incentivos à utilização de recursos endógenos e renováveis ou à produção combinada de calor e eletricidade.

O *DL n.º 363/2007*, alterado e republicado pelo *DL n.º 118-A/2010*, de 25 Outubro, define hoje o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de muito pequena potência (unidades de microprodução), procurando simplificar o regime de licenciamento e definir o sistema de faturação.

Tanto os regimes de microprodução como de miniprodução permitem vender a totalidade da eletricidade produzida à rede pública com tarifas bonificadas, desde que não ultrapasse um valor máximo.

O *DL n.º 50/2010* veio criar um Fundo para a Eficiência Energética (FEE) que tem por objetivos incentivar a eficiência energética por parte de cidadãos e das empresas, apoiar projetos e promover alteração de comportamentos, através por exemplo de incentivos destinados a aquisição de equipamentos com melhor desempenho energético.

2.2.3 Benefícios Fiscais

Embora a microprodução a partir de fontes renováveis tenha sido protegida e dinamizada, em 2010, através de incentivos fiscais consagrados no artigo 85º-A, do Código do Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Singulares (IRS), referente a deduções ambientais, reformulado em 8 de Junho pela Portaria 303/2010, este artigo foi revogado pela Lei 55-A/2010 (art.º 97.º), de 31-12-2010. A partir de 2011, a microgeração e aquisição de painéis solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias ou de climatização, equipamentos ou obras de melhoria das condições de comportamento térmico de edifícios, entre outros, deixaram de ser alvo de benefícios fiscais.

Porém, o rendimento resultante das unidades de microprodução fica excluído de tributação em IRS, desde que este montante seja inferior a 5000 € (*DL 363/2007*, alterado e republicado pelo *DL 118-A/2010*, art.º 12º, nº 6).

2.2.4 Microprodução

A microprodução consiste pois na produção descentralizada de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, no próprio local de consumo, reduzindo as perdas no transporte e distribuição. Os sistemas de microgeração mais correntes e em vias de sofrerem um forte desenvolvimento são os que recorrem a sistemas fotovoltaicos e a turbinas eólicas de pequena potência. Estes dois sistemas têm vindo a ser protegidos, devido ao seu carácter não poluente e porque oferecem, neste momento, uma tecnologia suficientemente madura. Embora o mini-hídrico possa ser interessante, obviamente a maioria dos edifícios não têm condições para o instalar.

Conforme anteriormente referido é o *DL n.º 363/2007* republicado pelo *DL 118-A/2010* de 25 de Outubro que estabelece o regime jurídico aplicável a unidades de microprodução de energia proveniente de fontes renováveis. De acordo com esta lei, a potência de ligação do inversor tem de ser inferior a 50% da potência contratada com a Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) (art.º 4º, c), com máximos de 5,75 kW, nas habitações ou pequenas empresas e de 11,04 kW para os condomínios que integrem pelo menos seis frações (art.º 3º). Embora se possa utilizar produção de eletricidade e calor em cogeração, “a microprodução tem de ter por base uma só tecnologia de produção elétrica” (art.º 3º, n.º3).

Caso se queira ter acesso ao regime bonificado, em alternativa ao regime geral, a potência de ligação não pode ser superior a 3,68 kW ou, no caso de condomínios, 11,04kW, (art.º 9º, n.º 2, a). É ainda necessário dispor de “coletores solares térmicos com um mínimo de 2 m² de área útil ou de caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente” (art.º 9º, n.º 2, c). A eletricidade vendida, por cada quilowatt instalado, é limitada a 2,4 MWh/ano caso a fonte de energia seja solar ou eólica e a 4 MWh/ano nos restantes casos (art.º 11º, n.º 7).

Têm acesso à microprodução todas as entidades que disponham de um contrato de fornecimento de eletricidade. As unidades de microprodução devem estar registadas no SRM (Sistema de Registo da Microprodução) que “constitui uma plataforma eletrónica de interação entre a Administração Pública e os produtores, acessível através do Portal Renováveis na Hora” (art.º 2º, n.º 1). Os registos em regime bonificado têm, em cada ano, um limite total de potência de ligação, tendo sido o valor máximo definido pelo DL anteriormente referido de 25 MW. Tanto esta quota de potência de ligação como as tarifas em regime bonificado são estabelecidas anualmente pelo diretor-geral da DGEG, até 31 Dezembro. Para 2012 a quota foi fixada em 10 MW (*Portaria n.º 284/2011*, de 28 de Outubro).

No regime bonificado a energia produzida é vendida à RESP a um preço superior ao de compra. A tarifa bonificada é aplicável durante um total de 15 anos, subdivididos em dois

períodos, de 8 e 7 anos, cada um. A partir do 16º ano aplica-se o regime geral, ou seja, o preço de venda igual ao preço de compra, sendo este, em 2012, de 0,18 €/kWh, acrescido de 23% de IVA.

Conforme se apresenta no quadro 2.1, em 2010 as tarifas bonificadas de referência, foram estabelecidas pelo mesmo DL, em 0,40 €/kWh para o 1º período e 0,24 €/kWh, para o 2º período. Ambas as tarifas seriam atualizadas anualmente com uma redução de 0,02 €/kWh, para os aderentes nesse ano civil. No entanto, em 28 de Outubro, a *Portaria n.º 284/2011*, veio alterar os valores previstos e fixar as tarifas de referência em 0,326 €/kWh e 0,185 €/kWh, respetivamente, sendo o valor da redução anual da tarifa de referência subsequente, de 0,054€/kWh, no primeiro período, e de 0,035€/kWh para o segundo período. Às tarifas de referência aplicam-se ainda percentagens redutoras que dependem do tipo de energia (ver quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Tarifário em regime bonificado

		Tarifário em [€/kWh]							
Ano de registo:		2010		2011		2012		2013	
Tecnologia de produção	% da tarifa de referência	1º período de 8 anos	2º período de 7 anos	1º período de 8 anos	2º período de 7 anos	1º período de 8 anos	2º período de 7 anos	1º período de 8 anos	2º período de 7 anos
Fotovoltaica	100%	0,400	0,240	0,380	0,220	0,326	0,185	0,272	0,150
Eólica	80%	0,320	0,192	0,304	0,176	0,261	0,148	0,218	0,120
Hídrica	40%	0,160	0,096	0,152	0,088	0,130	0,074	0,109	0,060
Co-geração a biomassa	70%	0,280	0,168	0,266	0,154	0,228	0,130	0,190	0,105

A qualquer momento o produtor poderá optar pelo regime geral, o que poderá ser útil se o preço do consumo aumentar para um valor superior ao valor da venda (art.º 11º, 4).

De salientar ainda que, em 2012, o IVA dos equipamentos aumentou para 23%, deixando os painéis fotovoltaicos de beneficiar de taxa intermédia.

2.3 Fontes de Energias Renováveis

A energia solar é a fonte primordial das energias renováveis, seja diretamente, na forma de radiação solar, seja indiretamente, sob a forma de bioenergia, água, vento. Estas foram as primeiras fontes de energia utilizadas pela humanidade: a lenha era usada para obter calor, a biomassa para alimentação humana e de animais, o vento para propulsão de barcos, a água e o vento para mover moinhos.

O mundo atual preocupado em preservar o nosso planeta e os seus recursos para as gerações vindouras volta-se de novo para as fontes de energia renováveis, que podemos definir

utilizando as palavras de Castro (2011): “Uma fonte de energia sustentável é aquela que não é substancialmente comprometida pelo seu uso continuado, não emite gases poluentes em quantidades significativas, não dá lugar a outros problemas ambientais e não envolve a perpetuação de problemas graves de saúde”.

Das energias renováveis pode obter-se eletricidade, formas de aquecimento e arrefecimento e formas de energia para transportes.

A transformação de energia tem sido um sistema centralizado, mas é intenção da União Europeia que se descentralize a produção de energia elétrica devendo os vários países membros integrar esta intenção e transpô-la para a sua legislação.

A base da produção renovável nacional (grandes empresas produtoras) está fundamentalmente assente na combinação da energia hídrica e da energia eólica, tendo esta última registado uma forte progressão nos últimos anos. A energia solar posiciona-se hoje como a tecnologia com maior potencial de desenvolvimento em Portugal durante os próximos anos, tanto sob a forma de painéis solares para preparação de águas quentes sanitárias (AQS), como de módulos fotovoltaicos de produção de eletricidade.

A energia oceânica (das ondas e das marés) e as pilhas de combustível a hidrogénio são tecnologias ainda em investigação.

2.3.1 Energia Hídrica

A energia hídrica aproveita a diferença de cota geométrica do nível da água a montante e a jusante, começando por converter energia potencial em energia cinética, que posteriormente se converte em energia mecânica sendo esta, por sua vez, convertida em energia elétrica. As centrais de fio de água não possuem albufeira não tendo por isso capacidade de regularização.

Os aproveitamentos hidroelétricos de pequena potência (inferior a 10 MW) são sempre englobados dentro das energias renováveis, no que concerne as grandes hidroelétricas, geralmente incluem-se também nas energias renováveis embora seja controverso, devido às consequências ambientais para a região em que se inserem. Estas centrais atingem rendimentos da ordem dos 90%.

2.3.2 Energia Eólica

Obtém-se, convertendo a energia cinética do vento em energia mecânica e por sua vez em energia elétrica. Esta transformação faz-se através de geradores eólicos ou turbinas eólicas. Os geradores eólicos estão instalados, geralmente, em terra, em locais com potencial eólico

adequado, embora também se possam instalar no mar (*offshore*). Estes têm a vantagem de proporcionar uma rentabilidade maior, pois os ventos são menos perturbados, mas têm um custo inicial de instalação mais elevado. Com elas conseguem-se rendimentos máximos próximos dos 50%.

2.3.3 Energia Solar

A energia criada pelo sol resulta de uma transformação nuclear (a fusão de átomos de hidrogénio), perdendo o sol um milhão de toneladas de massa por segundo. O nosso planeta recebe apenas uma pequena, mas significativa, parte da potência gerada, cerca de 1367 W/m^2 , sendo este valor 6500 vezes maior que as necessidades energéticas do planeta. Em termos comparativos: “As reservas mundiais de petróleo estão avaliadas em $1,7 \times 10^{22} \text{ J}$: este é o valor que a Terra recebe do sol em 1,5 dias. O sol entrega, em cada hora, à Terra, a mesma energia que é usada nas atividades humanas durante um ano, cerca de $4,6 \times 10^{20} \text{ J}$.” [Castro, 2011]

Da transformação da radiação solar podem obter-se duas espécies de energia: elétrica, nos casos em que se utilizam painéis fotovoltaicos, e térmica, que requer painéis solares térmicos.

Outro método de produção de energia elétrica através da energia solar baseia-se nas designadas centrais solares termoelétricas de concentração. O princípio é o mesmo das centrais térmicas, mas aqui a radiação solar é focada com o auxílio de superfícies espelhadas, de modo a produzir vapor.

2.3.4 Energia Geotérmica

Neste caso, e contrariamente às centrais térmicas tradicionais, o vapor é retirado diretamente do subsolo. Normalmente o vapor não tem condições de pressão e temperatura e necessita de algumas operações de pré-processamento, no entanto pode ser utilizado diretamente para aquecimento. No nosso país a energia geotérmica tem particular significado nos Açores.

Outra tecnologia em desenvolvimento envolve bombas de calor geotérmicas, em que a captação da energia geotérmica se faz através de tubagens enterradas. No inverno, a bomba de calor retira o calor do subsolo que é libertado no espaço a aquecer. No verão o calor é retirado do edifício e libertado no subsolo. Todavia, este tipo de equipamentos ainda tem custos de instalação elevados.

2.3.5 Bioenergia

A bioenergia engloba a biomassa e os biocombustíveis. A primeira é usada sobretudo, no campo de produção de eletricidade, de aquecimento e arrefecimento, a segunda particularmente no setor dos transportes.

As plantas, através da energia solar, absorvem o CO₂ da atmosfera. A queima da biomassa devolve o CO₂ para a atmosfera, sendo este novamente capturado, num ciclo contínuo. A biomassa apresenta uma elevada importância devido à forte componente florestal nacional e tem particular significado na energia térmica.

A Diretiva 2001/77/CE define biomassa como a “fração degradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável de resíduos industriais e urbanos”.

2.4 Comentário

Das energias renováveis atrás referidas, a hídrica está perfeitamente estabelecida e é, há muito, competitiva. A eólica está em fase adiantada de consolidação e encontra-se em grande expansão: em 2008 representava quase 20 % em termos de potência instalada e cerca de 11 % em termos de energia produzida. A solar está em franco desenvolvimento sendo possível que, com a sua generalização, se reduzam os custos. A simplicidade destes dois últimos sistemas, em particular do fotovoltaico, faz com que sejam utilizados na produção de energia elétrica descentralizada, como seja a microprodução em sistemas domésticos e miniprodução em empresas. Por esse motivo estas duas tecnologias serão tratadas de forma mais desenvolvida nos dois próximos capítulos.

A co-geração pode ser um sistema interessante pois é a produção simultânea, num processo integrado, de eletricidade e calor (*DL n.º 23/2010*, de 25 de Março).

3 ENERGIA EÓLICA

3.1 O Vento como Fonte de Energia

A energia eólica é utilizada há milhares de anos, seja para bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica, navegação marítima, ou, já nos séculos XVII a XIX, para a drenagem de terras cobertas de água, na Holanda.

As primeiras tentativas da sua utilização para a geração de eletricidade surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo, é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos à escala comercial. Os EUA iniciaram, em 1973, um programa de energia eólica e em 1975 foi instalada em Ohio a primeira turbina. Depois formaram-se os primeiros consórcios de investigação e desenvolvimento entre empresas americanas e europeias, nomeadamente alemãs e suecas. O grande desenvolvimento deu-se por volta de 1980, quando se começaram a comercializar turbinas de menor dimensão (potências de 50 a 100 kW), na Europa, principalmente na Dinamarca e Holanda e nos EUA (Califórnia). Deste modo, esta tecnologia está hoje suficientemente desenvolvida e amadurecida tornando-se uma das mais promissoras fontes de energias renováveis.

A nível ambiental há quem considere como aspetos negativos o impacto visual das turbinas e a inevitável produção de um zumbido, que se nota mais em dia calmos, pois, se houver vento, o som deste sobrepõe-se ao da turbina. Contudo, as opiniões divergem relativamente ao primeiro aspeto, para além de que, as vantagens globais superam as desvantagens referidas.

3.2 Caracterização dos Locais

Embora os ventos mais fortes ocorram a altitudes de cerca de 10 km da superfície terrestre, a área de colocação dos geradores eólicos limita-se a algumas dezenas de metros de altitude. A potência disponível aumenta com o cubo da velocidade do vento pelo que é importante a colocação dos geradores em locais com ventos fortes [Castro 2011].

A avaliação do recurso e potencial eólico pode fazer-se recorrendo a vários procedimentos como sejam cartas elaboradas a partir de dados obtidos em estações meteorológicas, ou visitas aos locais. A rosa-dos-ventos fornece informação sobre a velocidade do vento por direção, para orientação das turbinas. Se os dados disponíveis dizem respeito apenas a um ano,

convém averiguar se este é um ano representativo ou se é necessário comparar com dados obtidos em estações meteorológicas próximas.

Algumas regras do bom senso geral também se podem aplicar, como por exemplo, os topos das montanhas ou zonas costeiras serem, em geral, ventosos, bem como os planaltos e as planícies elevadas. Os vales são em geral locais com menos ventos embora possam existir fenómenos de concentração local.

Na figura 3.1 é apresentada a carta europeia do vento e na figura 3.2 a carta do vento português obtida no Sistema Nacional de Informação Geográfica. O LNEG também se dedica à medição sistemática da velocidade do vento e tem publicada uma versão muito completa do “Atlas Português do Vento”.

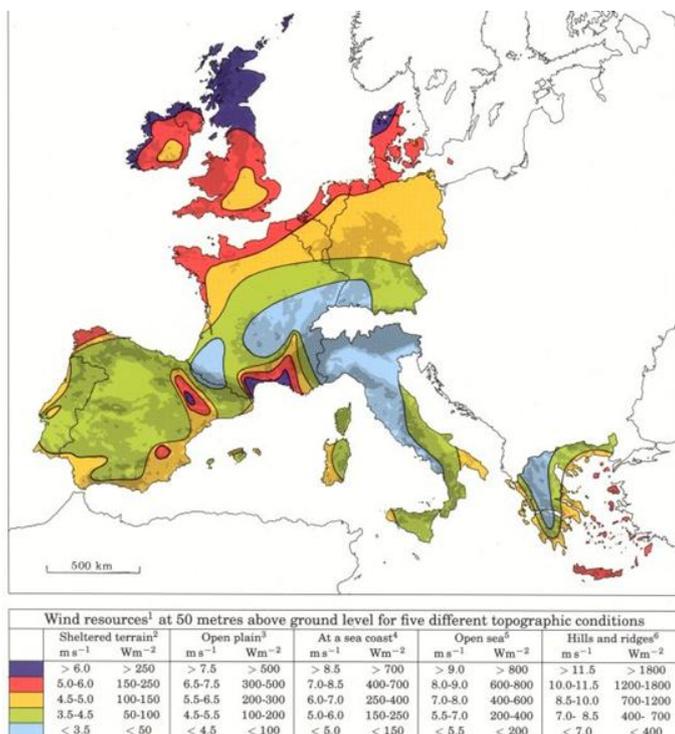
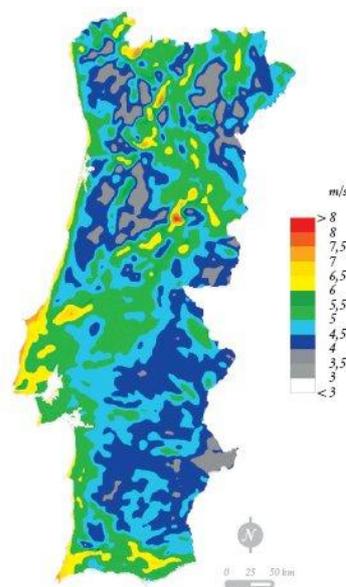


Figura 3.1 – Carta do vento europeia. Fonte: <http://www.windatlas.dk>



[SNIG] - Altitude de 80m.
Média anual de 1999 corrigida pela variabilidade de longo termo.

Figura 3.2 – Carta do vento [SNIG]

A instalação de geradores eólicos tem de ter em consideração as características de escoamento do vento. Os obstáculos, como sejam edifícios, árvores ou formações rochosas, não só diminuem a velocidade do vento, como são fontes de turbulência na sua vizinhança. A zona turbulenta pode estender-se até cerca de três vezes a altura do obstáculo, sendo mais intensa na parte de trás que na frente deste. A redução da velocidade depende das dimensões e da

porosidade do obstáculo, sendo que, um edifício tem porosidade quase nula e a porosidade das árvores varia consoante a quantidade de folhas que não é igual no inverno e no verão. A figura 3.3 exemplifica o escoamento na zona envolvente de obstáculos. A turbina deverá estar suficientemente alta para não ser perturbada pela turbulência.

