



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia  
Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura

# **Integração da Tecnologia Fotovoltaica na Arquitectura**

Estudo de caso “Reabilitação de Fachadas de Conjunto  
Habitacional”

**Filipe Casteleiro de Oliveira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Arquitectura**

Mestrado Integrado

Orientador: Prof. Doutor Luís Miguel de Barros Moreira Pinto

**Covilhã, Outubro de 2011**



## Dedicatória

*À memória da minha mãe Isilda, que faleceu em Dezembro de 2006, pelo amor, respeito, dedicação e o exemplo de uma vida que nos deixou.*

*À minha esposa Sílvia, pela compreensão e incentivo que sempre me soube dar. As minhas filhas Maria e Joana por me fazerem entender o verdadeiro sentido da vida.*



## Agradecimentos

*Ao meu orientador Professor Doutor Miguel de Barros Moreira Pinto, por seu exemplo profissional e ético e também por seus valores quanto ser humano. Obrigado pela compreensão e dedicação a este trabalho.*

*Ao meu querido amigo Diogo Gil colega de curso, pelos demais incentivos, ajuda e por tudo o que passamos juntos a propósito desde mestrado integrado, o meu obrigado.*



## Resumo

Numa altura em que se intensifica cada vez mais a discussão de temas como a crise económica mundial, o aquecimento global, o preço e o esgotamento dos combustíveis fósseis, é importante ter consciência de que as energias renováveis serão parte importante de um futuro mais sustentável. Em Portugal existem condições privilegiadas para o desenvolvimento das energias renováveis, sendo fundamental a expansão do aproveitamento das fontes de energia renováveis. Os materiais fotovoltaicos são talvez aqueles que apresentam maior flexibilidade, funcional e formal, na prossecução de alguns dos objectivos inerentes à sustentabilidade energética dos edifícios, nas suas dimensões passiva e activa, no contexto de uma abordagem holística ao problema.

A arquitectura tem vindo crescentemente a reconhecer o papel fundamental que lhe está reservado no estabelecimento de uma futura sociedade mais sustentável. Neste contexto, a arquitectura sustentável emerge actualmente não como uma corrente de estilo, não como um princípio estético, mas sim associada a um conjunto de princípios orientadores que subjazem ao processo arquitectónico. A materialização destes princípios, desde os mais simples aos mais complexos, tem vindo a ser progressivamente facilitada, servida e alimentada por novas soluções técnicas, quer ao nível dos materiais quer ao nível dos elementos construtivos, que abrem as possibilidades de abordagem do arquitecto.

A principal função de um material fotovoltaico é a produção de energia eléctrica. De um ponto de vista estritamente energético, o principal objectivo a alcançar é o da maximização dessa produção. A integração arquitectónica de materiais fotovoltaicos permite que outras funções sejam desempenhadas. No caso da integração em edifícios, os materiais podem desempenhar uma função de separação interior/exterior, de isolamento térmico, de iluminação natural e/ou sombreamento, de comunicação e igualmente uma função estética. Neste sentido, é amplamente reconhecido actualmente que a utilização no processo arquitectónico de materiais fotovoltaicos resulta usualmente num compromisso entre optimização energética e efectiva integração. Não obstante, o objectivo conceptual deverá sempre ser no sentido da maximização do valor global do sistema.

## Palavras-chave

Arquitectura, Sustentabilidade, Ambiente, Integração, Tecnologia Fotovoltaica, Eficiência Energética.



# Abstract

At a time when more and more intensified discussion of topics such as global economic crisis, global warming, the price and depletion of fossil fuels, it is important to realize that renewable energies are an important part of a more sustainable future. In Portugal there are advantageous conditions for the development of renewable energy is fundamental to expanding the use of renewable energy sources. The photovoltaic materials are perhaps those with more flexible, functional and formal, in pursuit of some of the objectives of energy sustainability of buildings in terms of its passive and active, in the context of a holistic approach to the problem.

The architecture has increasingly come to recognize the vital role reserved to it in establishing a future sustainable society. In this context, sustainable architecture now emerges not as a current style, not as an aesthetic principle, but associated with a set of guiding principles that underlie the architectural process. The realization of these principles, from simple to complex, has been progressively easier, served and fed by new technical solutions, both in terms of materials and in terms of building elements, which open the possibilities to approach the architect.

The main function of a photovoltaic material is the production of electricity. From a strictly energy point of view, the main objective is to achieve the maximization of production. The architectural integration of photovoltaic materials allows other functions to be performed. In the case of integration in buildings, materials may play a role separation indoor / outdoor thermal insulation, natural lighting and / or shading, communication and also an aesthetic function. In this sense, it is now widely recognized that the use of architectural materials in photovoltaic process usually results in a compromise between power optimization and effective integration. Nevertheless, the conceptual objective should always be towards the maximization of the overall system.

# Keywords

Architecture, Sustainability, Environment, Integration, Photovoltaic Technology, Energy Efficiency.



# Índice

Dedicatória .....	iii
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract .....	ix
Índice .....	xi
Lista de Figuras .....	xiv
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Acrónimos .....	xxi
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento do tema.....	1
1.2. Objectivos .....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
<b>2. Desafios Energéticos e a Arquitectura .....</b>	<b>5</b>
2.1. A arquitectura e a sua relação com o clima .....	5
2.2.1 Conforto térmico .....	9
2.2.2. Conforto visual.....	10
2.2.3. Qualidade do ar interior.....	11
2.2.4. Conforto acústico .....	11
2.3. Regulamentação.....	12
<b>3. Fachadas e Componentes .....</b>	<b>15</b>
3.1. Evolução histórica das fachadas.....	15
3.2. Funções e componentes das fachadas.....	21
3.3. Elementos verticais opacos - Paredes exteriores.....	22
3.3.1. Inércia térmica .....	24
3.3.2. Resistência térmica .....	25
3.3.3. Pontes térmicas .....	26
3.3.4. Humidade.....	28
3.4. Elementos verticais não opacos - Vãos envidraçados.....	29
3.4.1. Coeficiente global de transmissão térmica.....	31
3.4.2. Captação da radiação solar .....	32

3.4.3. Infiltrações de ar não controladas .....	34
3.5. Sistemas passivos .....	34
3.5.1. Sistemas de aquecimento passivo.....	35
3.5.2. Sistemas de arrefecimento passivo .....	40
3.5.3. Sistemas de isolamento térmico. ....	45
3.6. Sistemas activos .....	51
3.7. Em síntese .....	53
<b>4. A Tecnologia Fotovoltaica .....</b>	<b>54</b>
4.1. História breve da energia eléctrica .....	54
4.2. História das energias renováveis .....	55
4.3. História da tecnologia fotovoltaica.....	56
4.4. Aplicações da tecnologia .....	58
4.5. O Sistema fotovoltaico .....	61
4.6. Quadro tecnológico actual: Tecnologias e suas principais características .....	62
4.6.1. Células de silício cristalino. (1ª Geração).....	63
4.6.2. Células de película fina. (2ª Geração) .....	64
4.6.3. Células de novas células solares. (3ª Geração) .....	65
4.7. Soluções fotovoltaicas para a arquitectura .....	67
4.7.2. Integração em coberturas e sistemas de sombreamento .....	68
4.7.3. Fachadas fotovoltaicas .....	69
4.7.4. Coberturas de vidro .....	70
4.7.7. Integração em edifícios .....	73
4.7.8. LED e o Fotovoltaico .....	75
4.7.9. O processo fotovoltaico: Da radiação solar à energia ligada em rede.....	78
4.8. Tendências tecnológicas e desenvolvimentos futuros esperados.....	79
<b>5. O Sector Fotovoltaico em Portugal.....</b>	<b>82</b>
5.1. Quadro energético actual .....	82
5.2. As energias renováveis em Portugal .....	84
5.3. Porque é o fotovoltaico uma solução viável para Portugal .....	89
5.3.1. Legislação para o sector.....	91
5.3.2. Caracterização empresarial do sector fotovoltaico .....	93
5.3.3. Barreiras ao desenvolvimento do sector .....	96
5.3.4. Barreiras ao nível do mercado.....	96

5.3.5. Barreiras técnicas ou tecnológicas.....	97
5.3.6. Barreiras legais ou burocráticas.....	98
5.4. Diagnóstico da situação nacional .....	100
5.5. Estratégia para o fotovoltaico .....	103
<b>6. Caso Estudo - Reabilitação das Fachadas de Conjunto Habitacional.....</b>	<b>108</b>
6.1. A edificação .....	108
6.2. Localização e clima .....	109
6.3. Forma e orientação solar.....	110
6.4. Características a levantar do local da instalação .....	112
6.4.1. Análise de potenciais sombreamentos .....	114
6.5. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autónomos.....	115
6.5.1. Avaliação da viabilidade técnica .....	115
6.5.2. Dimensionamento e eficiência dos componentes do sistema .....	116
6.5.3. A solução/Projecto.....	118
6.6. Programas de simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.....	120
6.7. Impacto ecológico.....	121
6.7.1. Avaliação dos fluxos de energia.....	122
6.7.2. Reciclagem de materiais.....	122
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>123</b>
<b>8. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>125</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>128</b>
9.1. Peças Desenhadas/Projecto .....	128