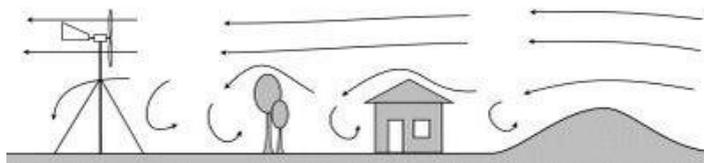


Figura 3.3 – Turbulência do vento. [Electronia@]

Não é conveniente a colocação de turbinas atrás de outras, pois o vento que sai da turbina tem um conteúdo energético inferior. Na parte de trás da turbina forma-se uma esteira de vento turbulento e com velocidade inferior relativamente ao vento incidente.

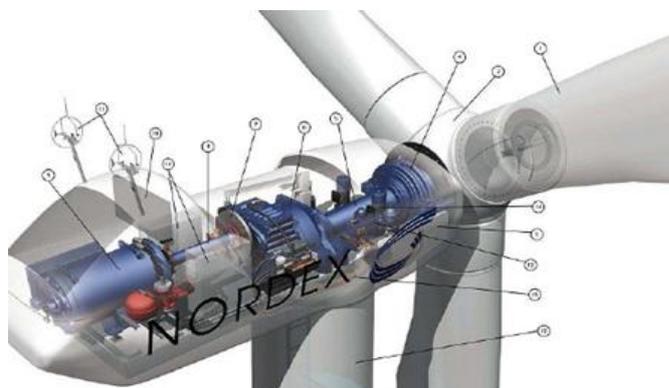
Podemos sintetizar esta problemática dizendo que “A intensidade da turbulência, para além de diminuir com a altura, também diminui com o comprimento característico da rugosidade do solo; isto é, quanto mais livre de obstáculos for o terreno, menor será a turbulência.” (Castro 2011)

Deverá ser efetuado um cálculo estrutural adequado pois as turbinas são colocadas em condições climáticas por vezes bastante adversas, devendo igualmente possuir um bom isolamento contra a chuva.

3.3 Tipos de Turbinas Eólicas

Podem encontrar-se turbinas de eixo horizontal e de eixo vertical, com rotores de três pás e de duas, e o rotor pode ainda estar colocado a montante ou a jusante da torre (em relação ao sentido da velocidade do vento). No entanto verifica-se a predominância das turbinas de eixo horizontal, de três pás e com rotor a montante. Neste último caso o vento incidente não é perturbado pela torre.

A figura 3.4 mostra a constituição de uma turbina eólica de eixo horizontal em que o sistema se divide em três partes: rotor, cabina e torre.



Legenda: 1 – pás do rotor; 2 – cubo do rotor; 3 – cabina; 4 – chumaceira do rotor; 5 – veio do rotor; 6 – caixa de velocidades; 7 – travão de disco; 8 – veio do gerador; 9 – gerador; 10 – radiador de arrefecimento; 11 – anemómetro e sensor de direcção; 12 – sistema de controlo; 13 – sistema hidráulico; 14 – mecanismo de orientação direccional; 15 – chumaceira do mecanismo de orientação direccional; 16 – cobertura da cabina; 17 – torre.

Figura 3.4 – Esquema de uma turbina eólica de eixo horizontal. [Castro, 2009].

3.4 Microgeradores Eólicos

Existem no mercado alguns geradores eólicos particularmente vocacionados para microprodução urbana, ligados à rede ou em sistema isolado, usados estes últimos normalmente em ambiente rural. A figura 3.5 mostra um espécime de eixo horizontal, designado por TURBAN, com uma potência de 2,5 kW desenvolvido em Portugal num projeto liderado pelo INETI, agora LNEG. As figuras 3.6, 3.7 e 3.8 são exemplos de microgeradores eólicos de eixo vertical.



Figura 3.5 – Turban [Castro, 2009]



Figura 3.6 – Microgerador de eixo vertical [sasenergia@]



Figura 3.7 – Microgerador de eixo vertical.
Cabo Verde, 500W. [Castro, 2009]



Figura 3.8 – Microgerador de eixo vertical.
Holanda, 5kW [Castro, 2009]

Embora as turbinas de eixo horizontal sejam as mais comuns e tenham um nível de produção elevado quando instaladas num local com boas condições de vento, as turbinas de eixo vertical são mais vantajosas em locais onde exista turbulência, nomeadamente em ambiente urbano e não precisam de se posicionar na direção do vento, podendo ser instaladas junto ao solo. Estas são simples de instalar e de manter e, além disso, são silenciosas.

3.5 Comentário

Em locais mais ventosos poderá ser interessante a produção de energia em edifícios, através de aerogeradores, mas em locais mais protegidos ou em cidades poderá não compensar. Como atrás se viu, para esta fonte de energia renovável a venda de eletricidade à RESP pela tarifa bonificada é 80% da tarifa de referência respeitante ao ano da instalação e para se ter acesso à tarifa bonificada tem de se recorrer apenas a uma fonte de energia produtora. Mas, por exemplo, em locais isolados sem rede distribuidora, pode tornar-se útil utilizá-la em conjunto com energia fotovoltaica, pois esta última não produz durante a noite e a eólica não tem essa limitação.

4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

4.1 O Sol Como Fonte de Energia

A radiação solar depende da posição geográfica e das condições atmosféricas. Depende também das estações do ano ou seja da inclinação de incidência dos raios solares: quanto mais perpendicularmente eles incidirem, maior a radiação por unidade de superfície.

No seio da Europa, Portugal apresenta uma situação privilegiada no que diz respeito, quer ao número de horas de insolação quer aos valores de radiação recebidas. As figuras 4.1 e 4.2 ilustram a distribuição da irradiação global anual (kWh/m^2) que incide sobre painéis fotovoltaicos orientados a sul e com inclinação ótima, bem como a correspondente produção anual de eletricidade gerada por um sistema de 1 kWp de painéis fotovoltaicos com inclinação ótima e rendimento de 0,75. Estes valores foram obtidos entre 2001 e 2008.

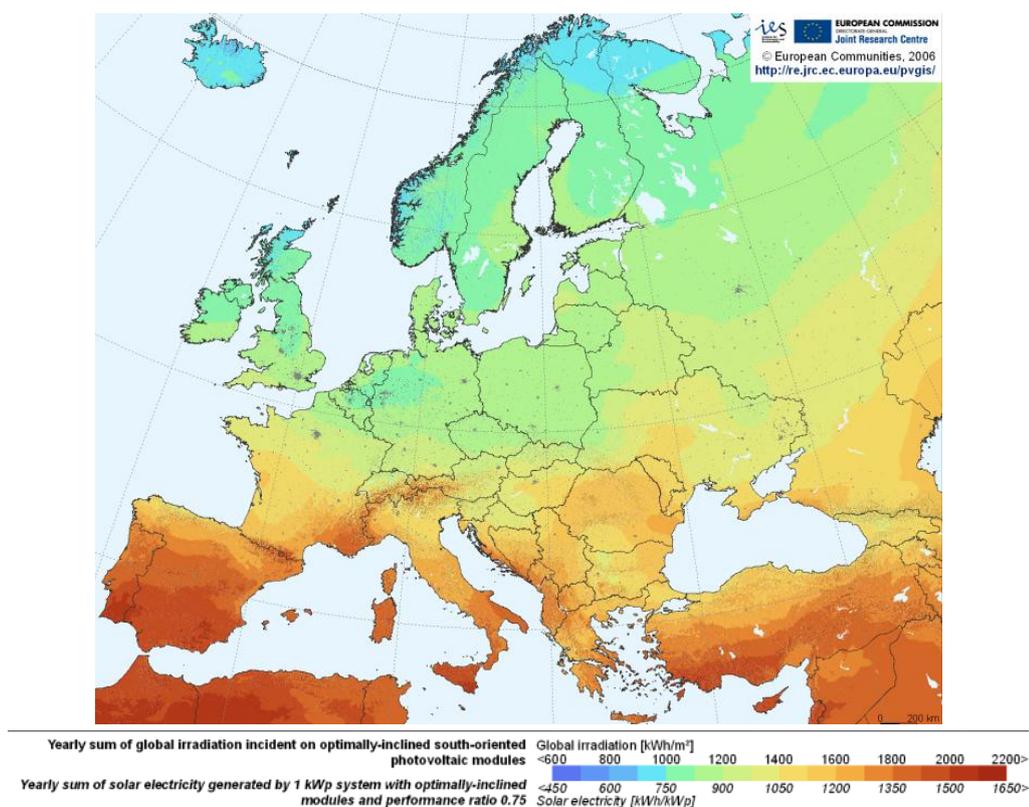


Figura 4.1 – Potencial de energia solar fotovoltaica nos países europeus. [IET]

Na figura 4.3 vê-se a distribuição dos valores médios da insolação anual, isto é do número de horas de sol descoberto acima do horizonte. Não só a latitude influencia a insolação, também a proximidade do mar o faz, diminuindo-a, bem como a altitude ou a orientação das encostas.

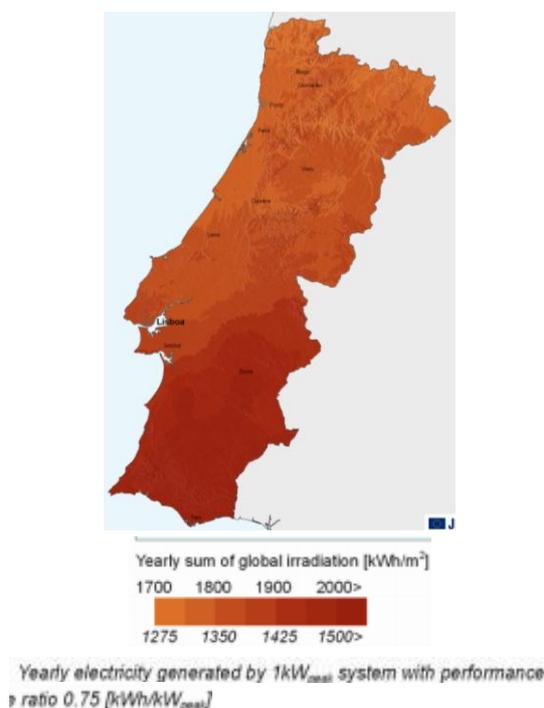


Figura 4.2 - Potencial de energia solar fotovoltaica em Portugal. [IET]

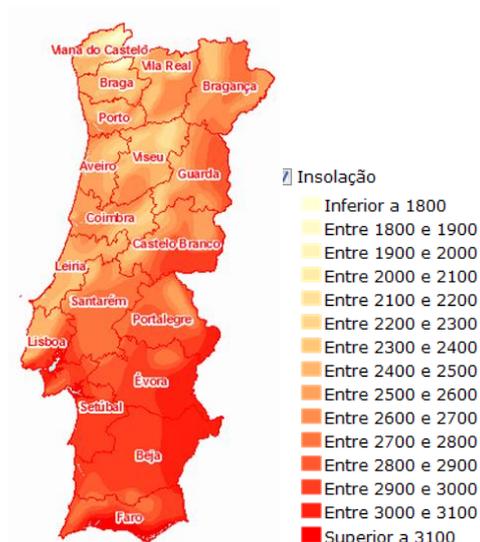


Figura 4.3 – N° de horas de insolação anuais. [SNIAMB@]

Pode-se verificar que nos países do sul, do qual Portugal faz parte, a irradiação solar, que é uma energia por unidade de superfície, chega a atingir quase o dobro da que se verifica nos países do norte da Europa, como por exemplo a Noruega, ou a Suécia, e, por conseguinte a produção de eletricidade também estará na mesma proporção.

Na irradiação que atinge a superfície terrestre tem de se contabilizar não só aquela que se obtém por exposição direta mas também a difusa, que provém de todas as direções do céu e resulta da dispersão nas partículas constituintes da atmosfera. Esta representa cerca de 30 a 40% da irradiação total.

Em Portugal, o valor de inclinação que maximiza a energia elétrica produzida é de aproximadamente 33° para quase todo o território, podendo no norte ser de 34° e no sul de 32° e a utilização anual da potência-pico situa-se entre as 1275 e as 1550 kWh/kWp, para sistemas PV fixos.

4.2 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos convertem diretamente energia solar em eletricidade, dentro de um largo leque de potência que pode ir dos mili-watts até aos megawatts, sem criar poluentes. Este gerador de corrente contínua vê a energia produzida variar, dependendo, não só da irradiação, mas também da temperatura. Quanto mais elevada for a temperatura das células, mais baixa é a energia produzida. Em termos energéticos têm a vantagem de produzir eletricidade durante o dia, período que representa as horas de maior consumo.

Os sistemas PV são constituídos por módulos de material semi-condutor e um sistema de apoio (ver figura 4.4). Aqui estão incluídos a cablagem, proteções, um contador de venda, um contador de compra e um inversor DC/AC que transforma corrente contínua em corrente alternada e que é absolutamente necessário caso o sistema de produção esteja ligado à rede pública, pois a corrente elétrica que aí circula é alternada.



Figura 4.4 – Configuração de um sistema PV.
[Renováveis Magasine].

Nos sistemas autónomos, existentes em lugares isolados como por exemplo habitações, torres de telecomunicações ou de iluminação, tem que se armazenar a energia produzida em baterias para que possa ser utilizada quando não existe radiação.

Em alternativa aos sistemas fixos, em que os módulos permanecem sempre na mesma posição, os sistemas fotovoltaicos com seguimento da posição solar permitem receber a irradiância solar máxima em cada instante e, assim, maximizarem o rendimento da conversão. Estes sistemas são projetados para orientar as superfícies coletoras de modo a que os raios solares nelas incidam perpendicularmente.

4.2.1 Células Fotovoltaicas

A célula, que é o elemento mais pequeno, gera habitualmente potências da ordem de 1,5 W. Associando-se as células em série e/ou paralelo obtêm-se os módulos com potências da ordem de 100 W, 200 W até mais. Os painéis fotovoltaicos são conjuntos de módulos.

Nas **tecnologias de 1ª geração**, as mais comuns por enquanto, as células fotovoltaicas são constituídas por silício (ver figura 4.5), que é o 2º elemento mais abundante da crosta terrestre, por ser o elemento constituinte essencial da maioria das rochas (arenitos, argila, granitos, por exemplo). Ao silício que é um material semicondutor, adicionam-se substâncias dopantes, como sejam o boro ou o fósforo, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico. Estas tecnologias dominam o mercado com uma cota conjunta de cerca 87% [Castro 2011], assim distribuída:

Silício monocristalino (sc-Si) – representa cerca de 35% do mercado, tem um rendimento teórico de 24% e efetivo de 13 a 17%, a área necessária para a potência-pico de 1kW é de 7 a 9 m²;

Silício multicristalino ou policristalino (mc-Si) – tem uma quota de 49% do mercado é mais barata que a anterior mas apresenta rendimentos menores, cerca de 18% para rendimento teórico e 11 a 15% na prática, e a área necessária para a potência-pico de 1kW é de 9 a 11 m².

Fitas de silício – ocupa 3% do mercado, é mais barata que as anteriores, apresentam rendimentos de 13% em laboratório e de 6 a 9% reais, a área necessária para a potência-pico de 1kW é de 16 a 20 m². São as mais resistentes ao efeito de sombreamento e a altas temperaturas e aproveitam melhor a radiação difusa.

A figura 4.6 apresenta células de silício monocristalino e policristalino (as duas mais próximas) e a figura 4.7, módulos, também de silício mono e policristalino (os dois mais afastados).



Figura 4.5 – Silício [CNPV solar power @]

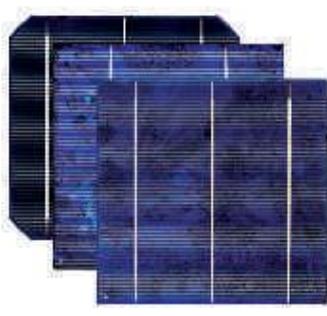


Figura 4.6 – Células PV de sc-Si e mc-Si [sunways]



Figura 4.7 – Módulos PV sc-Si e mc-Si. [sunways]

Classificados como tecnologias de alto rendimento temos o Arseneto de Gálio e o Fosforeto de Índio. Estas células, com uma eficiência superior a 20%, têm sido usadas sobretudo em satélites ou outras utilizações espaciais. Estes materiais são caros e escasseiam.

Em alternativa ao silício cristalino, que é caro, a indústria procurou materiais mais baratos, em que o material semiconductor é depositado em substratos de metal, vidro ou plástico, em camadas finas, exigindo um menor consumo de matéria-prima. Estes são os chamados **filmes finos**, abaixo descritos.

Telureto de Cádmio (CdTe) – com rendimentos efetivos da ordem de 9 a 11%, apresenta uma implantação no mercado de 8%, sendo o seu maior problema a toxicidade do cádmio e a raridade do telúrio;

Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio, CIGS e Cobre-Índio-Selénio, CIS (figura 4.8) - são as mais eficientes das tecnologias com filmes finos com rendimentos efetivos entre 10 – 13%, comparáveis às do silício policristalino. Apresentam uma implantação inferior a 1%, sendo os seus maiores inconvenientes o custo elevado e a pouca disponibilidade do índio. É produtiva mesmo com níveis de luz baixos.



Figura 4.8 – Módulo em CIS
[Avancis @]

Silício amorfo (a-Si) - a eficiência é baixa com 11 a 12% no máximo e diminui com o tempo para níveis da ordem de 5 a 7,5%, pois este material sofre um processo de degradação por efeito da radiação solar, até estabilizar, nos primeiros seis a doze meses. Tem uma implantação no mercado de cerca de 5%.

Silício microcristalino, μ -Si e silício microamorfo, μ a-Si (figura 4.9) – são compostos pela junção de células de silício microcristalino com células de silício amorfo e os rendimentos são da ordem de 11% em regime estabilizado. Estas células estão ainda em fase de experimentação e desenvolvimento.

Silício cristalino em vidro (CSG) - é utilizado o gás silano (SiH_4) em que uma camada muito fina é depositada diretamente no vidro. Os rendimentos obtidos são de 8%.



Figura 4.9 – Módulo μ a-Si [Bosh]

Esta tecnologia dos filmes finos tem sofrido um crescimento acentuado nos últimos anos e apresenta um grande potencial de desenvolvimento, pois além de apresentar custos mais baixos possui maleabilidade e flexibilidade nos processos de fabricação. Contudo ainda não está completamente testada e a sua eficiência é inferior às tecnologias com silício cristalino.