# Lista de Figuras

Figura 1 - Seagram Building, New York. Mies van der Rohe, 1969 .....	16
Figura 2- Evolução das paredes em Portugal. ....	17
Figura 3 - Biblioteca de campus de Jussieu, Paris. Herzog & de Meuron, 1993. ....	18
<i>Figura 4 - Mathew Nowicki State Fair Arena. Berger, 1996. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 - Guggenheim Museum Bilbao. Peter Frank Gehry, 1997. ....</i>	<i>19</i>
Figura 6 - Kunsthaus, Graz. Cook & Colin Fournier, 2003 .....	19
Figura 7 - Integração de células fotovoltaicas em cobertura transparente. ....	20
Figura 8 - Edifício SOLAR XXI, Lisboa, 2006. ....	20
Figura 9 - Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico para climatização passiva. ...	20
Figura 10 - Parede tripla composta painel sandwich ventilado. ....	23
Figura 11 - Parede dupla. ....	23
Figura 12- Parede dupla em pedra aparente e tijolo furado com isolamento na caixa-de-ar. 23	
Figura 13 - Parede simples em tijolo furado e rebocado nas duas faces. ....	23
Figura 14 - Pilar intermédio .....	27
Figura 15 - Talão de viga. ....	27
Figura 16 - Caixa de estore. ....	27
Figura 17 - PTL, comparação do sistema de isolamento no interior da caixa-de-ar com sistema de isolamento pelo exterior. ....	28
Figura 18 - Variação do ângulo entre o Sol e a Terra. ....	32
Figura 19 - Percursos do Sol no hemisfério Norte. ....	32
Figura 20 - Representação esquemática do sistema de ganhos directos.....	36
Figura 21 - Representação esquemática do sombreamento.....	36
Figura 22 - Representação esquemática do sistema de ganhos indirectos. ....	38
Figura 23 - Paredes de armazenamento térmico.....	38
Figura 24 - Representação esquemática da parede de Trombe (ventilada). ....	39
Figura 25 - Representação esquemática do sistema de ganhos isolados. ....	39
Figura 26 - Representação esquemática da ventilação natural. ....	41
Figura 27 - Exemplo da ventilação natural em quarto. ....	41

Figura 28- Diferença de absorção da relação solar em estores de lâminas exteriores e interiores, respectivamente. ....	42
Figura 29 - Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas .....	43
Figura 30 - Influencia do ângulo de altura solar nos envidraçados.....	44
Figura 31 - Variação da altura do Sol no Verão.....	44
Figura 32- Variação térmica respectivamente no caso de isolamento exterior r no isolamento em caixa-de-ar. ....	47
Figura 33- PTL respectivamente no caso de isolamento exterior e no isolamento em caixa-de-ar. ....	47
Figura 34 - Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado (ETICS). ....	48
Figura 35 - Isolamento pelo exterior com revestimento independente descontínuo ventilado. ....	48
Figura 36 - Sistema de isolamento térmico por elemento descontínuo prefabricados.....	48
Figura 37 - Contra-fachada com isolante na caixa-de-ar. ....	49
Figura 38 - Secção horizontal do sistema de caixa-de-ar. ....	50
Figura 39 - Exemplo de sistema de isolamento na caixa-de-ar. ....	50
Figura 40 - Esquema do funcionamento de um colector solar térmico.....	51
Figura 41 - Exemplo de integração de colector solar térmico numa fachada.....	52
Figura 42 - Exemplo de integração de painéis fotovoltaicos em fachada.....	52
Figura 43 - Distribuição do mercado por tipo de sistema em 2005. ....	60
Figura 44 - Tipos de sistemas fotovoltaicos .....	60
Figura 45 - Processo de fabrico de módulos PV. ....	61
Figura 46 - Tecnologias de células fotovoltaicas existentes .....	63
Figura 47 - Célula de silício monocristalino semi-quadrada (esquerda) e policristalina (direita). ....	64
Figura 48 - Célula amorfas. ....	64
Figura 49 - Tipos de células PV e sua eficiência.....	65
Figura 50 - Relação entre preço e performance por tecnologias fotovoltaicas.....	66
Figura 51 - Telha solar. ....	67

Figura 52 - Fachada fria (esquerda) e fachada quente (direita). .....	68
Figura 53 - Fachada fotovoltaica.....	69
Figura 54 - Cobertura de vidro fotovoltaica. ....	71
Figura 55 - Dispositivos fotovoltaicos de sombreamento. ....	71
Figura 56 - Painéis fotovoltaicos transparentes embutidos numa caixilharia de alumínio. ....	72
Figura 57 - Painéis fotovoltaicos opacos embutidos numa caixilharia de alumínio. ....	73
Figura 58 - Diferentes possibilidades de aplicação da tecnologia fotovoltaica em edificios. ...	74
Figura 59 - Detalhe do sistema de "azuleio urbano" para fachadas. ....	75
Figura 60 - Imagem do Conceito Marzan.....	75
Figura 61 - Construção técnica do elemento - "telha urbana". ....	76
Figura 62 - Conceito do uso de "telhas urbana". ....	76
Figura 63 - No interior como uma tela de reprodução. ....	77
Figura 64 - No interior como iluminação .....	77
Figura 65- Processo fotovoltaico solar ligado a rede eléctrica. ....	78
Figura 66 - Percentagem da produção bruta de energia eléctrica com base em fontes de energia renováveis, em Portugal continental, e comparação com a meta da Directiva 2001/77/CE. ....	82
Figura 67 - Contribuição das fontes de energia renováveis para o balanço energético .....	83
Figura 68 - Importação bruta de energia 1987-2005, a preços correntes ( $10^6\text{€}$ ). ....	83
Figura 69 - Produção Bruta de Energia Renovável face ao total de Energia Eléctrica. ....	86
Figura 70 - Produção Bruta de Energia Eléctrica em Portugal, 1988-2003. ....	86
Figura 71 - Contribuição das Energias Renováveis para o Balanço Energético (Mtep).....	87
Figura 72 - Evolução relativa da produção de Energia Primária a partir de FER (1994=100). ...	88
Figura 73 - Potência Fotovoltaica em Portugal.....	88
Figura 74 - Irradiação global solar anual na Europa. ....	89
Figura 75 - Insolação global anual em Portugal .....	90
Figura 76- Vectores de acção da nova estratégia para o fotovoltaico. ....	103
Figura 77 - Aspecto visual da edificação. ....	108
Figura 78- Localização-vista aérea. ....	109
Figura 79 - Precipitação média anual (mm).....	109

Figura 80- Temperatura média anual (°C). .....	110
Figura 81 - Duas áreas equivalentes com factores de forma distintos. ....	111
Figura 82 - Configuração do conjunto habitacional.....	111
Figura 83 - O desempenho do painel fotovoltaico de acordo com a sua posição em relação ao sol. ....	112
Figura 84 - Ângulo horizontal do Sol com a fachada Nascente. ....	114
Figura 85 - Alçado Nascente/Solução proposta.....	118
Figura 86 - Alçado Sul/Solução proposta. ....	119
Figura 87 - Alçado Poente/Solução proposta. ....	119
Figura 88 - Interface do Solterm V5.0.....	120



# Lista de Tabelas

Tabela 1- Exemplo de coeficiente de transmissão térmica de dois tipos de vãos envidraçados. .....	31
Tabela 2 - Exemplos de sistemas passivos.....	35
Tabela 3 - vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior em relação ao isolamento interior.....	46
Tabela 4 - Novas aplicações de sistemas fotovoltaicos no tempo.....	58
Tabela 5 - Aplicações de sistemas fotovoltaicos por intervalo de potência.....	59
Tabela 6- Oportunidades de Melhoria Tecnológica por tipo de Célula. ....	79
Tabela 7- Metas de produção eléctrica por FER em Portugal.....	85
Tabela 8 - Análise SWOT ao fotovoltaico em Portugal. ....	101



## Lista de Acrónimos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

AC	Alternat Current
ADENE	Agência para a Energia
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
BD	Base de dados
BIPV	Building Integrated Photovoltaics
BOS	Balance of System
BP	British Petroleum
BT	Baixa Tensão
BTN	Baixa Tensão Normal
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telurio de Cádmio
CE	Comissão Europeia
CiGs	Índio Gávio Silino
CIS	Cobre Índio Silínio (Disselenieto de Cobre e Índio)
CSP	Concentrating Solar Power
DC	Direct Current
DEEC	Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
DOP	Deep Of Discharge
DR	Diário da República
EDP	Electricidade de Portugal
EEG	German Renewable Energy Sources Act
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
EREC	European Renewable Energy Council
ERIE	Entidade Regional Inspectora de Instalações Eléctricas
EU	European Union
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
EVA	Etileno Vinil Acetato xviii
FER	Fontes de Energia Renováveis
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FF	Factor de Forma
FV	Fotovoltaico(a)

GaAs	Arsénio de Gálio
GEE	Gases de Efeito Estufa
GTO	Gate Turn-off Thyristor
HCI	Heterojunção com uma Camada fina Intrínseca
HF	High Frequency
HTRP	100 000 Roofs Program for photovoltaics
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IEA	International Energy Association
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
INETI	Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação
IRC	Imposto sobre o Rendimento das pessoas Colectivas
IRS	Imposto sobre o Rendimento das pessoas Singulares
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
kWp	Kilowatt-pico
LF	Low Frequency
MEID	Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPP	Maximum Power Point
MT	Média Tensão
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
MWp	Megawatt pico
NIF	Número de Identificação Fiscal
NIPC	Número de Identificação de Pessoa Colectiva
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
PPM	Ponto de Potência máxima
PV	Photovoltaic(s)
PVC	Polyvinyl Chloride
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REACT	Renewable Energy Action
REL	Renewable Energy Law
RESP	Rede Eléctrica de Serviço Público
SB	Sunny Boy
SEI	Sistema Eléctrico Independente
SEM	Sistema Eléctrico Nacional
SEP	Sistema Eléctrico Português
SMS	Short Message Service

SPES	Sociedade Portuguesa de Energia Solar
SRM	Sistema de Registo de Microprodução
STC	Standard Test Conditions
TiO2	Dióxido de Titânio
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade xix
US	United States (of America)
USD	United States Dollar
VRLA	Valve Regulated Lead Acid
W	Watt



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do tema

A energia fotovoltaica é a energia obtida através da conversão directa da luz do sol em electricidade e pode ser explicada pela própria descrição da palavra “fotovoltaico” que é a união da palavra “foto” que significa luz com a palavra “voltaico” que significa electricidade. As tecnologias fotovoltaicas são utilizadas para converter a energia solar (luz) em electricidade.

A tecnologia fotovoltaica aplicada as fachadas, será uma das mais importantes num futuro próximo, pois alia a componente estética dos edifícios com a sua sustentabilidade energética. Apresenta um grande compromisso com o desenvolvimento da energia solar em meio urbano, com especial atenção na sua integração arquitectónica. As fachadas com esta tecnologia, para além de funcionarem como isolamento e aproveitamento da luminosidade natural, produzem energia solar fotovoltaica, respeitam o meio ambiente e possuem um grande sentido estético e aproveitamento energético que as transformam em obras diferenciadas de arquitectura sustentável.