Apresenta uma boa *performance* com luz fraca e luz difusa, funcionando bem com a luz do início ou do final do dia e mantém um bom rendimento em temperaturas mais elevadas.

Como **tecnologias de 3ª geração**, ainda em fase de investigação, temos as células sensibilizadas por corante, as células orgânicas e as nanoantenas. Estas últimas, em investigação pelo MIT, são constituídas por nanotubos de carbono e possuem a capacidade de absorver diversos comprimentos de onda de acordo com a sua dimensão, permitindo a captação da radiação da terra durante a noite. A eficiência é de 80% e apresentam apenas problemas associados ao efeito de ressonância para os quais se está a tentar encontrar solução.

4.3 Montagem e Integração dos Módulos Fotovoltaicos

Os painéis podem ser montados em suportes fixos ou móveis, designando-se, estes últimos por seguidores solares. Os seguidores solares, por sua vez dividem-se em dois tipos:

- seguidor de um eixo, sendo o seguidor azimutal o mais comum - segue o movimento do sol ao longo do dia e pode produzir até 25% mais que um sistema fixo;
- seguidor de dois eixos – além do azimute, segue a elevação do sol ao longo do ano, de tal modo que os raios solares incidam perpendicularmente aos módulos PV. Em Portugal normalmente atinge ganhos de 30% relativamente a um sistema fixo da mesma potência, podendo atingir até 40% no sudeste do Alentejo [Castro 2011]. Contudo deve ter-se em consideração que este sistema ocupa uma maior área de terreno por unidade de potência-pico, cerca de três vezes mais, o investimento inicial é maior e tem custos de manutenção mais elevados.

Os seguidores solares normalmente são instalados no solo mas ter-se-á que ter especial cuidado no dimensionamento das fundações, pois têm de resistir à ação do vento. Os fixos, por seu lado, se colocados no solo, têm uma instalação simples.

Os painéis fixos podem ser instalados na maior parte das superfícies dos edifícios adicionando os módulos ou integrando-os na construção. Se instalados em coberturas inclinadas, deverão, de preferência, acompanhar a sua inclinação e orientação. A estrutura de montagem pode ser externa, utilizando-se ganchos de telhado para a fixação dos perfis, ou fazer parte da estrutura do telhado. Nas coberturas planas, a estrutura pode ser diretamente fixada à cobertura ou pode utilizar-se lastro, tendo as vantagens de se poder escolher a inclinação e a orientação e também o facto de ficar com uma presença discreta. Nas paredes normalmente utilizam-se em soluções integrativas.

Os módulos fotovoltaicos não devem ser vistos apenas do ponto de vista tecnológico mas também do ponto de vista arquitetônico. Além de serem uma forma de gerar energia protetora do ambiente, quando aplicados a edifícios, fornecem a vantagem de se poderem harmonizar muito bem com as construções. O mercado fotovoltaico oferece uma ampla gama de soluções que vão ao encontro da maioria das exigências do setor da construção civil.

O edifício funciona como estrutura de suporte dos módulos. Podem fazer parte integrante do edifício, desempenhando as funções de envoltivo, por exemplo como uma cobertura impermeável ou como elemento de fachada ou elemento sombreador. Podem substituir parte do material de revestimento convencional e integrar-se num conjunto arquitetural harmônico com o edifício. Estes painéis integrados designam-se internacionalmente por BIPV (Building Integrated Photovoltaic). Alguns fabricantes produzem-nos sem a caixilharia metálica de suporte ou com várias colorações (figura 4.10), ou ainda translúcidos (figuras 4.11 e 4.12) de modo a, aumentando a sua versatilidade, poderem responder a qualquer tipo de necessidade arquitetónica.



Figura 4.10 – Células com várias colorações. [Sunways]



Figura 4.11 – Módulos em fachadas.
[Sunways]



Figura 4.12 – Células que deixam passar
18% da luz solar. [Sunways]

A tecnologia dos filmes finos pode ser particularmente interessante para aplicações em edifícios ou telhados e permite também construção de módulos com curvatura.

A integração nos edifícios permite poupar nos materiais de construção e deste modo tornar-se mais competitiva. Este setor fotovoltaico integrado em edifícios poderá emergir como detentora deste mercado particular da construção, apresentando, por exemplo, soluções que vão desde películas translúcidas para integração em vidros até soluções em telhas (figura 4.13). Já existem vários fabricantes que oferecem telhas especiais para fixação dos módulos (figura 4.14).



Figura 4.13 – Módulo PV integrado com solução em sandwich para utilizar como telha. [S-Energy@].
Figura 4.14 – Telhas especiais para fixação de módulos. [Pvdatabase@]

A figura 4.15 mostra pormenores da aplicação sobre ripado metálico, de módulos PV como cobertura protetora e impermeabilizante. A figura 4.16 apresenta uma solução de revestimento de parede por elementos descontínuos, deste modo, os módulos podem ser uma excelente solução para substituir as pedras de revestimento. Alguns painéis são fabricados de modo a oferecer isolamento térmico e acústico, embora se tenha que olhar para esta solução com alguma reserva pois o ideal é que os módulos sejam instalados com caixa-de-ar para que permitam um arrefecimento das células, devido à redução de rendimento quando a temperatura aumenta.

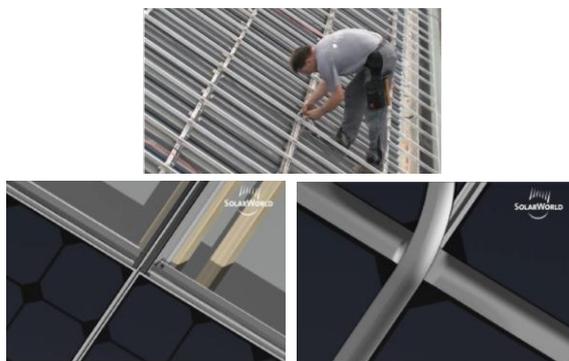


Figura 4.15 – Pormenores de solução integrada em cobertura inclinada.
[SolarWorld]

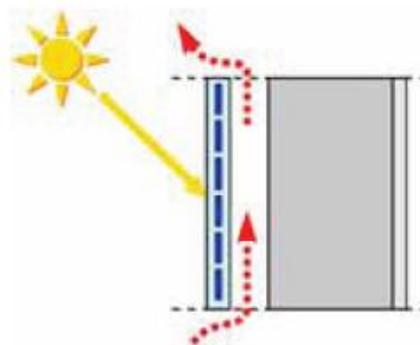


Figura 4.16 – Solução de revestimento de paredes, como elementos descontínuos.
[Energia PV, Manual Tecnologias, 2004]

A figura 4.17 mostra o edifício Solar XXI, sede do Departamento de Energias Renováveis, do INETI, com duas centrais PV, uma integrada na fachada do edifício e outra como elemento sombreador no parque de estacionamento. Na figura 4.18 vê-se o pormenor do sistema de aproveitamento de circulação de ar na parte posterior dos módulos PV do mesmo edifício.



Figura 4.17 – Edifício Solar XXI e o parque de estacionamento. [Rodrigues, 2008]

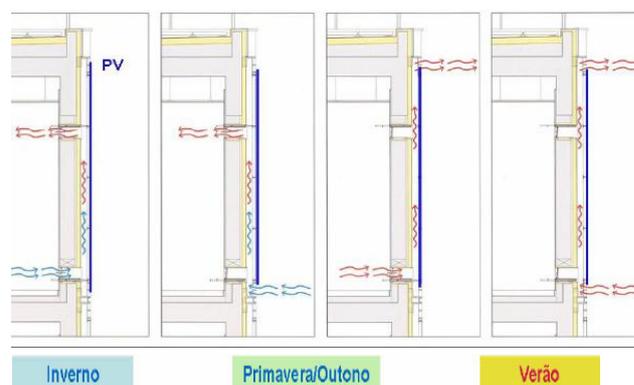


Figura 4.18 – Circulação de ar no edifício Solar XXI. (Arq. Pedro Cabrita) [Rodrigues, 2008]

Esta circulação de ar necessária para o melhor rendimento das células PV é aproveitada para aquecimento do ar interior durante o dia, nos invernos, primavera e outono, e, eventualmente, para arrefecimento quando a temperatura no interior for mais elevada.

4.4 Comentário

Portugal tem uma situação privilegiada no que diz respeito à acessibilidade ao recurso solar, estando a tecnologia fotovoltaica já implantada no mercado e a desenvolver-se cada vez mais e oferecendo muitas soluções de instalação em edifícios que se devem aproveitar, tendo em consideração o património arquitetónico e futuro estético do nosso ambiente, pois a sustentabilidade passa também por esse aspeto.

5 CENTRAL FOTOVOLTAICA DOMÉSTICA – CASO DE ESTUDO

Neste capítulo será avaliada a contribuição da utilização de painéis fotovoltaicos para o desempenho térmico e energético de uma moradia implantada em zonas distintas do país, no âmbito do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), *DL n.º 80/2006*, de 4 de Abril. Para determinação da produção energética dos módulos PV foi utilizado o programa PVsyst 5.0, enquanto a contribuição dos painéis solares para aquecimento de águas sanitárias, como estabelecido pelo RCCTE, foi determinada pelo programa SolTerm. Este programa não foi usado para a contribuição fotovoltaica por não permitir a análise de seguidores solares. No estudo térmico do edifício foi utilizada a folha de cálculo do ITECONS.

O estudo foi realizado colocando a moradia em sete cidades do território nacional: Coimbra, Figueira da Foz, Bragança, Guarda, Castelo Branco, Évora e Faro. Esta escolha foi feita procurando abranger várias combinações das zonas climáticas de inverno e de verão, fazendo ao mesmo tempo variar a latitude. No quadro 5.1 expõe-se os dados climáticos e altitudes de cada cidade escolhida.

Quadro 5.1 – Altitude e Dados Climáticos

	Coimbra	Figueira da Foz	Bragança	Guarda	Castelo Branco	Évora	Faro
Altitude [m]	150	70	700	1060	470	275	15
Zona Climática de Inverno	1	1	3	3	2	1	1
GD [°C.dias]	1460	1450	2850	2960	1650	1390	1060
Duração da Estação de Aquecimento [meses]	6,0	6,3	8,0	8,0	6,7	3,0	4,3
Zona Climática de Verão	2	1	2	1	3	3	2
Norte ou Sul	N	N	N	N	N	S	S

5.1 Apresentação da Moradia

Esta moradia é uma habitação unifamiliar de tipologia T4, implantada na periferia de uma zona urbana, cujos alçados, plantas e cortes se apresentam no anexo B. As paredes são em alvenaria de tijolo, algumas rebocadas e pintadas de cor branca, outras, revestidas a tijolo maciço (burro) e palas de cor cinza. A cobertura principal é inclinada, com quatro águas, revestida a telha cerâmica, contudo, na periferia existem zonas de cobertura plana. As portas

são em madeira maciça e os vãos envidraçados possuem janelas em alumínio cinzento, com vidro duplo incolor 6+8+6mm e estores metálicos de cor cinza, à exceção das janelas do vão de escadas. As lajes são aligeiradas.

Ainda no anexo B, apresentam-se a definição da envolvente, de acordo com o código de cores definido pela ADENE (2010), bem como dois cortes das paredes da envolvente exterior e respectivas correções das pontes térmicas, corte do pavimento no rés-do-chão sobre o desvão sanitário, e, da cobertura exterior. O pavimento sobre a garagem, pertencendo à envolvente interior, difere do descrito no corte pois o XPS de 4cm está abaixo da laje aligeirada seguido de gesso cartonado. A cobertura interior não tem a camada de impermeabilização e as paredes da envolvente interior são constituídas por dois tijolos 30x20x11cm, separados por 4cm de XPS.

A ventilação, natural, processa-se de igual forma em todo o edifício, que não cumpre a NP 1037-1. Não existem dispositivos de admissão de ar na fachada e as portas exteriores estão bem vedadas por aplicação de borrachas em todo o seu perímetro. A inércia térmica é forte.

O único sistema de aquecimento e de arrefecimento é por bomba de calor (ar condicionado). A preparação de águas quentes sanitárias faz-se por termoacumulador elétrico com 50mm a 100mm de isolamento térmico e a rede de distribuição de água quente tem mais de 10mm de isolamento térmico. A moradia é munida de coletores solares e módulos PV que contribuem para o aquecimento de AQS.

5.2 Avaliação Prévia da Produção de Módulos Fotovoltaicos

Antes da aplicação dos módulos PV na moradia foi efetuado um estudo do comportamento de vários módulos, com tecnologias diferentes em várias posições.

5.2.1 Escolha do Inversor

Como já foi referido, a produção de energia descentralizada, associada a residências está enquadrada pelo *DL 118-A/2010* que define dois regimes, o geral e o bonificado. Para se ter acesso ao regime bonificado, a potência de ligação tem de se limitar a 3,68kW, ou seja, o inversor, que faz a conversão de corrente contínua em corrente alternada, deve injetar na rede uma potência com, no máximo, 3,68kW.

Uma das características dos módulos PV é a potência nominal definida como sendo a potência pico ou máxima, em corrente contínua, obtida pelo painel PV nas condições de referência, STC (Standard Test Conditions), sendo estas condições de referência: temperatura de 25° C,

irradiância solar incidente de 1000W/m^2 e situação de perpendicularidade aos raios solares (ver anexo A).

Ao transformar-se este valor, energia por segundo e por metro, em energia por ano para o compararmos com a energia incidente no nosso país durante um ano (figura 4.1), obtém-se:

$$\frac{1000\text{W}}{\text{m}^2} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s} \times \text{m}^2} = \frac{1000}{3,6 \times 10^6} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{s} \times \text{m}^2} \right] \times 3600 \times 24 \times 365 = 8700\text{kWh/ano/m}^2 \quad (1)$$

Este valor é muito maior que a irradiação anual que varia entre 1800 e 2200 kWh/m² (figura 4.1), de onde se deduz que a irradiância é geralmente inferior a 1000W/m². Seja por este facto ou porque a temperatura dos módulos ao subir para além de 25° reduz o rendimento das células, um gerador PV raramente entrega a sua potência nominal máxima. Um painel fixo vem diminuir ainda mais essa possibilidade. Deste modo pode ser interessante utilizar um número total de módulos que totalizem uma potência nominal superior a 3,68, pois a maior parte do tempo a sua produção em corrente contínua não atinge este valor.

Por esta mesma razão, Macedo (2006) estima que as perdas registadas ao utilizar inversores com uma potência de saída inferior de 80 a 90% à potência de entrada são muito pequenas, trazendo a vantagem de economia de custos. A energia gerada tende, por isso, a ser mais barata.

Nas simulações realizadas foi escolhido um inversor com potência de saída inferior à potência nominal dos módulos PV. Para além das vantagens atrás descritas, como o regime bonificado está limitado a 3,68kW de potência injetada na rede, maximiza o rendimento da central geradora.

5.2.2 Representação de Ângulos de Orientação

Para o cálculo da produção de energia térmica ou fotovoltaica são usados ângulos que definem a posição do sol e a orientação do coletor solar ou fotovoltaico. Conforme mostra a figura 5.1, o ângulo de elevação solar é o ângulo que o sol forma com a horizontal, o azimute solar, é o ângulo entre o plano vertical, que contém o sol, e o sul. A inclinação do coletor é o ângulo que o seu plano forma com a horizontal e o azimute do coletor é o ângulo entre o plano vertical que contém a perpendicular ao coletor e o sul. O azimute é positivo no sentido dos ponteiros do relógio, o que faz que, a Oeste, o azimute tome valor positivo e a Este, valor negativo.

Em ambos os programas utilizados, SolTerm e PVsyst, são utilizadas cartas solares para definir sombreamentos. Nelas, a circunferência dos ângulos azimutais é escrita num plano, com abcissas de -120° a 120° e nas ordenadas, o ângulo de elevação solar. As curvas representam os ângulos da posição que o sol ocupa nos solstícios e equinócios. Se necessário, podemos representar sombreamento do horizonte ou sombreamentos mais localizados.

A figura 5.2 ilustra uma carta solar retirada do Solterm, cujo sombreamento foi utilizado para o cálculo indicado no sub-capítulo 5.3. Este sombreamento estende-se dos 10° ao 110° , oeste, atingindo uma elevação angular de 22° .

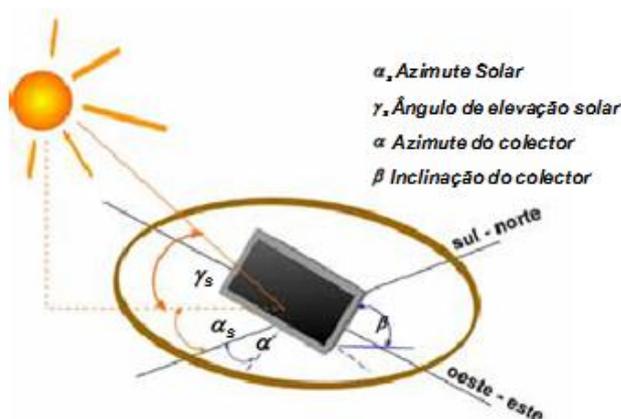


Figura 5.1 – Ângulos que definem a orientação do sol e de coletores. [Energia PV, Manual Tecnologias, 2004]

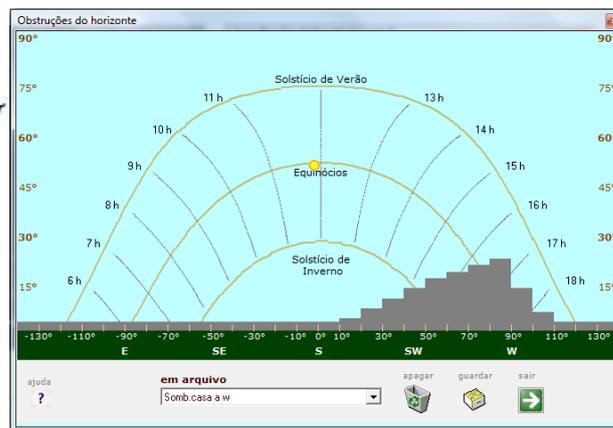


Figura 5.2 – Planificação do horizonte. [SolTerm]

5.2.3 Comportamento de Painéis PV

No sentido de analisar o desempenho e comportamento de diferentes módulos em várias situações, foram efetuadas simulações no programa PvSyst com algumas tecnologias diferentes em diferentes orientações, antes de decidir o que seria utilizado na moradia. Foi sempre utilizado um inversor com 3,6 kW de potência máxima de saída, de modo a que não ultrapassasse a potência máxima prevista para regime bonificado. No anexo C consta um relatório disponibilizado pelo programa para a situação do quadro 5.5, em que se utilizaram 18 módulos em seguidor solar.