Nesta linha, o desenvolvimento de projectos emblemáticos de alta qualidade de integração, onde os cidadãos, com exemplos muito próximos a eles, possam convencer-se das possibilidades desta tecnologia e melhorar a sua consciência ambiental, é uma das linhas de actuação que melhores resultados tem proporcionado nas cidades mais avançadas na matéria. Tem sido nos edifícios públicos, que se tem actuado numa primeira instância.

Um contributo importante no desenvolvimento desta tecnologia tem sido dado pela mais recente regulamentação no domínio da térmica de edifícios, que veio conferir grande importância à integração e utilização de sistemas baseados em energias renováveis, o que poderá melhorar a qualidade e conforto nos edifícios e a produção mais limpa de energia.

Em Portugal, as construções anteriores à entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90 (posteriormente revogado pelo Decreto-Lei n.º80/2006), são insatisfatórias do ponto de vista do seu contributo para o grau de conforto no ambiente interior, requerendo assim um excessivo consumo energético para climatização. A reabilitação do edificado para que este se enquadre nos requisitos impostos no RCCTE, por si só, permite uma redução significativa do seu consumo energético.

## 1.2. Objectivos

A fachada é o elemento da envolvente com maior superfície e, para além disso, é o que tem mais contacto com as pessoas, tanto as que se encontram no exterior como as que se encontram no interior do edifício, pois faz a interface entre o ambiente exterior e o interior. Importa assim analisar as características de comportamento térmico da fachada e analisar o contributo da sua reabilitação para o seu desempenho energético, para a redução da factura energética assim como para a sua alteração de aspecto visual.

Assim, o presente estudo incide sobre a importância do contributo do desempenho energético das fachadas para a redução do consumo energético dos edifícios.

O objectivo principal desta dissertação é realizar a análise de diferentes soluções construtivas aplicáveis ao caso de estudo. Esta análise incide nas questões do projecto de arquitectura, de forma a considerar a necessidade de compatibilização entre o desempenho energético dessas soluções e a sua qualidade formal, do ponto de vista arquitectónico.

O propósito da análise elaborada é fazer a comparação entre as vantagens e desvantagens que uns sistemas têm em relação aos outros, permitindo ao arquitecto a possibilidade de optar pelo sistema que é mais eficaz na resposta às suas necessidades e/ou prioridades.

Com base no objectivo principal do presente estudo, que é o de melhorar o desempenho térmico das fachadas através da sua reabilitação, o enfoque é a redução do consumo energético dos edifícios, nomeadamente através do contributo térmico dos elementos das fachadas para a redução das necessidades energéticas para climatização.

Os objectivos específicos para a sua concretização abrangem:

1. Pesquisar as componentes da fachada e seu papel na dimensão energética/arquitectónica;
2. Pesquisar que possibilidades de solução para a reabilitação da fachada se podem efectuar;
3. Analisar as características do caso de estudo, sobretudo da fachada existente;

## 1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi elaborada de acordo com a seguinte estruturação:

### 1. Introdução

O primeiro capítulo da dissertação destina-se ao enquadramento do tema, aos motivos que levaram à sua escolha e à importância deste no seu contexto actual. Este capítulo traça,

ainda, os objectivos a alcançar, delimita o universo temporal e espacial do âmbito do estudo e descreve o modo como a dissertação será elaborada.

## 2. Desafios Energéticos e a Arquitectura

Este capítulo aborda os assuntos directamente relacionados com o tema da dissertação, como a importância das alterações climáticas associadas ao consumo de energias fósseis e os desafios energéticos impostos aos edifícios em geral, no contexto do desenvolvimento sustentável e da regulamentação existente. Para além do referido, é feita uma breve descrição das considerações, do ponto de vista da arquitectura bioclimática, a ter em conta numa reabilitação de fachadas com a integração da tecnologia fotovoltaica, tendo em conta as soluções arquitectónicas.

## 3. Fachadas e Componentes

No terceiro capítulo, faz-se a descrição das fachadas e dos seus componentes, bem como dos aspectos que influenciam o conforto térmico dos ocupantes e o consequente consumo energético. São também referidos alguns dos sistemas passivos e activos, relacionados com o contexto do trabalho, que contribuem para a redução do consumo energético.

## 4. Caso de Estudo e a Fachada Actual

Análise histórica e sua evolução, os diferentes tipos de células, situação da tecnologia fotovoltaica versus outras fontes de energia, bem como a sua rentabilidade. São ainda apresentados soluções de mercado para a os revestimentos de fachadas e coberturas.

## 5. O Sector Fotovoltaico em Portugal

É apresentado neste capítulo, a situação nacional neste sector, as evoluções de mercado e a sua implementação na arquitectura, como as vantagens da sua utilização em Portugal.

## 6. Caso Estudo - Reabilitação das Fachadas de Conjunto Habitacional

O conjunto habitacional existente do caso de estudo é descrito segundo o tipo de edifício, a sua localização, tipo de clima, forma e orientação solar. As fachadas do edifício são caracterizadas do ponto de vista energético, e o modo da implementação da tecnologia fotovoltaica tendo em conta o aspecto visual, dos seus elementos opacos e não opacos. Após traçar os objectivos e as restrições de intervenção no edifício existente, são propostas soluções para a reabilitação das suas fachadas. Estas soluções são analisadas segundo o seu

contributo energético e a sua viabilidade indicativa do ponto de vista técnico e económica. Os resultados obtidos são apresentados para cada fracção diferente das fachadas existentes.