De seguida, são indicados nos pontos i) a iv) os resultados obtidos:

- i) Foram testados módulos de silício mono-cristalino (sc-Si), dois de silício poli-cristalino (mc-Si) e um de filme fino, CIS.

No quadro 5.2 a coluna da produção indica a eletricidade em DC (corrente contínua), produzida pelos módulos PV. Depois disso a energia produzida tem de ser transformada em AC (corrente alternada) e produzem-se perdas. É a eletricidade AC, injetada na rede elétrica que realmente nos interessa.

Quadro 5.2 – Produção de módulos PV

Painel fixo, em Coimbra, sem sombreamento, orientados a sul e com 33° de inclinação.										
Marca	Modelo	Tecnologia	Potência/ Módulo [Wp]	Nº módulos	Potência [Wp]	Área [m ²]	Produção DC [kWh/ano]	Injetado na Rede AC [kWh/ano]	Produção /kWp kWh/kWp/ano	kWh/m ²
BP Solar	4175T	mono-crist	175	21	3675	26,3	5284	5024	1367	191
Sunways	SM 215M	mono-crist	230	16	3680	26,6	5284	5086	1382	191
Rec	230 PE	poli-crist.	230	16	3680	26,4	5568	5296	1439	201
Sunways	SM 240U	poli-crist.	230	16	3680	26,1	5289	5063	1376	194
Avancis	135 Wp	CIS	135	28	3780	30,5	5600	5322	1408	174

Apesar de, em média, as células de sc-Si terem um melhor desempenho, neste caso particular, obtivemos um melhor desempenho (1439 kWh/kWp/ano) para os módulos mc-Si, da marca REC, pelo que foram estes que foram escolhidos para colocação na moradia.

ii) Os módulos CIS podem ser interessantes se tivermos uma superfície grande para revestir pois para a mesma potência pico ocupam mais espaço e apresentam custo por Watt de potência pico, sensivelmente semelhante às outras tecnologias. Apresentando a tecnologia CIS bons rendimentos para captar a radiação difusa, pode ser aplicada em paredes, integrando-a preferencialmente nos edifícios (BIPV).

No quadro 5.3 e na figura 5.4 apresenta-se a variação de resultados da utilização de módulos PV colocados verticalmente quando se faz variar a posição de Este para Oeste para um conjunto de 28 módulos Avancis de tecnologia CIS, cada um, com potência nominal de 135Wp e dimensões 1,595m x 0,684m, perfazendo um total de 3780 W de potência pico e 30,5 m², com 3,6 kW de potência máxima de saída do inversor.

No anexo D, para algumas posições do gerador PV, ilustra-se o desenvolvimento de algumas curvas de produção anual, sendo o ponto correspondente à situação em causa, assinalado a azul.

Quadro 5.3 – Variação de produção de painel vertical variando azimute.

28 módulos, CIS com 3780 Wp. Potência máx. de inversor: 3,6kW					
Ângulo do coletor	Azimute	Produção DC [kWh/ano]	Injetado na Rede AC [kWh/ano]	Produção Energia kWh/kWp/ano	[kWh/m ²]
90°	-90 (Este)	3052	2846	753	93
90°	-45° (SE)	3659	3439	910	113
90°	-31° (ótimo)	3694	3475	919	114
90°	0° (Sul)	3619	3405	901	111
90°	30°	3543	3331	881	109
90°	45° (SW)	3451	3239	857	106
90°	90° (W)	2801	2605	689	85

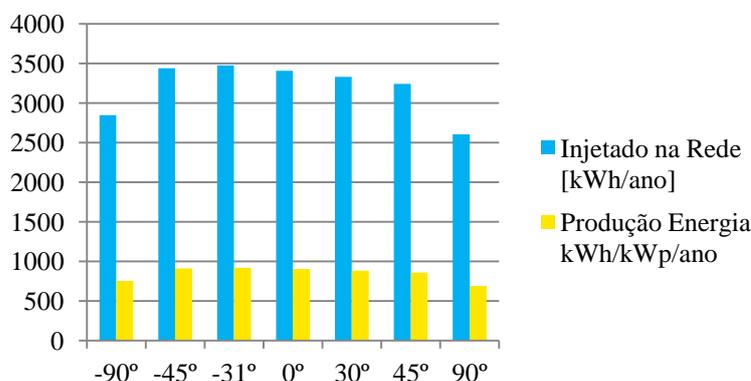


Fig. 5.3 – Produção de energia em kW/ano e em kW/kWp/ano referente ao quadro 5.2.

iii) Ao ser introduzido um sombreamento do horizonte de 5°, a 28 módulos orientados a sul, com 33° de inclinação, a produção de energia é reduzida em cerca de 2%. Ao aumentar o sombreamento até atingir 20° em todo o horizonte, obtém-se uma redução de 13,4% (quadro 5.3).

Quadro 5.4 – Redução da produção AC ao aplicar sombreamento do horizonte

28 módulos, CIS com 3780 Wp. Potência máx. do inversor: 3,6kW					
	Produção [kWh/ano]	Injetado na Rede [kWh/ano]	Produção Energia kWh/kWp/ano	[kWh/m ²]	%
Sem sombr. do horizonte	5600	5322	1408	174	
5° de sombreamento	5497	5223	1382	171	98,14
20° de sombreamento	4662	4609	1219	151	86,61

iv) a) Continuando com a localização em Coimbra e a mesma potência nominal de inversor (3,6kW), foi efetuado o cálculo para 18 módulos REC 230PE em silício poli-cristalino, com um total de 4,14kW de potência pico, instalados em suporte fixo, orientados a sul e fazendo variar o azimute entre 20° e 35°. Obtiveram-se os resultados visíveis no quadro 5.4 - a) e figura 5.4. A energia elétrica injetada na rede mantém-se com valores muito semelhantes para inclinações entre 30° a 35°. Para 25° de inclinação o seu valor ainda se mantém com valores próximos, mas para inclinações mais baixas decresce mais acentuadamente.

iv) b) Tomou-se seguidamente a inclinação de referência de 33°, com produção máxima, fazendo variar a orientação de Este a Oeste (quadro 5.4 – b) e Fig. 5.5), tendo-se verificado que entre SE e SW a produção ainda se mantém com valores altos, reduzindo mais acentuadamente quando se aproxima de Este ou Oeste. Também é visível uma produção ligeiramente menor nos azimutes a Oeste relativamente aos azimutes a Este, o que possivelmente se deverá à temperatura mais elevada que se faz sentir durante o período da tarde pois os módulos PV têm menor rendimento quando a temperatura aumenta.

Quadro 5.5 – Variação de: a) inclinação; b) azimute; c) nº de módulos

Localização: Coimbra; inversor: 3,6 kW; módulos PV: REC 230PE, mc-Si, com 230Wp; área de cada módulo: 1,665 x 0,991 m2.									
	Inclinação do gerador	Azimute	Nº módulos	Potência [Wp]	Área [m2]	Produção DC [kWh/ano]	Injetado na Rede [kWh/ano]	Produção Energia [kWh/kWp/ano]	[kWh/m2]
Fixo	35°	0° (Sul)	18	4140	29,7	6260	6014	1453	202
	33°					6264	6017	1453	203
	30°					6258	6012	1452	202
	25°					6222	5998	1449	202
	22°					6183	5941	1435	199
	20°					6150	5909	1427	199
a) Fez-se variar a inclinação do painel, mantendo a orientação									
Fixo	33°	-90°	18	4140	29,7	5224	5012	1211	169
		-45°				6038	5798	1401	195
		-9°				6277	6030	1457	203
		0°				6264	6017	1453	203
		45°				5859	5627	1359	189
		90°				4987	4784	1156	161
b) Mantendo a inclinação alterou-se a orientação de este a oeste.									

	Inclinação do gerador	Azimute	Nº módulos	Potência [Wp]	Área [m ²]	Produção DC [kWh/ano]	Injetado na Rede [kWh/ano]	Produção Energia [kWh/kWp/ano]	[kWh/m ²]
Seguidor solar	10° a 80°	-120 a 20	18	4140	29,7	8503	8177	1975	275
			16	3680	26,4	7558	7269	1975	275
Fixo	33°	0° (Sul)	19	4370	31,4	6611	6352	1454	203
			18	4140	29,7	6264	6017	1453	203
			16	3680	26,4	5568	5347	1453	203

c) Para um seguidor solar e para um painel fixo orientado a sul com 33° de inclinação testaram-se diferente número de módulos PV.

iv) c) Por último, para um painel fixo orientado a sul, com 33° de inclinação, fez-se variar o número de painéis, 16, 18 e 19, com potências pico de 3.68, 4.14 e 4.37kW, respetivamente, mantendo-se a mesma potência máxima do inversor de 3,6 kW. Fez-se o mesmo para um painel colocado num seguidor de ponto de máxima potência solar (MPPT) de dois eixos com variação de inclinação entre os 10° e 80°, e variação azimutal entre -120 e 120°. Para este último, só foram usados painéis com 16 e 18 módulos, com potências pico de 3.68 e 4.14 kW, pois, como o seguidor solar apresenta maior produção o inversor com potência máxima de saída de 3.6 já não comportava o painel com 19 módulos.

Como se pode constatar no quadro 5.5 – c) a utilização de um seguidor solar aumenta, neste caso, a produção elétrica em 35,9% relativamente ao módulo PV fixo com orientação otimizada.

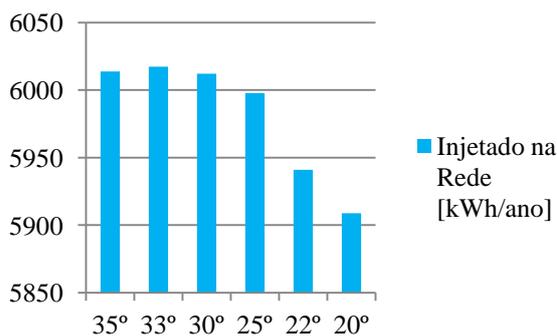


Figura 5.4 – Produção AC, quando se faz variar inclinação a).

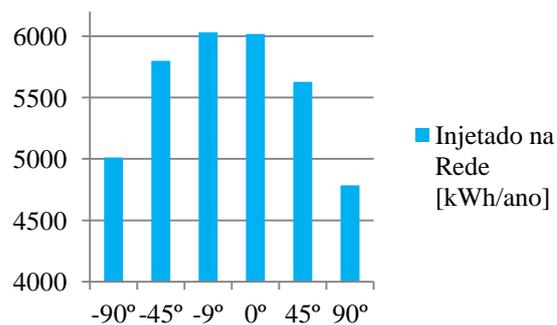


Figura 5.5 – Produção AC, quando se faz variar o azimute b).

Por outro lado, o acréscimo de módulos, se for feito de modo a que o inversor suporte esse acréscimo, mantém a produção elétrica por kW de potência pico do painel e por ano, e, por conseguinte a central PV passa a ter uma produção anual total maior, sempre com a mesma potência nominal do inversor, mantendo deste modo o acesso à tarifa bonificada. Mesmo que a médio prazo a tarifa bonificada deixe de ser interessante, o custo da energia será mais baixo, pois o investimento por watt-pico será tanto menor quanto maior for a central fotovoltaica. Com o seguidor solar não foi possível colocar 19 módulos para um inversor de 3,6kW de potência máxima.

5.2.4 – Estudo do Painel Fotovoltaico Colocado na Moradia

Os módulos selecionados continuam a ser REC, pois apresentaram um bom rendimento, mas escolheu-se um módulo com a mesma área do modelo anteriormente testado (1,665 x 0,991 m²) e maior potência, porque o espaço disponível na cobertura de quatro águas, é bastante limitado. Por isso escolheram-se 9 módulos 250PE, de 250W de potência-pico, com células de silício poli-cristalino, de modo a caberem na água menor da cobertura e foram orientados diversamente para permitir perceber qual a contribuição da geração fotovoltaica para o desempenho térmico do edifício, à luz do RCCTE. Foi também comparado com um seguidor solar com a mesma potência.

A potência do gerador PV de 2,25kWp fica aquém da potência máxima consignada pelo *DL n.º 363/2007*, republicado pelo *DL n.º 118-A/2010*, para regime bonificado e a energia por unidade de potência pico ficará mais cara pois o investimento inicial por Watt de potência pico é também maior. Optou-se por reduzir a dimensão da superfície geradora porque, não sabendo se existe algum outro edifício de arrumos ou com outra utilidade, bem orientado, onde os módulos pudessem ser colocados, considerou-se melhor não descaracterizar os edifícios e ter algum cuidado no impacto visual e ambiental que estes geradores têm.

O ideal seria no momento da conceção do edifício terem sido previstos soluções integradas. Por exemplo prever coberturas bem orientadas com módulos integrados ou substituir a tijoleira na parede no alçado principal, por módulos colocados como revestimento em elementos descontínuos. Assim economizar-se-ia a aplicação da tijoleira. As palas também poderiam ter sido pensadas de modo a integrar módulos PV.

O painel de nove módulos foi colocado em várias posições: em seguidor de máxima potência solar, em painel fixo com azimute a variar entre Este e Oeste, com inclinação de 22° por ser a inclinação das águas da cobertura, e, para cada azimute escolhido, comparado com as inclinações otimizadas. Estas várias alternativas foram colocadas em Coimbra, Figueira da

Foz, Bragança, Guarda, Castelo Branco, Évora e Faro e obtiveram-se os resultados que constam do Anexo E.

Nas figuras 5.6 e 5.7 constam os resultados obtidos pelo software PVSYST para um sistema de nove módulos REC 250PE, de silício poli-cristalino, com potência pico de 2,25 kW, potência máxima de saída em AC do inversor de 2,2 kW, 14,9 m² de dimensão do painel e sem sombreamento do horizonte.

Na figura 5.6 ilustra-se a variação de produção em kWh/ano, para a mesma cidade, Coimbra, para os azimutes, W, SW, S, SE e E, considerando duas inclinações 22° e otimizada. Comparou-se ainda com o mesmo painel em seguidor solar.

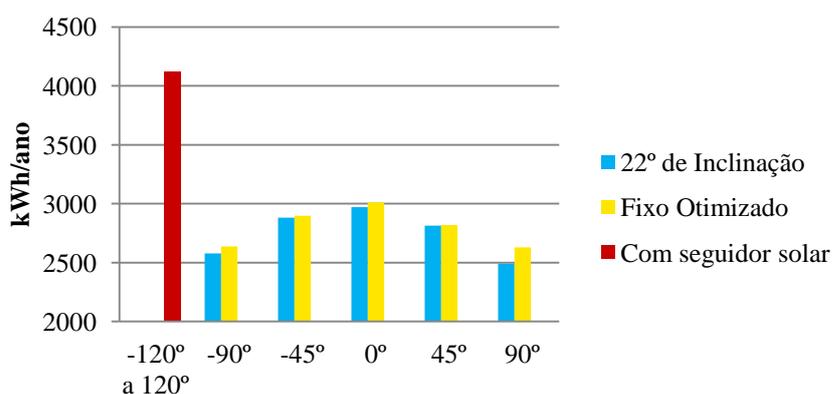


Figura 5.6 – Variação da produção elétrica para um painel sc-Si com 2,25 kWp, em Coimbra.

Da observação desta figura ou do anexo C, pode verificar-se que, para cada azimute de Este a Oeste, a diferença de produção com o painel colocado a 22° e inclinação otimizada existe mas não é significativa.

Na figura 5.7 comparou-se a produção para as diversas cidades, utilizando seguidor solar, painel fixo orientado a sul, com inclinação otimizada e com 22° de inclinação. Do mesmo modo, as diferenças entre as duas inclinações não são significativas, já a utilização de seguidor solar trás um grande acréscimo de produção, cerca de 37% em média relativamente à orientação ótima.

De referir que Bragança e Guarda apesar de estarem a uma latitude maior que Coimbra ou Figueira e de serem mais frias (I3) produzem mais energia PV, provavelmente porque o número de horas de insolação é maior. Castelo Branco apresenta uma produção ligeiramente

menor que Bragança ou Guarda, sendo possível que embora a sua latitude seja menor, esteja a ser penalizada pelas suas elevadas temperatura (V3).

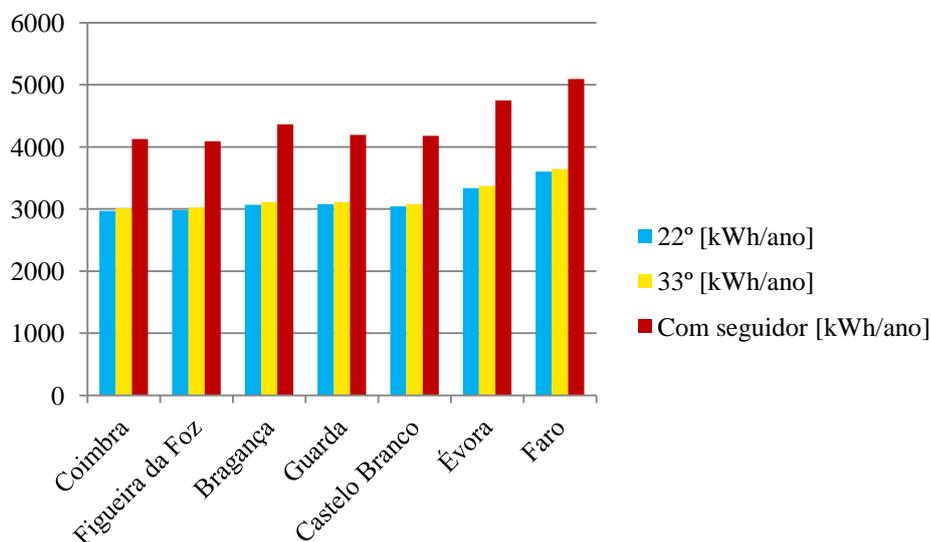


Figura 5.7 – Variação da produção de painel em seguidor solar e orientado a sul, com 22° e com 33° inclinação.

5.3 Avaliação da Contribuição de Coletores Solares Térmicos

De acordo com o n.º 1, a) do art.º 9º do *DL 363/2007*, republicado pelo *DL 118-A/2010*, para o produtor ter acesso ao regime bonificado é necessário que “o local de consumo associado à microprodução disponha de coletores solares térmicos com um mínimo de 2 m² de área útil de coletor ou caldeira a biomassa...”. No entanto decidiu-se seguir a recomendação RCCTE de 1 m² de coletor por ocupante. A tipologia da moradia é um T4 e conseqüentemente o número de habitantes será de cinco pessoas o que perfaz 5 m². Assim foram escolhidos dois coletores Rocca PS 2.4, de dimensões individuais, 1.248 x 2.098 m², que perfazem uma área coletora de 4.72m². Considerou-se um consumo de água de 40 litros por habitante e por dia, com temperatura de 60°, e uma temperatura inicial média da água a aquecer de 15°. O depósito dimensionou-se para mais 50% das necessidades de consumo, ou seja 300 litros. O sistema de apoio é a eletricidade.