## 7. Conclusões

Conclui-se este trabalho com as principais considerações sobre o tema da eficiência energética em edifícios, a procura de soluções para a reabilitação de fachadas, em particular no caso de estudo, sobre a implementação da tecnologia fotovoltaica no pensamento arquitectónico.

## 8. Referências Bibliográficas

São referidas as referências utilizadas e consultadas para a elaboração da presente dissertação.

## 9. Anexos

Apresenta-se neste capítulo as peças desenhadas (desenhos técnicos), referentes ao caso de estudo.

## 2. Desafios Energéticos e a Arquitectura

### 2.1. A arquitectura e a sua relação com o clima

A Arquitectura Bioclimática ou Solar Passiva, como também é frequentemente designada, tem como conceito base a relação do edificado com as condições climáticas e com os seres vivos que o habitam, neste caso os humanos. Daí a designação “bio” (de vida) e “climática” (de clima).

O papel da arquitectura bioclimática, e um dos deveres da arquitectura actualmente, é o de encontrar as soluções construtivas que façam a interface mais adequada entre as condições exteriores e as interiores, em que as exteriores são compostas por factores ambientais (variáveis climáticas) e as interiores por factores pessoais (tipo de utilização):

#### Factores ambientais;

- Temperatura do ar;
- Temperatura radiante média;
- Velocidade do ar;
- Humidade relativa do ar.

#### Factores pessoais;

- Actividade e metabolismo;
- Vestuário.

A finalidade do conceito bioclimático é conferir passivamente condições de conforto aos utilizadores do edificado, de forma a reduzir as necessidades energéticas para climatização. Assim, é possível minimizar o consumo energético, provocando um menor impacte ambiental. As principais vantagens em ter uma baixa necessidade energética são a redução do consumo de energias fósseis, as consequentes reduções da factura energética e das emissões de GEE, contribuindo para uma poupança económica e para os planos e programas de resposta às alterações climáticas.

Para encontrar soluções arquitectónicas para construção/reabilitação (materiais e sistemas), que apresentem um bom desempenho passivo, são traçadas estratégias bioclimáticas que conjugam os principais agentes influentes nas necessidades energéticas do edificado - a localização (clima e geometria solar) e a utilização (ocupação e actividade). Estas estratégias são compostas por um conjunto de medidas passivas que vão determinar a forma do edifício, bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos.

### **2.1.1. Estratégias de aquecimento**

- Restringir perdas por condução - aumento da massa térmica; aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos envolventes (paredes, coberturas, pavimentos); utilização de vidros duplos nos envidraçados e caixilharia com baixo coeficiente de transmissão térmica.
- Restringir perdas por infiltração de ar não controladas - estanquidade das caixilharias; protecção dos ventos dominantes, por exemplo com vegetação; escolha de uma boa localização para o edifício (neste caso relativamente ao vento). Porém, garantir caudal de ar mínimo de forma a assegurar a qualidade do ar interior.
- Promover ganhos solares - orientação dos envidraçados para a direcção com mais horas de radiação solar (para casos no hemisfério Norte, para Sul); utilização de sistemas solares passivos como paredes de Trombe, entre outros.

### **2.1.2. Estratégias de arrefecimento**

- Promover a ventilação natural - localização adequada dos vãos; janelas operáveis pelo utilizador; garantir caudal de ar mínimo de forma a assegurar a qualidade do ar interior;
- Restringir ganhos solares - protecção solar, por exemplo utilização de dispositivos de sombreamento ou vegetação; orientação adequada dos vãos; vidros reflectantes;
- Promover o arrefecimento por evaporação - utilização de espelhos de água e vegetação (aplicável em climas temperados secos, e climas de regiões desérticas áridas e muito secos);
- Promover o arrefecimento por radiação - emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior do edificado, tendo mais efeito durante o período nocturno em virtude da ausência de radiação solar directa.

### 2.1.3. A arquitectura é bioclimática

Definir Arquitectura é uma tarefa complexa não só devido à sua ampla abrangência disciplinar (matemática, ciências, artes, tecnologia, ciências sociais, política, história, filosofia, sociologia, entre outras) mas também devido à sua amplitude de escala ou de diversidade de programa. Para além disso, está em constante mutação à medida que a economia, a tecnologia, a sociedade e a política evoluem.