Foi efetuado um levantamento da produção para várias orientações nas cidades já referidas anteriormente. Escolheu-se a colocação do coletor sobre a cobertura inclinada com as orientações SE, Sul e SW, as inclinações 22°, 34° e 44° e ainda sobre a cobertura plana por cima da garagem, que trás a vantagem de poder orientar o painel para sul embora esteja sombreado a oeste pela cobertura inclinada da casa. Para este último caso utilizou-se, no

SolTerm o sombreamento conforme é visível na figura 5.2. Os resultados são apresentados no quadro 5.6, mas a figura 5.8 mostra o gráfico para a variação de valores em Coimbra, fazendo variar as posições dos painéis.

Quadro 5.6 - Produção de Coletores Solares Térmicos

Coletor Rocca PS 2.4, de dimensões individuais, 1.248 x 2.098 m², que perfazem uma área coletora de 4.72m², colocado sobre a cobertura inclinada com as orientações SE, Sul e SW, as inclinações 22°, 34° e 44° e ainda sobre a cobertura plana por cima da garagem

Azimute	Coimbra		Figueira da Foz		Bragança		Guarda		Castelo Branco		Évora		Faro	
	Inclinação	kWh/ano	Inclinação	kWh/ano	Inclinação	kWh/ano	Inclinação	kWh/ano	Inclinação	kWh/ano	Inclinação	kWh/ano	Inclinação	kWh/ano
SE	40°	2305	40°	2304	43°	2274	40°	2273	41°	2388	42°	2496	41°	2526
SE	34°	2298	34°	2296	34°	2255	34°	2263	34°	2375	34°	2482	34°	2515
SE	22°	2247	22°	2243	22°	2188	22°	2207	22°	2316	22°	2424	22°	2460
Sul	44°	2450	45°	2456	47°	2414	45°	2433	45°	2540	46°	2666	44°	2670
Sul	34°	2427	34°	2431	34°	2377	34°	2402	34°	2506	34°	2626	34°	2642
Sul	22°	2345	22°	2343	22°	2283	22°	2310	22°	2413	22°	2529	22°	2557
Sul (cob. pl.)	34°	2417	34°	2420	34°	2366	34°	2394	34°	2497	34°	2615	34°	2633
SW	42°	2356	42°	2347	44°	2313	43°	2327	43°	2419	46°	2559	43°	2570
SW	34°	2340	34°	2332	34°	2285	34°	2307	34°	2399	34°	2531	34°	2551
SW	22°	2278	22°	2269	22°	2211	22°	2238	22°	2333	22°	2458	22°	2487

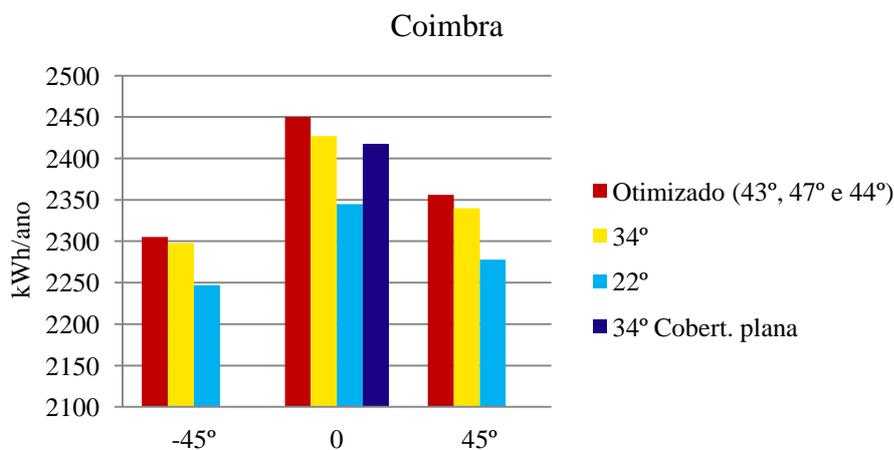


Figura. 5.8 - Produção anual de energia térmica de coletor Rocca PS 2.4, de 4,72 m².

Na figura 5.9 é visível a variação da produção de energia térmica quando o coletor solar se encontra posicionado na cobertura plana, sobre a garagem, e com orientação a sul com inclinação de 34°. Comparativamente com os módulos PV, a produção de energia térmica já tem uma variação de acordo com a latitude.

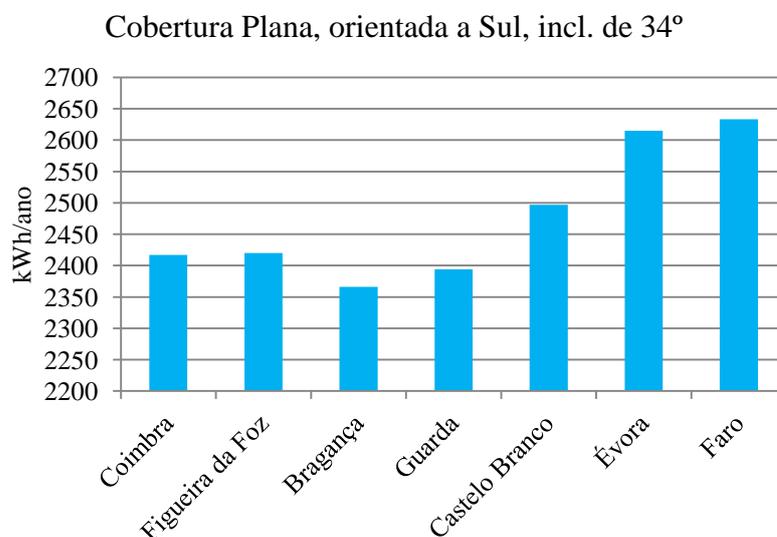


Figura 5.9 – Comparação da produção de energia térmica nas cidades.

5.4 Desempenho Térmico da Moradia

5.4.1 Balanço Energético

Fazendo a junção dos resultados obtidos em 5.2.4 para a produção de energia PV, (módulos atrás referidos que perfazem uma potência pico de 2,25 kW) e em 5.3, para o cálculo de energia (E_{solar}) para preparação de AQS (dois coletores Rocca PS 2.4 com 4,72 m² de área), com os resultados obtidos para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, e, escolhendo as orientações da moradia e posicionamentos dos painéis mais significativos (Figura 5.10), obtiveram-se, para a cidade de Coimbra, os resultados que constam no quadro 5.7. Para os módulos PV escolheu-se a mesma inclinação que a da cobertura, 22°, pois sendo uma superfície que abrange quase toda a água, ficaria mais harmoniosa. Para o coletor solar aceitou-se uma inclinação maior pois a redução de produção já é significativa e a área é menor.

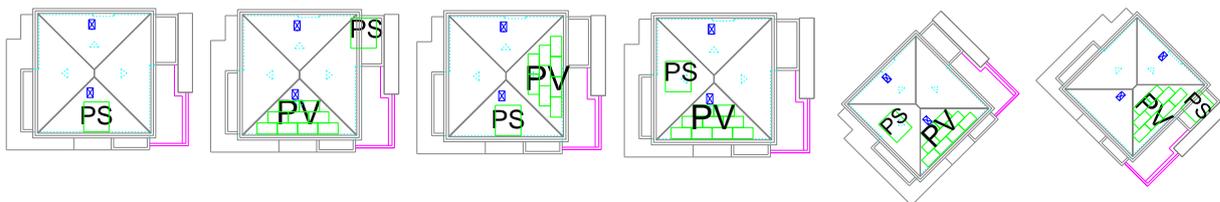


Figura 5.10 – Orientações da moradia

Quadro 5.7 – Resultados integrados na análise térmica pelo RCCTE, em Coimbra

Orientação do Edifício	PS	E_{solar}	PV	E_{ren}	$N_{ic} * A_p$	$0,1 * N_{ic} * A_p / 4$	$N_{vc} * A_p$	$0,1 * N_{vc} * A_p / 3$	Q_a / η_a	Contrib. E_{ren} para a. San	E_{ren} para aquec. e arrefec. ambiente	Energia prod. não utilizada
		kwh/ano		kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kWh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano
Alçado principal a sul	Sul, 34°	2427	seguidor	4125	11570	289	529	18	4245	1818	307	2000
	S c.p., 34°	2417	Sul, 22°	2971	11570	289	529	18	4245	1828	307	836
	Sul, 34°	2427	Este, 22°	2579	11570	289	529	18	4245	1818	307	454
	W, 34°	2037	Sul, 22°	2971	11570	289	529	18	4245	2208	307	456
Alç. Pr. SE	SW, 34°	2340	SE 22°	2881	11693	292	575	19	4245	1905	311	664
Alç. Pr. SW	S c.p., 34°	2417	SE 22°	2881	11880	297	582	19	4245	1828	316	736

Sendo A_p a área útil de pavimento, $N_{ic} * A_p$ e $N_{vc} * A_p$ as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, anuais, para todo o edifício e $N_{ic} * A_p / \eta_i$ e $N_{vc} * A_p / \eta_v$ a energia, neste caso elétrica, que se tem de consumir para obter as necessidades nominais energia térmica da habitação.

Considerando que “os fatores de ponderação das necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de AQS têm em conta os padrões habituais de utilização dos respetivos sistemas” (nº 4 do artº 15, do RCCTE), ou seja 10 %, todas as posições tem um salto energético positivo, ou seja existe um excedente de produção de energia que não é consumida nas necessidades para aquecimento e arrefecimento ambientes e para aquecimento de águas sanitárias.

A utilização de seguidor solar PV e a colocação do coletor solar térmico na água da cobertura orientada a sul, com inclinação de 34°, é, sem sombra de dúvida a mais produtiva, pois obtém-se um excedente de 2000kWh/ano. No entanto a colocação do painel PV na cobertura orientado a sul, com 22° de inclinação e do coletor solar térmico na cobertura plana (cp), sobre a garagem é, relativamente às restantes situações consideradas, a que apresenta melhor comportamento, pelo que nos vamos restringir a estas duas situações na análise para as outras cidades. No quadro 5.8 e nas figuras 5.11 e 5.12, mostram-se os resultados para as várias cidades, quando se colocam os painéis PV e solares nas duas posições referidas.

Se olharmos para as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento (Nic) e de aquecimento (Nvc), o seu valor mais baixo, quando o alçado principal se encontra virado a sul, indicia que a moradia está claramente desenhada para ser construída nessa posição. De realçar que quer as estratégias bioclimáticas, quer os sistemas passivos são muito importantes para o bom desempenho térmico e energético de um edifício.

Quadro 5.8 – Resultados integrados, obtidos com o alçado principal da moradia orientado a sul.

	PS	E_{solar}	PV	E_{ren}	Nic *Ap	$0,1*Nic*Ap/4$	Nvc*Ap	$0,1*Nvc*Ap/3$	Qa/ηa	Contrib. E_{ren} para ag. san	E_{ren} para aquec. e arrefec. ambiente	Energia prod. não utilizada
		kwh/ano		kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano	kwh/ano
Coimbra	Sul, 34°	2427	seguidor	4125	11570	289	529	18	4245	1818	307	2000
	S c.p., 34°	2417	Sul, 22°	2971	11570	289	529	18	4245	1828	307	836
Figueira da Foz	Sul, 34°	2431	seguidor	4091	11077	277	456	15	4245	1814	292	1984
	S c.p., 34°	2420	Sul, 22°	2982	11077	277	456	15	4245	1825	292	865
Bragança	Sul, 34°	2377	seguidor	4361	28228	706	529	18	4245	1868	723	1769
	S c.p., 34°	2366	Sul, 22°	3067	28228	706	529	18	4245	1879	723	465
Guarda	Sul, 34°	2402	seguidor	4192	29679	742	456	15	4245	1843	757	1591
	S c.p., 34°	2394	Sul, 22°	3076	29679	742	456	15	4245	1851	757	468
Castelo Branco	Sul, 34°	2506	seguidor	4180	13832	346	1920	64	4245	1739	410	2031
	S c.p., 34°	2497	Sul, 22°	3044	13832	346	1920	64	4245	1748	410	886
Évora	Sul, 34°	2626	seguidor	4747	11031	276	2837	95	4245	1619	370	2758
	S c.p., 34°	2615	Sul, 22°	3337	11032	276	2837	95	4245	1630	370	1336
Faro	Sul, 34°	2642	seguidor	5092	8469	212	2817	94	4245	1603	306	3183
	S c.p., 34°	2633	Sul, 22°	3604	8469	212	2817	94	4245	1612	306	1686

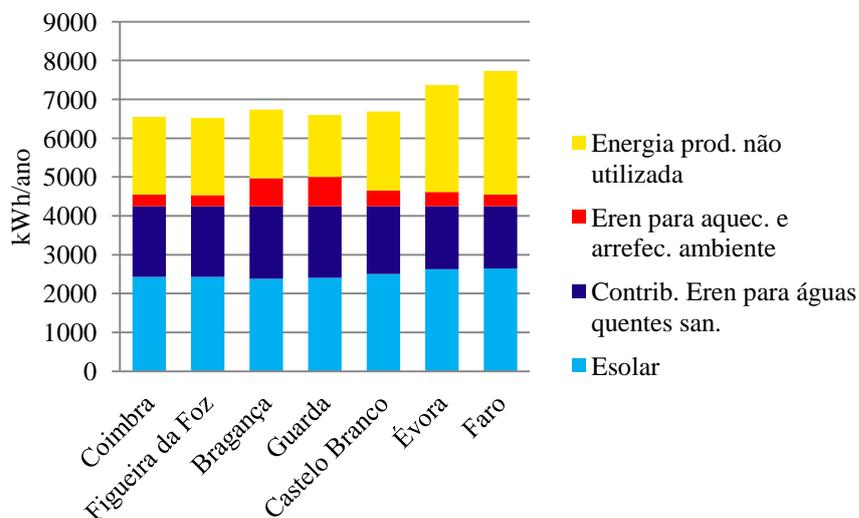


Figura 5.11 – Distribuição da energia produzida, por um painel PV colocado em seguidor solar e por um coletor solar térmico colocado sobre a cobertura plana, orientado a sul e com inclinação de 34°.

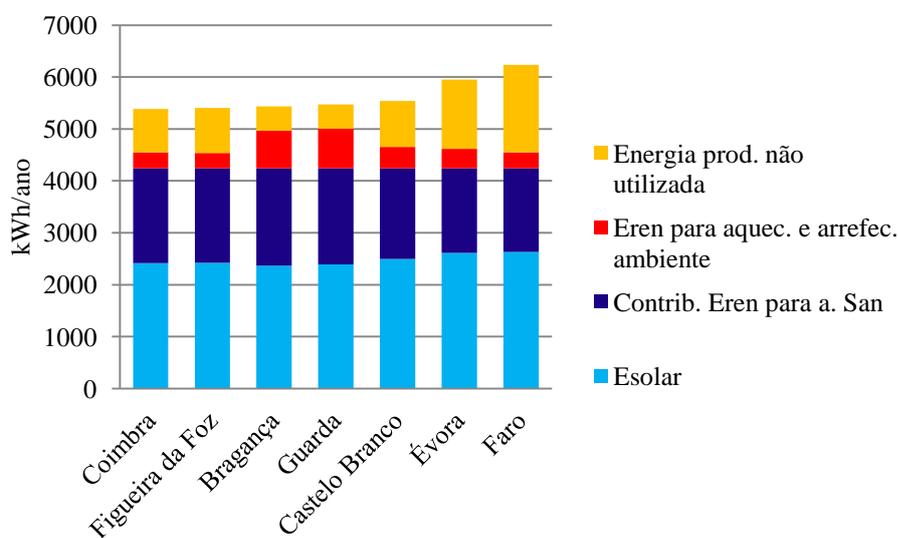


Figura 5.12 - Distribuição da energia produzida, por um painel PV colocado sobre a água da cobertura inclinada, orientado a sul com inclinação de 22° e por um coletor solar térmico colocado sobre a cobertura plana, orientado a sul e com inclinação de 34°.

Em todas as cidades o balanço energético é positivo, isto é, a energia total produzida não é completamente consumida pelo aquecimento de águas sanitárias, aquecimento e arrefecimento do ambiente considerando os valores nominais definidos pelo RCCTE e

considerando que, como já se referiu acima, conforme os hábitos dos portugueses, apenas 10% das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento são consumidas.

5.4.2 Necessidades Nominais de Energia

De acordo RCCTE, a contribuição das energias renováveis são consideradas quer no cálculo do indicador das necessidades globais anuais específicas de energia primária, N_{tc} quer no cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac} (anexo VI do RCCTE) que é dada por:

$$N_{ac} = \frac{Q_a - E_{solar} - E_{ren}}{\eta_a A_p} \quad (2)$$

Sendo Q_a a energia despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, η_a a eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS.

Em todas as cidades escolhidas o N_{ac} é nulo pois esta energia é completamente assegurada pela produção de energia dos coletores térmicos e da central PV (ver quadro 5.7). Na equação (2) não se entrou com a totalidade do E_{ren} , mas apenas com o valor suficiente para anular o N_{ac} . Ficando um $E_{ren.exc.}$, que não foi utilizado, para entrar na equação (5).

O indicador das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}) é dado pela equação (3) e o seu valor limite é dado pela equação (4).

$$N_{tc} = 0,1 \frac{N_{ic}}{\eta_{ic}} F_{pui} + 0,1 \frac{N_{vc}}{\eta_v} F_{puv} + N_{ac} F_{pua} \quad [\text{kgep/m}^2/\text{ano}] \quad (3)$$

$$N_t = 0,9(0,01N_i + 0,01N_v + 0,15N_a) \quad [\text{kgep/m}^2/\text{ano}] \quad (4)$$

Sendo N_{ic} , N_{vc} e N_{ac} os valores das necessidades nominais anuais por unidade de área de pavimento, de aquecimento, de arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias, respetivamente, N_i , N_v e N_a são os valores limites correspondentes, definidos nos n.ºs 1, 2 e 3 do artº 15 do RCCTE. F_{pui} , F_{puv} e F_{puc} são fatores de conversão entre energia útil necessária e energia primária. Tomam os valores de 0,290kgep/kWh se a energia primária for eletricidade da rede nacional, 0,086 kgep/kWh se combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, e, zero se a energia primária for proveniente de fontes renováveis (esta última está de acordo com a resposta N.1 da ADENE).

No Anexo F encontra-se o resumo da folha de cálculo do ITECONS, dos valores obtidos e das necessidades de energia para a moradia em questão, colocada nas diferentes localizações analisadas, apenas utilizando a contribuição de E_{ren} para AQS, não considerando, portanto, a contribuição de $E_{ren.exc.}$

Segundo a Adene, quando uma parte do N_{ic} (ou N_{vc}) é fornecido por energias renováveis calcula-se qual a percentagem dessa parcela e divide-se em duas partes ponderadas, cada uma correspondente à energia primária utilizada. O F_{pu} toma o valor correspondente à energia primária daquela parcela. Porém não é referida a forma como a percentagem de utilização é calculada, ou seja se se toma como valor para a energia fornecida $0,1N_{ic}/\eta_i$ e $0,1N_{vc}/\eta_v$ ou N_{ic}/η_i e N_{vc}/η_v , ou seja se se considera que se consome eletricidade (neste caso) para satisfazer a totalidade nas necessidades nominais para aquecimento e arrefecimento ou se se entende que apenas se aquece e arrefece a habitação em 10 % daqueles valores. Considerando a situação mais desfavorável e tendo igualmente em conta a resposta H.3 da Adene [1]

$$N_{tc} = 0,1 \left(\frac{N_{ic}}{\eta_{ic}} - \frac{N_{vc}}{N_{ic}+N_{vc}} \times \frac{E_{ren.exc}}{A_p} \right) F_{pui} + 0,1 \left(\frac{N_{vc}}{\eta_v} - \frac{N_{vc}}{N_{ic}+N_{vc}} \times \frac{E_{ren.exc}}{A_p} \right) \times F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua} \quad (5)$$

Como o aquecimento e arrefecimento são obtidos por ar condicionado (bomba de calor) $\eta_i=4$ e $\eta_v=3$.

Nos quadros 5.9 e 5.10 resumem-se os valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias bem como o indicador das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária e respetivos valores limites máximos, tendo agora em consideração a totalidade da contribuição de E_{ren} para o cálculo.

Quadro 5.9 – Valores das necessidades de energia nominais e limite para PV em seguidor solar e PS na água orientada a sul.

	Eren.exc	Eren.exc/Ap	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt	Ntc/Nt
	[KWh/m2/ano]							kgep/m2/ano			
Coimbra	2306,85	11,89	59,66	76,9	2,73	18	0	30,49	0,11	4,97	0,02
Figueira da Foz	2276,35	11,74	57,11	76,41	2,35	16	0	30,49	0,10	4,95	0,02
Braçança	2492,65	12,85	145,54	145,83	2,73	18	0	30,49	0,71	5,59	0,13
Guarda	2348,65	12,11	153,02	151,29	2,35	16	0	30,49	0,78	5,62	0,14
Castelo Branco	2441,25	12,59	71,32	86,32	9,9	26	0	30,49	0,25	5,13	0,05
Évora	3128,05	16,13	56,87	73,43	14,63	32	0	30,49	0,09	5,06	0,02
Faro	3488,55	17,99	43,67	57,07	14,52	32	0	30,49	0,00	4,92	0

Quadro 5.10 – Valores das necessidades de energia nominais e limite para PV fixo na água orientada a sul, com e PS na cobertura plana, orientado a sul, com 34° inclinação

	Eren.exc	Eren.exc /Ap	N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v	N _{ac}	N _a	N _{tc}	N _t	N _{tc/Nt}
	[KWh/m2/ano]							kgep/m2/ano			
Coimbra	1142,85	5,89	59,66	76,9	2,73	18	0	30,49	0,29	4,97	0,06
Figueira da Foz	1157,05	5,97	57,11	76,41	2,35	16	0	30,49	0,26	4,95	0,05
Braçaça	1187,95	6,13	145,54	145,83	2,73	18	0	30,49	0,90	5,59	0,16
Guarda	1225,15	6,32	153,02	151,29	2,35	16	0	30,49	0,95	5,62	0,17
Castelo Branco	1295,85	6,68	71,32	86,32	9,9	26	0	30,49	0,42	5,13	0,08
Évora	1706,75	8,80	56,87	73,43	14,63	32	0	30,49	0,30	5,06	0,06
Faro	1991,65	10,27	43,67	57,07	14,52	32	0	30,49	0,16	4,92	0,03

Os valores de N_{ic} são, como é óbvio, mais baixos do que os obtidos no anexo D, ou seja a contribuição das energias renováveis para o aquecimento e arrefecimento faz que a moradia melhore os seus indicadores das necessidades energéticas.

De referir que o N_{ic} , quando a moradia está localizada na Guarda, ultrapassa o valor de N_i , não cumprindo as exigências do RCCTE. Tem, portanto, de se tomar medidas para obstar a esta situação, fazendo diminuir o N_{ic} , que se pode conseguir aumentando, por exemplo, a espessura do isolamento térmico da envolvente para 8 cm, colocando janela dupla nos vãos envidraçados ou instalando dispositivos de admissão de ar nas fachadas autorreguláveis.

5.5 Estimativa Económica

5.5.1 Valor Atual Líquido (VAL)

Para avaliar a viabilidade económica da central doméstica de microprodução optou-se por utilizar o método do Valor Atual Líquido (VAL), que é um dos processos mais comuns de avaliação da viabilidade económica de um projeto. O VAL (equação 6) determina-se calculando o somatório dos fluxos de tesouraria (“cash flow”) atualizados à taxa escolhida, considerando como fluxos negativos, o investimento e as despesas de manutenção (c_n) e como fluxos positivos as receitas geradas (b_n). Os fluxos de tesouraria ($f_n=b_n+c_n$) são o conjunto de movimentos monetários ligados ao projeto - custos de investimento, manutenção, proveitos - assumindo-se que os fluxos ocorrem no fim do período a que respeitam, excetuando o investimento inicial.

Assim, o VAL será dado pela equação:

$$VAL = f_0 + \frac{f_1}{(1+i)} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{f_n}{(1+i)^n} \quad (6)$$

sendo i a taxa de atualização, que traduz o facto de um fluxo monetário futuro ter hoje um valor real menor que o seu valor nominal. Nesta taxa também pode ser incorporada a rendibilidade que se espera. Para se comparar valores têm de se reduzir valores futuros ao seu valor atual ou aplicar-lhes uma taxa do que se espera que eles rendam.

Segundo Castro, em 2008, os custos médios de investimento para sistemas domésticos ligados à rede (microgeração) oscilavam entre 5 a 6 €/Wp. Os valores obtidos em algumas empresas comercializadoras quando consideramos o valor máximo de potência pico permitida pela legislação, rondavam os 3 a 4 €/Wp para os sistemas fixos e 4 a 5 €/Wp para sistemas com seguidor solar. A diferença de investimento inicial entre o painel fixo e o sistema com seguidor solar ronda o valor de 5000 €. Se a potência pico da central doméstica diminuir, os custos por Watt de potência pico, aumentam.

No quadro 5.12 e na figura 5.13 apresenta-se a estimativa da evolução do VAL para uma central doméstica com a potência pico de 4,14 kW, instalada num seguidor solar (quadro 5.5 – c)). Os cálculos são apresentados para uma duração de projeto de 25 anos por ser este o período habitual em que os fabricantes fornecem uma garantia de produção, normalmente 90%, durante os primeiros 10 anos e 80% no final de 25 anos. Considerou-se, de acordo com a ficha técnica de fabricante, um decréscimo de produção anual de 0,7%, uma taxa de atualização de 3%, correspondente apenas à taxa média de inflação esperada, e uma despesa anual de 150€ atualizado ao momento inicial, para manutenção e seguros.

Apenas se optou pela tarifa bonificada (quadro 5.11) de venda, durante os primeiros nove anos, pois comparando-a, em cada ano, com o valor futuro do preço de compra da eletricidade e tendo em conta uma inflação de 3%, no décimo ano esta última ultrapassa a primeira. A partir do décimo ano utilizou-se a tarifa de venda igual à tarifa de compra, pois como estipula o nº 4 do artº 11, do DL 363/2007, republicado em 2010, o produtor pode renunciar à aplicação do regime bonificado e que se afigura mais vantajoso.

Quadro 5.11 – Tarifas bonificadas e de compra

	2010	2011	2012	2013
Tarifa de referência 1º período 8 anos [€/kWh]	0,400	0,380	0,326	0,272
Tarifa de referência 2º período 7 anos [€/kWh]	0,240	0,220	0,185	0,150
Tarifa de compra à RESP [€/kWh]	0,129	0,133	0,139	

Importa referir que nestes casos em que a central doméstica está ligada à RESP toda a energia elétrica produzida é entregue à rede, por conseguinte, vendida, e, toda a energia consumida tem de ser comprada, ou seja o consumidor tem de pagar IVA da compra.

Quadro 5.12 – Estimativa do VAL para uma central com 4,14 kWp, em seguidor solar

Ano	Produção	Tarifário	Rendimento	Rendimento atualizado	Despesas	VAL	
	kWh/ano	€/kWh	€	€	€	€	
	2012				-19000,00	-19000,00	
1	2013	8177	0,326	2665,70	2588,06	-150	-16561,94
2	2014	8120	0,326	2647,04	2495,09	-150	-14216,85
3	2015	8063	0,326	2628,51	2405,46	-150	-11961,39
4	2016	8006	0,326	2610,11	2319,05	-150	-9792,34
5	2017	7950	0,326	2591,84	2235,75	-150	-7706,59
6	2018	7895	0,326	2573,70	2155,43	-150	-5701,16
7	2019	7840	0,326	2555,68	2078,00	-150	-3773,15
8	2020	7785	0,326	2537,79	2003,36	-150	-1919,79
9	2021	7730	0,185	1430,08	1096,04	-150	-973,76
10	2022	7676	0,139	1066,97	1066,97	-150	-56,79
11	2023	7622	0,139	1059,50	1059,50	-150	852,71
12	2024	7569	0,139	1052,08	1052,08	-150	1754,80
13	2025	7516	0,139	1044,72	1044,72	-150	2649,52
14	2026	7463	0,139	1037,41	1037,41	-150	3536,92
15	2027	7411	0,139	1030,14	1030,14	-150	4417,07
16	2028	7359	0,139	1022,93	1022,93	-150	5290,00
17	2029	7308	0,139	1015,77	1015,77	-150	6155,77
18	2030	7257	0,139	1008,66	1008,66	-150	7014,44
19	2031	7206	0,139	1001,60	1001,60	-150	7866,04
20	2032	7155	0,139	994,59	994,59	-150	8710,63
21	2033	7105	0,139	987,63	987,63	-150	9548,26
22	2034	7056	0,139	980,72	980,72	-150	10378,97
23	2035	7006	0,139	973,85	973,85	-150	11202,83
24	2036	6957	0,139	967,03	967,03	-150	12019,86
25	2037	6908	0,139	960,26	960,26	-150	12830,12

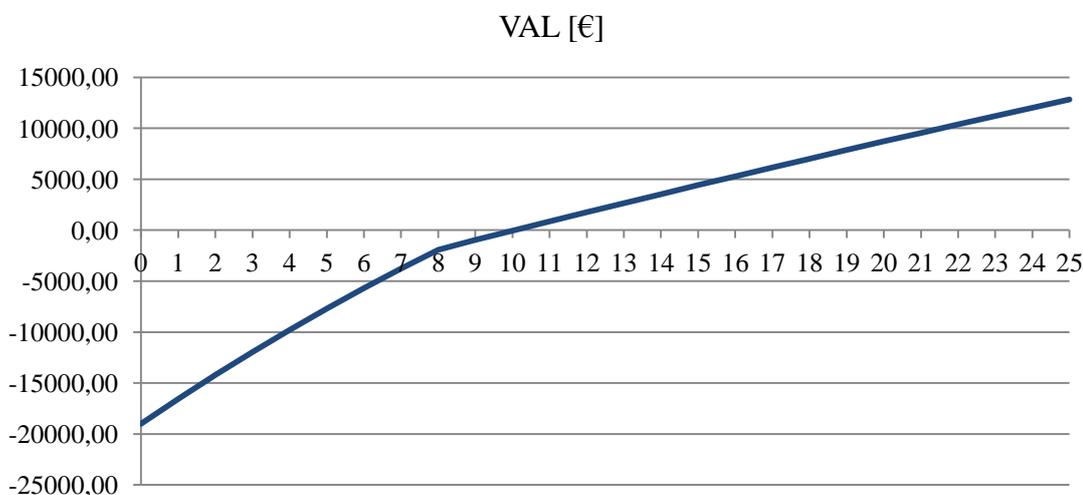


Figura 5.13 – Representação da evolução do VAL para uma potência pico de 4,14kW.

Estima-se assim, que o período de recuperação, nestas condições, será pouco superior a dez anos.

Se o painel PV for fixo com orientação otimizada o período de recuperação mantém-se, embora a produção seja menor, pois o investimento inicial é menor, bem como as despesas anuais, necessitando apenas de limpeza regular.

Relativamente às duas opções que foram tomadas no que diz respeito à moradia em estudo (potência pico de 2,25kW e 22° de inclinação para o fixo), estima-se o período de recuperação de 14 anos para o caso de seguidor solar e 15,5 anos para o sistema fixo (Figura 7.12).

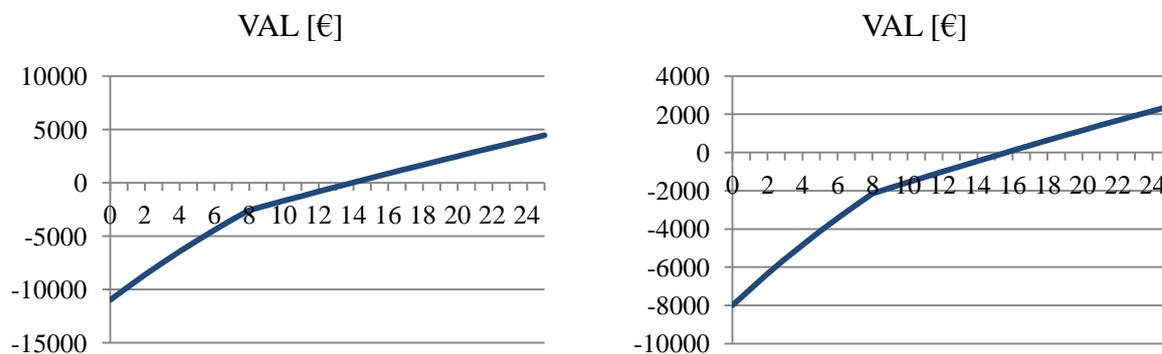


Figura 7.14 – Evolução do VAL para módulos com 2,25kWp, em seguidor solar, à esquerda e fixos, com 22° de inclinação, à direita.

De referir ainda que como, em 2013, a tarifa bonificada vai baixar para 0,272, para os primeiros 8 anos, o período de recuperação (“pay-back”) aumentará para cerca de 14 anos, se a potência pico instalada for de 4,14 kW e para 20 e 24 anos caso a potência pico seja reduzida para 2,25 kW instalada em seguidor solar ou suporte fixo, respetivamente.

5.5.2 Comentário

Neste momento não parece haver um grande incentivo ao investimento privado nestas tecnologias, pois apesar dos cálculos se basearem numa taxa minimalista, que não incorpora o preço passivo ou ativo do dinheiro (crédito obtido ou aplicação alternativa), os períodos de recuperação são demasiado longos e, por conseguinte, está-lhe associada grande incerteza. Para além disso, a rendibilidade acumulada no fim de 25 ano é de 68%, ou seja, um média anual de 1,7%.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi traçado o panorama geral da situação energética europeia e portuguesa, permitindo perceber que, em particular para o caso de Portugal, este, depende enormemente dos combustíveis fósseis, o que é cada vez mais uma situação complicada, quer em termos ambientais e de sustentabilidade, quer em termos económicos, pois esta energia primária é toda importada. A utilização de fontes de energia renováveis impõe-se como uma alternativa excelente a esta situação, quer pelo seu carácter não poluente, quer por ser um recurso inesgotável. Deste modo encontra-se a ser largamente desenvolvida e implementada pela União Europeia.

No caso dos edifícios, tanto as energias eólica como a fotovoltaica são as que apresentam melhores condições de aplicação. No caso particular da energia fotovoltaica, o nosso país apresenta uma posição privilegiada devido aos elevados níveis de radiação e de insolação. O recurso eólico também se revela interessante para o setor residencial em particular para locais sem acesso à RESP em conjugação com geradores PV, ou em zonas urbanas, existindo já comercializadas algumas pequenas turbinas para uso doméstico, algumas especialmente preparadas para trabalhar em ambientes onde exista maior turbulência.

Depois de apresentadas as várias tecnologias fotovoltaicas, desde o silício, com uma grande cota de mercado, até à talvez mais promissora tecnologia em fase de estudo, as nanoantenas, com rendimentos da ordem dos 80%, passando pelos filmes finos que exigem um menor consumo de matéria-prima, foi abordado o tema da instalação dos módulos fotovoltaicos em edifícios. Considerando-se que, além de se almejar o bom rendimento do gerador PV se deverá ser cuidadoso na sua aplicação, quer esta se faça por adição quer por integração no edifício, pois o valor estético arquitetónico é importante, devendo-se optar preferencialmente e se possível, caso os edifícios sejam novos, pela integração, sendo que esta utilização tem, igualmente a vantagem de se economizar nos materiais de construção.

Foi efetuado um levantamento de dados para várias orientações, inclinações e zonas climáticas para se ter uma ideia do comportamento dos módulos, confirmando-se que as orientações mais vantajosas se situam entre SE e SW e a inclinação ótima andarà próxima de 33°. Com a utilização de seguidor solar, obteve-se um aumento médio de produção próximo de 37%, relativamente ao painel fixo orientado a sul e com 33° de inclinação, contudo deve ter-se em conta que para o primeiro o investimento inicial é mais elevado, vindo o período de

retorno sensivelmente igual para ambos, apresentando igualmente as desvantagens de ocupar mais espaço e requerer mais manutenção. Entre as várias localizações estudadas, verificou-se que para Bragança, embora se encontre mais a norte, obteve-se maior produção que para a Guarda e por sua vez maior que em Castelo Branco. Coimbra e Figueira da Foz foram de todas as cidades, aquelas que apresentaram menores produções, comprovando que a produção PV não está dependente apenas da latitude mas também do grau de insolação e da temperatura.

Foi feito o estudo do comportamento térmico para uma moradia tipo, localizada em várias cidades, incluindo a produção fotovoltaica da central instalada, tendo-se concluído que, se os padrões de consumo dos portugueses forem de 10% dos valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, mesmo com painéis com potência-pico inferior ao estabelecido para regime bonificado no DL que define o regime jurídico da microprodução, a produção de eletricidade ainda pode ser muito superior ao consumo.