Os pilares desta arte são considerados a funcionalidade, a construção e a estética (Evers, 2003) e, para combiná-los da melhor forma, a arquitectura deve satisfazer determinadas regras e critérios. Na citação seguinte são descritos, por Lúcio Costa, alguns dos deveres da arquitectura:

*"Arquitectura é antes de mais nada construção, mas construção concebida com o propósito primordial de ordenar e organizar o espaço para determinada finalidade e visando a determinada intenção. E, nesse processo fundamental de ordenar e expressar-se, ela se revela igualmente e não deve se confundir com arte plástica, porquanto nos inumeráveis problemas com que se defronta o arquitecto, desde a germinação do projecto até à conclusão efectiva da obra, há sempre, para cada caso específico, certa margem final de opção entre os limites - máximo e mínimo - determinados pelo cálculo, preconizados pela técnica, condicionados pelo meio, reclamados pela função ou impostos pelo programa, - cabendo então ao sentimento individual do arquitecto, no que ele tem de artista, portanto, escolher na escala dos valores contidos entre dois valores extremos, a forma plástica apropriada a cada pormenor em função da unidade última da obra idealizada. A intenção plástica, que semelhante escolha subentende, é precisamente o que distingue a arquitectura da simples construção."*<sup>1</sup>

Lúcio Costa não menciona a palavra "sustentável", mas ao referir que a arquitectura é condicionada pelo meio, afirma que é condicionada pelo meio envolvente, ou seja, pelo clima, pelos recursos naturais, entre outros aspectos como a cultura ou a política.

O "conceito bioclimático" pode ser visto, então, como um dos pilares da arquitectura, em que nele está implícito o respeito pelo ambiente e pela vida pois se não respeitarmos o meio ambiente, as consequências podem ser catastróficas para todos os seres vivos, ou seja, também para nós próprios.

---

<sup>1</sup> In: Lúcio Costa, *Registro de uma vivência*. São Paulo: Empresa das Artes, 1995. 608p.il.

Apesar de todas as vantagens da implementação das estratégias bioclimáticas, estas não dispensam a sua complementaridade com sistemas activos. Isto, porque o grau de conforto exigido é cada vez mais elevado e as condições climáticas cada vez mais variáveis e imprevisíveis, sendo que as medidas passivas, por si só, não são capazes de responder a 100% a esse nível de exigência. Estes sistemas devem ter como recurso as energias renováveis, como no caso dos colectores solares e dos painéis fotovoltaicos. Se tal não for possível, a climatização deve ser feita através de equipamentos eficientes em termos energéticos.

Contudo, as estratégias bioclimáticas devem estar sempre em primeiro lugar, para que as necessidades energéticas sejam mínimas. Só posteriormente se deve recorrer aos sistemas activos. Esta é a forma mais indicada para conseguir alcançar a tão vantajosa eficiência energética e, possivelmente, um consumo de energias fósseis nulo, como no caso dos edifícios “NZEB”.

Net Zero Energy Building (NZEB) são edifícios com um balanço anual de energia nulo. Isto é, estes edifícios produzem tanta ou mais energia como aquela que consomem, ao longo de um ano. Para terem “zero” consumo de combustíveis fósseis e “zero” emissões de GEE, a energia produzida tem de vir de fontes renováveis. NZEB é um conceito próximo do ideal, que seria a total independência de energias fósseis.

É importante sublinhar que a redução das necessidades energéticas através do desenho bioclimático assim como através da melhoria da qualidade térmica da envolvente do edificado é a primeira estratégia para obter um consumo anual de energia igual a zero (IEA, 2009).

## **2.2. Conforto**

Este parâmetro resulta de sensações humanas, sendo subjectivo o grau de conforto sentido e, por isso, difícil de determinar com exactidão. De uma forma geral, conforto significa bem-estar. Para proporcionar o bem-estar dos ocupantes, é necessário assegurar o seu conforto a vários níveis - térmico, visual, acústico e, ainda, garantir a qualidade do ar interior.

Dado o âmbito deste trabalho, será abordado mais detalhadamente o tema do conforto térmico, enquanto os restantes níveis de conforto serão abordados de forma mais resumida.

## 2.2.1 Conforto térmico

*“O ambiente interno dos edifícios deve ser de molde a que, com vestuário apropriado, os utentes possam realizar as suas actividades sem sensação de desconforto, causada nomeadamente por trocas de calor exageradas ou desigualdade exagerada de temperatura entre as diversas partes do corpo”.<sup>2</sup>*

Os aspectos da construção que podem influenciar o conforto térmico são traduzidos, genericamente, pela sua inércia térmica, a resistência térmica, o factor solar e a protecção solar. Por exemplo, em climas frios as paredes devem ser bem isoladas para restringir as perdas de calor para o exterior, caso contrário a baixa temperatura no interior provocará desconforto.

Outro aspecto que influencia a temperatura interior é a temperatura das superfícies envolventes interiores. As superfícies emitem calor por radiação e a sua temperatura média tem uma contribuição de cerca de 50% para a temperatura sentida no interior, em que os outros 50% são da temperatura do ar no interior (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007). Por exemplo, um espaço cuja superfície interior é revestida a pedra será mais fresco do que um revestido a madeira.

O grau de conforto é influenciado, ainda, pelo tipo de utilização do edificado (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007), tornando a sua determinação numa tarefa mais complexa, pois as pessoas têm diferentes percepções do que é o conforto, pelo que uma pode sentir-se bem num determinado ambiente em que outra se sente desconfortável. Isto torna difícil a criação de um método simples e linear para o determinar.