A utilização de gerador PV para o cálculo do desempenho térmico da moradia segundo o RCCTE, vem favorecer os resultados, apresentando a moradia um bom desempenho térmico com uma classificação A+, em todas as zonas climáticas analisadas e sendo a relação entre N_{tc} e N_t inferior em a 0,10 na sua maioria, apenas na Guarda esta relação atinge 0,17 quando se tem o gerador PV fixo.

Contudo, apesar de as diretivas emanadas pela União Europeia irem no sentido de se aumentar largamente a produção de energia a partir de fontes renováveis, houve em Portugal um recuo relativamente aos incentivos proporcionados à produção descentralizada, nomeadamente na microprodução, no que diz respeito ao tarifário de venda e aos benefícios fiscais em sede de IRS e de IVA, sendo que, neste momento, não parece que seja vantajoso em termos económicos, pois o período de retorno do investimento é largo, associado portanto a um grau de incerteza grande. Para se tornar proveitoso tem de se olhar a outros benefícios, como sejam os ambientais.

Para trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento do tema de integração dos módulos fotovoltaicos nos edifícios ou ainda o aproveitamento da instalação dos módulos PV como sistemas de aquecimento ou arrefecimento passivos. O novo regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios que deverá estar prestes a ser publicado, também será um tema interessante a desenvolver, pois em princípio as energias renováveis terão que estar contempladas de uma forma mais exigente, uma vez que são um grande contributo para conseguir edifícios com necessidades energéticas quase nulas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE (2010), Perguntas e Resposta sobre o RCCTE
- ADENE (2011), Perguntas e Resposta sobre o RCCTE
- ADENE (2011), “Guia da Eficiência Energética”
- Castro, Rui (2011). “Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica”. IST, Lisboa
- Castro, Rui (2009). “Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Energia Eólica”. IST, Lisboa.
- Código do IRS
- Coutinho Rodrigues, João. “Gestão de Empreendimentos, a componente da gestão da engenharia”. Ediliber, Coimbra
- Decisão nº 406/2009/CE do Parlamento Europeu e do Conselho
- Decreto-Lei nº 189/88, DR I Série, n.º 123, pg. 2289 a 2296
- Decreto-Lei nº 68/2002, DR I Série, n.º 71, pg. 2837 a 2839
- Decreto-Lei nº 29/2006, DR I Série-A, n.º 33, pg. 1189 a 1203
- Decreto-Lei nº 80/2006, DR I Série – A, pg. 2468-2513
- Decreto-Lei nº 23/2010, DR I Série, n.º 59, pg. 934 a 946
- Decreto-Lei nº 50/2010, DR I Série, n.º 98, pg. 1739 a 1740
- Decreto-Lei nº 118-A/2010, DR I Série, n.º 207, pg. 4834-(2) a (15)
- Decreto-Lei nº 141/2010, DR I Série, n.º 253, pg. 6093 a 6098
- Decreto-Lei nº 34/2011, DR I Série, n.º 47, pg. 1316 a 1325
- Diretiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho
- Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho
- Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho
- Energia Fotovoltaica, Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação, (2004). Projecto europeu, no âmbito de uma candidatura apoiada pelo programa Comunitário ALTENER, cujo representante português foi o IST.
- ERSE@ (2012). <http://www.erse.pt>. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
- Estanqueiro, A e Simões, T. (2010). “Aproveitamento de Energia Eólica em Ambiente Urbano e Construído”. Dossier Energia Eólica, Renováveis Magazine nº 2, pg. 44 a 49.
- Eurostat (2011), “Energy, transport and environment indicators”. European Commission, Belgium.
- Institute of Technical Thermodynamics, Systems Analysis and Technology Assessment, (2006). “Main Results of the TRANS-CSP Study Trans-Mediterranean Interconnection

- for Concentrating Solar Power Final Report” - Study commissioned by Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety of Germany
- IEA@ () <http://www.iea.org>, [International Energy Agency](http://www.iea.org)
- IET - PVGYST, Institute for Energy and Transport – Photovoltaic Geographical Information System@ (03/2012). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. European Commission
- Joyce, António, (2011). “As tecnologias Fotovoltaicas”. Renováveis Magazine nº 6, Dossier Fotovoltaico, pp. 40 - 45
- Macedo, Wilson Negrão (2006). “Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Ligados à Rede”. Tese de Doutorado, Universidade de S. Paulo, Brasil.
- Pereira, O. e Gonçalves, F. (2008). “Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso”. Revista Brasileira de Energia.
- Pina dos Santos, C. e Paiva, J., (1986). Caracterização Térmica de Pavimentos Pré-fabricados. LNEC, Lisboa, Edifícios - ITE 11
- Pina dos Santos, C. e Paiva, J., (1986). Caracterização Térmica de Paredes de Alvenaria. LNEC, Lisboa, Edifícios - ITE 12
- Pina dos Santos, C. e Matias, L., (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. LNEC, Edifícios - ITE 50
- Portal da Eficiência Energética@ () . <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt>
- Portaria 284/2011, DR, 1ª Série, n.º 208, pg. 4726 e 4727.
- PVsyst 5.0 (2012). Manual de funcionamento
- REN21 (2011). “Renewables 2011, Global Status Report”. Renewable Energy Policy Network for the 21st century, Paris
- Renováveis na hora @ () . <http://www.renovaveisnahora.pt/>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, DR 1ª Série, nº 73, pg.1289 a 1296.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 54/2010, DR 1ª Série, nº 150, pg.3193 e 3194.
- Rodrigues, Carlos Nunes (2008). Centrais Solares Fotovoltaicas Ligadas à Rede Elétrica, Provas de acesso à categoria de investigador auxiliar. INETI
- Sick, F., Erge, T. (1996). “Photovoltaics in Buildings”. International Energy Agency. Ed. James and James, London
- SNIAMB@ (2012). <http://sniamb.apambiente.pt/atlas>. Sistema Nacional de Informação de Ambiente, Agência Portuguesa do Ambiente.
- SNIG@ (2012). <http://snig.igeo.pt>. Sistema Nacional de Informação Geográfica.
- Súri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305.

Tirone, Livia e Nunes, Ken (2011). “Coberturas Eficientes: Guia para a reabilitação energético-ambiental do edificado”, Adene

Windatlas@ (2011). <http://www.windatlas.dk> , Wind Atlases of the World (última atualização em 09/12/2011 e consulta em Março de 2012)

7.1 Outras Referências

Avancis@ (2012). www.advancis.de/en

CNPV@ (2012). <http://www.cnpv-power.com/>

Sunways @ (03/2012) www.sunways.de

UGE@ (2012). <http://www.urbangreenenergy.com/all-about-wind>

Photon@ (2012). <http://www.photon-international.com/>

REC@ (2012). <http://www.recgroup.com>

PVdatabase@ (2012). <http://www.pvdatabase.org>

SASenergia@ (2012). <http://www.sasenergia.pt>

Bosch@ (2012). www.bosch.com/en/com/products_services/industry_trade/photovoltaics/

ANEXO A – Alguns Conceitos

1. Energia (Joule): Energia fornecida por uma força de 1 Newton para mover um objeto à distância de 1 metro. $E=F*d$

Potência: taxa ou ritmo, a que a energia é convertida de uma forma para outra ou transferida de um local para outro; 1 Watt corresponde à transferência de 1 Joule no período de 1 segundo. $[W]=[J/s]$

Quando se fala em eletricidade é habitual utilizar para unidade de energia o KWh. (1 Kwh = $3,6*10^6$ J). Ou seja é a energia consumida durante o período de 1h mantendo uma potência igual a 1 KW.

Por vezes é ainda usada a designação VA para potência, que significa Volt x Ampère. Pois sendo a diferença de potencial (ou tensão elétrica), V, cuja unidade é o Volt, a quantidade de energia por unidade de carga elétrica transmitida entre os dois pontos. $[V]=[J]/[C]$.

C – Coulomb: unidade de carga elétrica no SI

A – Ampère: unidade de intensidade de corrente. $[A]=[C]/[s]$

$$[W] = \frac{[J]}{[s]} = \frac{[V] \times [C]}{[s]} = [V] \times [A] = \text{“VA”}$$

2. Formas de energia:

Cinética, potencial, elétrica (sendo a química um caso particular) e nuclear.

A energia térmica é uma energia cinética associada ao movimento aleatório das partículas.

Energia química – na combustão a energia química é convertida em calor.

Energia eletromagnética é outra forma de energia elétrica. É sob a forma de radiação eletromagnética que a radiação solar chega à terra.

Energia nuclear: o processo de fissão dos átomos de urânio gera enormes quantidades de calor. A energia solar também tem uma origem nuclear. O sol é um enorme reator nuclear onde acontece a fusão dos átomos de hélio.

Embora a energia total se mantenha, há sempre transformação de energia para uma forma que não nos é útil, designadas por perdas.

3.

Irradiação solar (H_i): energia solar incidente por unidade de área [kWh/m^2].

Irradiância solar (G): potência solar incidente por unidade de área [W/m^2].

Potência-pico (P_p) ou potência nominal: potência máxima DC (corrente contínua) obtida pelo painel PV (Fotovoltaico) nas condições de referência (STC),

STC (Standard Test Conditions) – Condições de referência: irradiância solar incidente $G^r = 1000 \text{W/m}^2$, temperatura da célula $\theta^r = 25^\circ \text{C}$ e uma distribuição espectral padrão AM 1.5 (distribuição espectral da radiação total, direta mais difusa, incidente ao nível do mar, num dia de céu limpo, numa superfície perpendicular aos raios solares, inclinada de 37°).

Rendimento: razão entre a energia útil à saída e a energia primária à entrada. (mede-se em percentagem) $\eta = \frac{P_{DC}}{A \times G}$

Rendimento do painel PV, nas condições de referência: $\eta^r = \frac{P_p}{A \times G^r}$

ANEXO B – Moradia e Definição da Envolvente



Figura B.1 – Alçado Principal

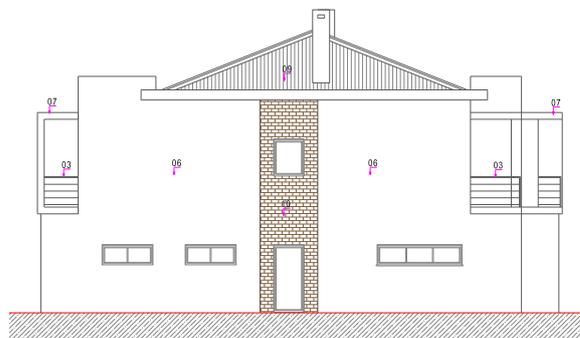


Figura B.2 – Alçado Posterior



Figura B.3 – Alçado lateral esquerdo

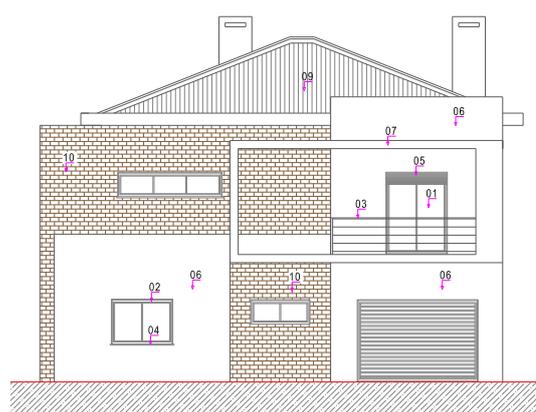


Figura B.4 – Alçado lateral direito

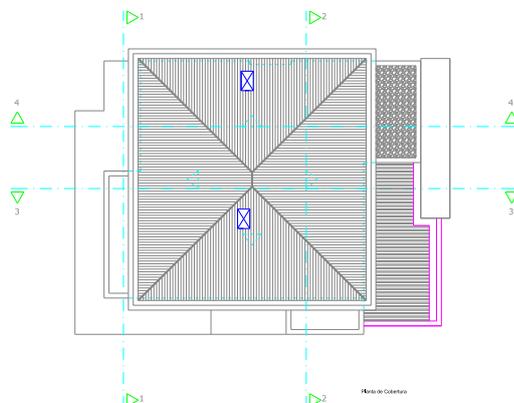


Figura B.5 – Planta da cobertura

Definição da Envolvente

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respectiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respectiva cor)	

Figura B.6 - Código das cores e padrão utilizado nas plantas e cortes seguintes

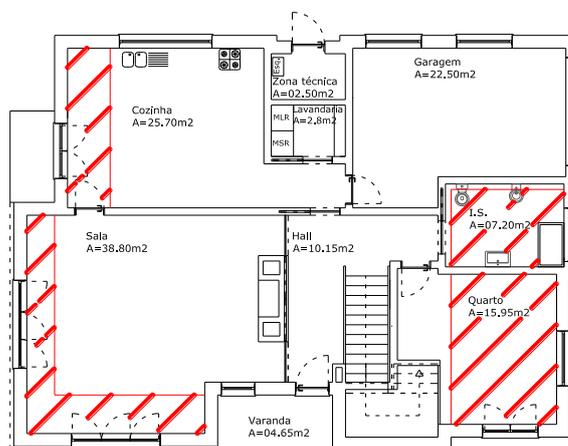
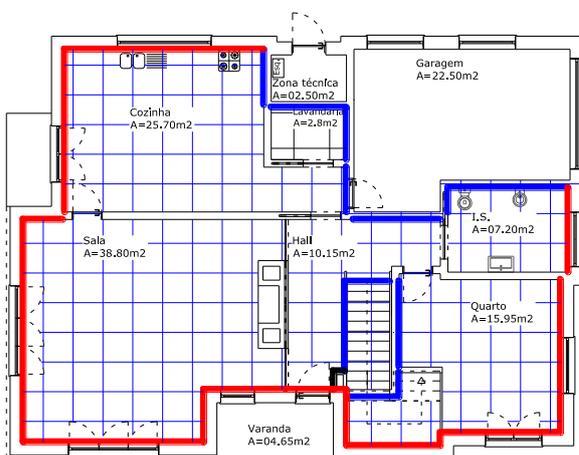


Figura B.7 -Pavimento e paredes do rés-do-chão

Figura B.8 – Cobertura do rés-do-chão

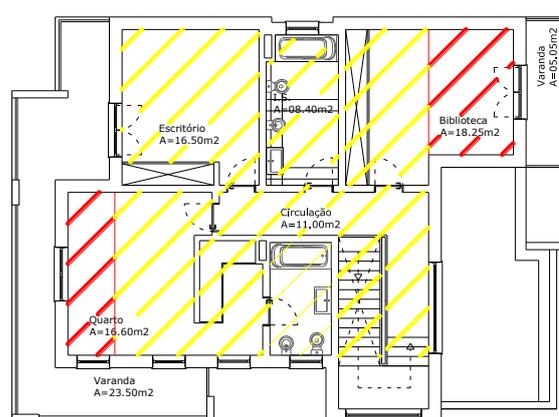
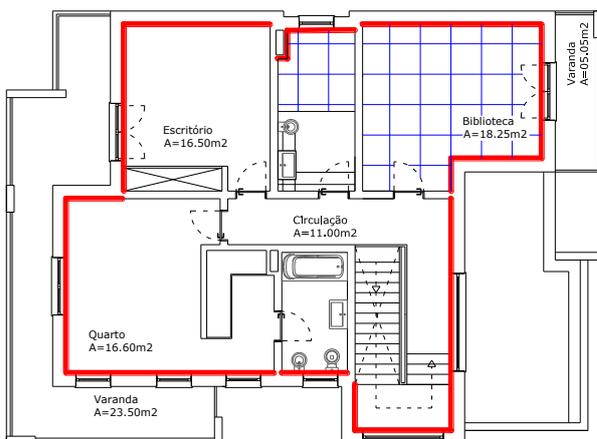


Figura B.9 – Pavimento e paredes do andar

Figura B.10 – Cobertura do andar



Figura B.11 – Corte 1-1

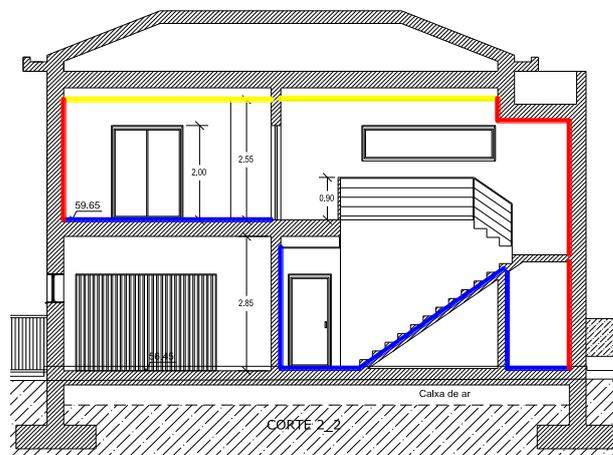


Figura B.12 – Corte 2-2

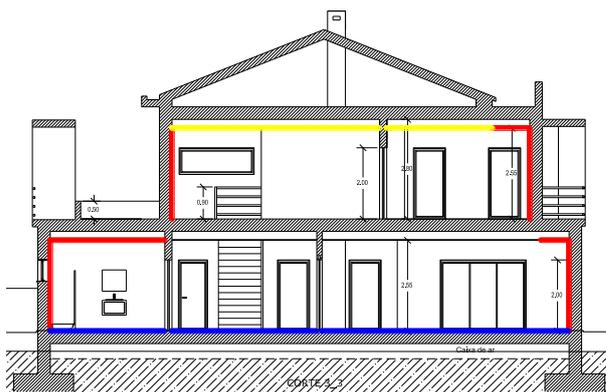


Figura B.13 – Corte 3-3

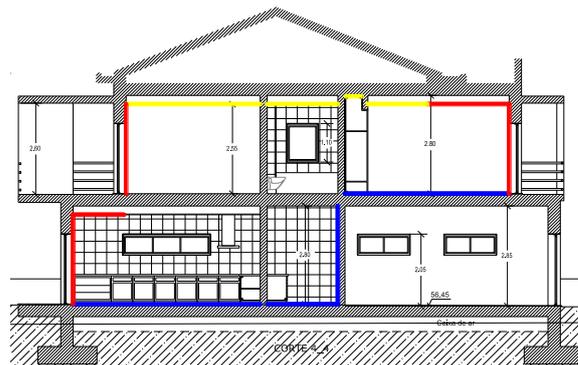


Figura B.14 – Corte 4-4

Solução para as envoltivas

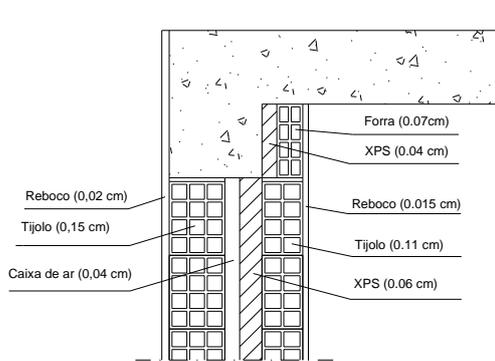


Figura B.15 – Envoltive exterior da parede rebocada

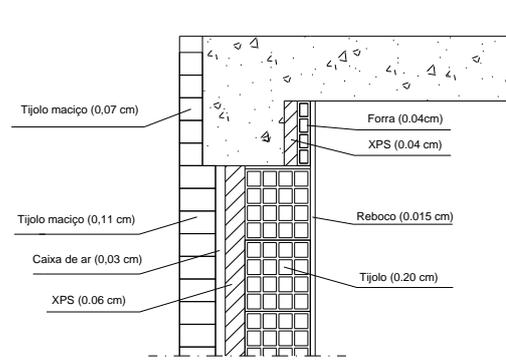


Figura B.16 – Envoltive exterior da parede revestida a tijolo maciço.

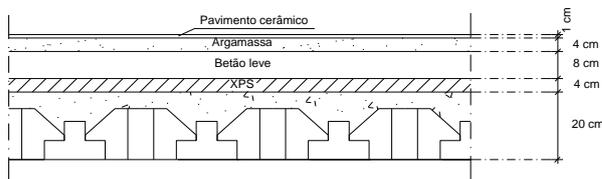


Figura B.17 - Pavimento sobre o desvão sanitário

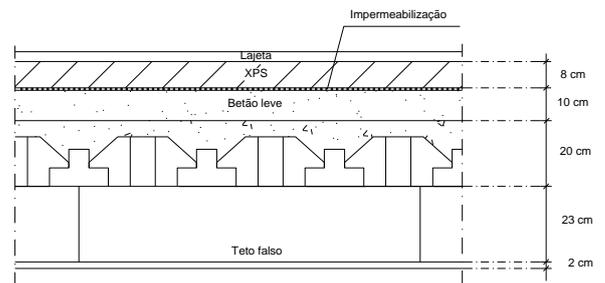


Figura B.18 - Cobertura de envoltive exterior

ANEXO C – Exemplo de Relatório Fornecido pelo PVSYST 5.0

PVSYST V5.56		13/06/12	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Grid-Connected Project at Coimbra		
Geographical Site	Coimbra	Country	Portugal
Situation	Latitude 40.1°N	Longitude	8.2°W
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	141 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Coimbra, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	Simulation date	13/06/12 00h03	
Simulation parameters			
Tracking plane, two axis	Minimum Tilt	10°	Maximum Tilt 80°
Rotation Limitations	Minimum Azimuth	-120°	Maximum Azimuth 120°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	REC 230PE
		Manufacturer	REC
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel 1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	18	Unit Nom. Power 230 Wp
Array global power	Nominal (STC)	4140 Wp	At operating cond. 3684 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	464 V	I mpp 7.9 A
Total area	Module area	29.7 m²	Cell area 26.3 m ²
Inverter			
	Model	Powador 4400	
	Manufacturer	KACO new energy	
Characteristics	Operating Voltage	350-600 V	Unit Nom. Power 3.60 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT 56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	1000 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)		

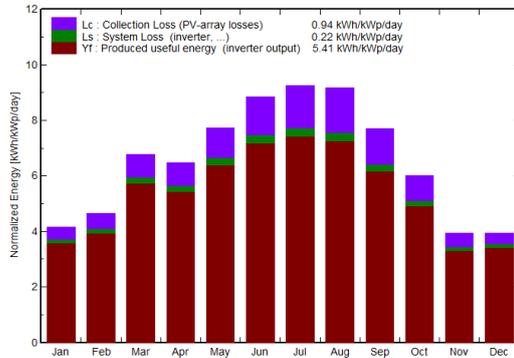
Grid-Connected System: Main results

Project : Grid-Connected Project at Coimbra
Simulation variant : Cercal

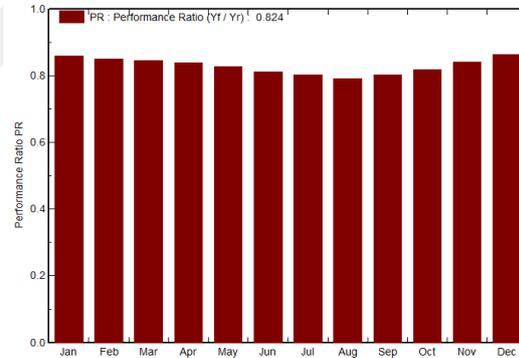
Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		Tracking two axis		
PV modules		Model	REC 230PE	Pnom 230 Wp
PV Array		Nb. of modules	18	Pnom total 4140 Wp
Inverter		Model	Powador 4400	Pnom 3600 W ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results			
System Production	Produced Energy	8177 kWh/year	Specific prod. 1975 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	82.4 %	

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 4140 Wp



Performance Ratio PR



Cercal

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
January	61.0	10.00	129.0	127.4	477.1	458.5	12.46	11.97
February	73.0	11.00	130.0	128.3	475.8	457.3	12.33	11.84
March	129.0	12.50	210.2	207.6	764.7	735.7	12.25	11.79
April	140.0	14.00	194.3	191.4	702.4	675.3	12.17	11.70
May	179.0	16.40	239.5	236.0	853.8	821.3	12.00	11.55
June	195.0	19.60	265.6	262.1	928.7	893.5	11.77	11.33
July	209.0	21.80	286.9	283.4	992.3	955.0	11.65	11.21
August	195.0	21.80	284.7	281.6	969.2	932.5	11.46	11.03
September	147.0	20.80	230.6	227.9	797.5	767.3	11.64	11.20
October	104.0	17.40	186.2	184.0	656.1	630.8	11.86	11.41
November	63.0	13.00	118.4	116.8	429.0	411.9	12.20	11.72
December	54.0	10.40	122.4	120.9	455.8	438.0	12.54	12.05
Year	1549.0	15.75	2397.7	2367.4	8502.5	8177.0	11.94	11.48

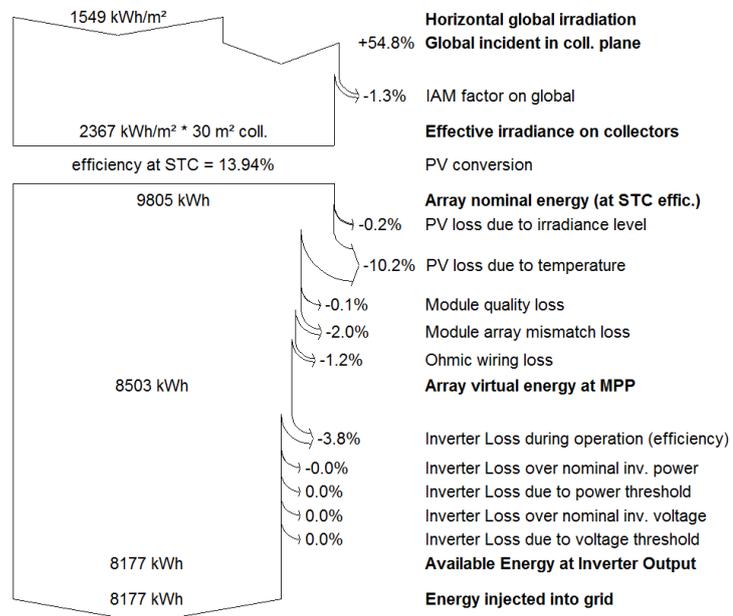
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
 GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic.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

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Coimbra**
Simulation variant : **Cercal**

Main system parameters	System type Grid-Connected		
PV Field Orientation	Tracking two axis		
PV modules	Model REC 230PE	Pnom	230 Wp
PV Array	Nb. of modules 18	Pnom total	4140 Wp
Inverter	Model Powador 4400	Pnom	3600 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Loss diagram over the whole year



ANEXO D – Curvas de produção anual em função da orientação e inclinação

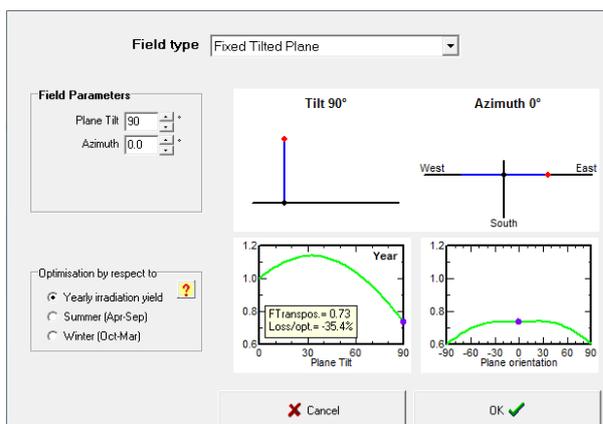


Figura D.1 – 90° de inclinação, sul

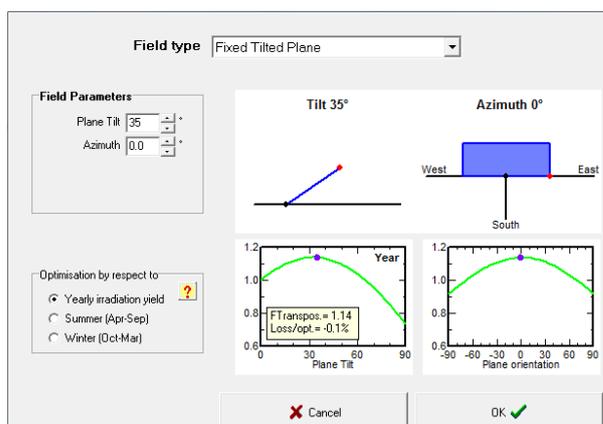


Figura D.2 – 35° de inclinação, Sul

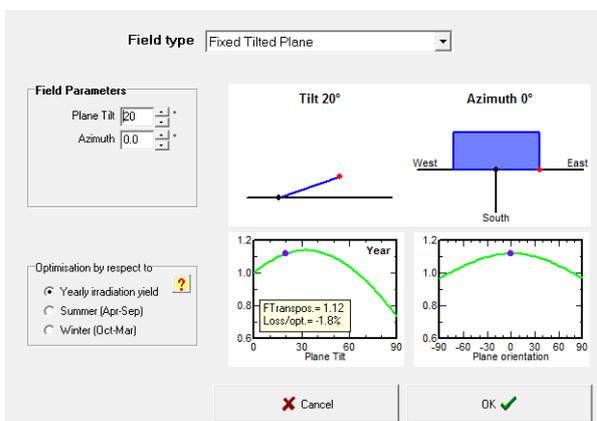


Figura D.3 – 20° de inclinação, Sul

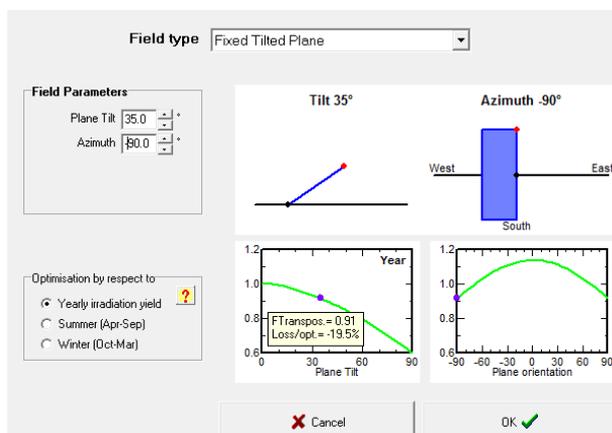


Figura D.4 – 35° de inclinação, Este

ANEXO E – Resultados para gerador com 2,25kWp colocado em várias posições e em várias zonas climáticas

		Inclinação do gerador	Azimute	Produção [kWh/ano]	Injetado na Rede [kWh/ano]	Produção Energia kWh/kWp/ano	[kWh/m2]
Coimbra	Com seguidor solar	10° a 80°	-120° a 120°	4461	4125	1833	278
	Fixo	22°	-90°	2823	2579	1146	174
		6°		2882	2638	1172	178
		22°	-45°	3141	2881	1280	194
		31°		3161	2898	1288	195
		22°	0°	3235	2971	1320	200
		33°		3277	3011	1338	203
		22°	45°	3070	2815	1251	190
		27°		3076	2820	1253	190
		22°	90°	2727	2490	1107	168
0°	2872	2628		1168	177		
Figueira da Foz	Com seguidor solar	10° a 80°	-120 a 120	4424	4091	1818	275
	Fixo	22°	-90°	2844	2599	1155	175
		6°		2905	2659	1182	179
		22°	-45°	3154	2893	1286	195
		31°		3169	2906	1291	196
		22°	0°	3247	2982	1325	201
		33°		3287	3019	1342	203
		22°	45°	3088	2832	1259	191
		27°		3094	2837	1261	191
		22°	90°	2756	2517	1119	170
0°	2895	2651		1178	179		
Bragança	Com seguidor solar	10° a 80°	-120 a 120	4716	4361	1938	294
	Fixo	22°	-90°	2928	2676	1189	180
		6°		2977	2727	1212	184
		22°	-45°	3255	2986	1327	201
		31°		3282	3010	1338	203
		22°	0°	3339	3067	1363	207
		33°		3382	3108	1381	209
		22°	45°	3160	2898	1288	195
		27°		3164	2901	1290	195
		22°	90°	2798	2556	1136	172
0°	2960	2711		1205	183		
Guarda	Com seguidor solar	10° a 80°	-120 a 120	4534	4192	1863	282
	Fixo	22°	-90°	2953	2701	1201	182
		6°		3011	2759	1226	186
		22°	-45°	3262	2994	1331	202
		31°		3278	3008	1337	203
		22°	0°	3348	3076	1367	207
		33°		3384	3110	1382	209
		22°	45°	3184	2921	1298	197
		27°		3186	2923	1299	197
		22°	90°	2845	2601	1156	175
0°	2998	2747		1221	185		
		Inclinação do gerador	Azimute	Produção [kWh/ano]	Injetado na Rede [kWh/ano]	Produção Energia kWh/kWp/ano	[kWh/m2]

Castelo Branco	Com seguidor solar	10° a 80°	-120 a 120	4519	4180	1858	282
	Fixo	22°	-90°	2919	2670	1187	180
		6°		2975	2725	1211	184
		22°	-45°	3227	2962	1316	199
		31°		3243	2976	1323	200
		22°	0°	3312	3044	1353	205
		33°		3348	3078	1368	207
		22°	45°	3144	2885	1282	194
		27°		3147	2887	1283	194
		22°	90°	2803	2562	1139	173
0°	2962	2714		1206	183		
Évora	Com seguidor solar	10° a 80°	-120 a 120	5127	4747	2110	320
	Fixo	22°	-90°	3180	2916	1296	196
		6°		3246	2982	1325	201
		22°	-45°	3530	3247	1443	219
		31°		3549	3263	1450	220
		22°	0°	3623	3337	1483	225
		33°		3662	3373	1499	227
		22°	45°	3436	3161	1405	213
		27°		3439	3163	1406	213
		22°	90°	3054	2800	1244	189
0°	3232	2970		1320	200		
Faro	Com seguidor solar	10° a 80°	-120 a 120	5494	5092	2263	343
	Fixo	22°	-90°	3439	3161	1405	213
		6°		3707	3230	1436	218
		22°	-45°	3815	3517	1563	237
		31°		3836	3534	1571	238
		22°	0°	3905	3604	1602	243
		33°		3946	3642	1618	245
		22°	45°	3688	3399	1511	229
		27°		3688	3398	1510	229
		22°	90°	3270	3005	1336	202
0°	3488	3214		1428	216		

ANEXO F – Resumo dos cálculos e das necessidades de energéticas sem a contribuição de Eren.exc

Sendo $E_{ren.exc}$ a energia elétrica produzida pela central PV que não foi utilizada em AQS.

	Coimbra			Figueira da Foz	Bragança	Guarda	Castelo Branco	Évora	Faro
	Alç p/sul	Alç. p/SE	Alç p/SW	Alç p/sul	Alç p/sul	Alç p/sul	Alç p/sul	Alç p/sul	Alç p/sul
A_p [m ²]	193,95	193,95	193,95	193,95	193,95	193,95	193,95	193,95	193,95
P_d [m]	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
A_{envid} [m ²]	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85
Perdas associadas à envolvente exterior [W/°C]	207,85	207,85	207,85	207,85	207,85	207,85	207,85	207,85	207,85
Perdas associadas à envolvente interior [W/°C]	84,47	84,47	84,47	84,47	84,47	84,47	84,47	84,47	84,47
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores [W/°C]	96,75	96,75	96,75	96,75	96,75	96,75	96,75	96,75	96,75
Perdas associadas à renovação de ar [W/°C]	161,16	161,16	161,16	161,16	161,16	161,16	161,16	161,16	161,16
Ganhos úteis na estação de aquecimento [kW/ano]	7709,65	7586,93	7399,81	8070,95	9407,38	9410,26	7957,58	7324,94	5528,68
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	59,66	60,29	61,25	57,11	145,54	153,02	71,32	56,87	43,67
N_i [kWh/m ² .ano]	76,90	76,90	76,90	76,41	145,83	151,29	86,32	73,43	57,07
Perdas térmicas totais (Verão) [kWh]	6215,19	6215,19	6215,19	6215,19	6215,19	6215,19	3107,60	2071,73	2071,73
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) [kWh]	740,85	765,68	765,37	686,52	740,85	686,52	733,10	746,73	739,49
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores [kWh]	1863,69	1953,33	1970,67	1723,43	1863,69	1723,43	1829,76	1857,16	1844,10
Ganhos internos [kWh]	2271,54	2271,54	2271,54	2271,54	2271,54	2271,54	2271,54	2271,54	2271,54
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	2,73	2,96	3,00	2,35	2,73	2,35	9,90	14,63	14,52
N_v [kWh/m ² .ano]	18,00	18,00	18,00	16,00	18,00	16,00	26,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Contribuição de E_{solar} [kWh/ano]	2427,00	2340,00	2417,00	2431,00	2377,00	2402,00	2506,00	2626,00	2642,00
Contribuição de E_{ren} para AQS [kWh/ano]	1818,15	1905,15	1828,15	1814,15	1868,15	1843,15	1734,15	1619,15	1603,15
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
N_a [kWh/m ² .ano]	30,49	30,49	30,49	30,49	30,49	30,49	30,49	30,49	30,49
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
N_{tc} (kgep/m ² .ano)	0,46	0,47	0,47	0,44	1,08	1,13	0,62	0,55	0,46
N_t (kgep/m ² .ano)	4,97	4,97	4,97	4,95	5,59	5,62	5,13	5,06	4,92
N_{tc}/N_t	0,09	0,09	0,10	0,09	0,19	0,20	0,12	0,11	0,09
Classe Energética	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+