Perante estas circunstâncias, estão incluídos no RCCTE valores limite e valores de referência para assegurar as condições básicas de conforto nos espaços interiores, sem que isso tenha como consequência um consumo excessivo de energia, de acordo com a zona climática. Os valores limite admissíveis são o coeficiente de transmissão térmica (U) da envolvente (para o Inverno) e o factor solar dos envidraçados (para o Verão).

De forma a otimizar o grau de conforto térmico no interior é aconselhável conceder a possibilidade de regulação dos sistemas de climatização aos ocupantes, que poderão geri-lo ao longo do dia e do ano, originando assim a possibilidade de adaptação a necessidades individuais.

---

<sup>2</sup> (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000)

O tipo de utilização do edifício por parte dos ocupantes influencia as cargas térmicas e, por consequência, as necessidades energéticas para a climatização do ambiente interior:

- Tipo de actividade praticada pelos utilizadores: determina a sua temperatura corporal, não só pela actividade em si mas também pelo vestuário. Quanto maior for a temperatura, maior é a carga térmica (logo menor é a necessidade de aquecimento e maior a de arrefecimento);
- Quantidade de utilizadores: quanto mais utilizadores, maior a carga térmica;
- Período de ocupação: é importante na medida em que é favorável saber quando e por quanto tempo estas cargas térmicas têm influência nas necessidades energéticas do edifício.

### 2.2.2. Conforto visual

O conforto visual consiste fundamentalmente em ter iluminação suficiente para o utilizador ter uma percepção real do espaço onde se encontra ou circula e ver claramente os objectos incluídos nesse espaço. Tal como no caso do conforto térmico, a determinação do grau de conforto visual é subjectiva, sendo necessário adaptar os níveis de iluminação às actividades que decorrem nos espaços interiores (González, 2004). De forma geral, deve-se ter em conta as seguintes referências:

- Evitar a iluminação excessiva, tal que o utilizador tenha dificuldade em visualizar o espaço, devido ao encandeamento por ela provocado;
- Impedir a existência de contrastes, quer devido ao contraste acentuado de sombras, quer na transição de espaços muito iluminados para espaços pouco iluminados e vice-versa;
- Ter em conta a cor da superfície envolvente interior (quanto mais clara, mais luminosidade confere);
- Aproveitar ao máximo a iluminação natural, não só por reduzir o consumo energético, mas também devido aos benefícios ao nível da saúde humana.

### 2.2.3. Qualidade do ar interior

O tempo de permanência das pessoas no interior de edifícios é estimado em cerca de 90% do dia (Pinheiro, 2006) e, por isso, a qualidade do ar interior (QAI) é um factor que influencia a saúde dos ocupantes, bem como a sua produtividade. Em 2006, foi instituído o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios - SCE, composto por um extenso pacote legislativo (Decretos-Lei n.º78, 79 e 80 de 4 de Abril de 2006), que prevê a obrigatoriedade de auditorias à QAI.

A utilização de materiais que podem conter ou libertar substâncias perigosas, bem como condições de humidade, temperatura ou ventilação inadequadas, ou sistemas que podem permitir o desenvolvimento de agentes patogénicos (por exemplo, o ar condicionado), podem originar riscos de saúde para os utilizadores, tanto mais acrescidos pelo nosso tempo de permanência no interior dos edifícios. (Tirone & Nunes, 2007).

A ventilação é responsável pelas renovações de ar, que, por sua vez, têm interferência nas necessidades energéticas do edifício, pois permitem a entrada de ar do exterior para o ambiente interior, originando perdas ou ganhos térmicos. Nos climas frios, por exemplo, as renovações de ar podem vir a ser responsáveis por grande parte das necessidades de aquecimento do edificado sendo, por isso, indispensável a minimização dos caudais de ar, sendo que o valor mínimo é limitado por valores que asseguram a QAI.

### 2.2.4. Conforto acústico

A perturbação do conforto acústico pode surgir de duas origens: por ruídos vindos do exterior e pela configuração do espaço interior e dos materiais utilizados.

O grau de ruído exterior depende da localização e orientação do edifício e pode ser mitigado, por exemplo, através da utilização de barreiras sonoras (construídas ou naturais, como árvores e arbustos) e através da própria construção, em que o isolamento acústico deve ser mais forte, seja o grau de ruído exterior mais elevado.

Relativamente ao conforto acústico gerado pelo próprio espaço, este é influenciado pela sua volumetria, pelos materiais de revestimento das superfícies interiores, bem como dos objectos presentes nesse espaço.

Tal como em qualquer nível de conforto (térmico, visual, higiénico), o grau de conforto acústico exigido depende do tipo de utilização do espaço em questão.

Em síntese, a adaptação da solução arquitectónica ao clima e ao tipo de utilização influencia o grau de conforto sentido no interior do edificado. O conforto resultante desta adaptação é

conferido de forma natural ou passiva, o que significa que não implica o consumo de energia. Isto quer dizer que, se o nível de conforto conferido não for o desejável, maiores serão as necessidades energéticas do edifício.

O conforto é, então, a chave para reduzir as necessidades energéticas para climatização. A eficiência energética de um edifício consiste em ter um consumo energético mínimo, sem comprometer o conforto dos ocupantes e, por esta razão, a arquitectura bioclimática é tão importante, quando se pretende alcançar a eficiência energética.

## 2.3. Regulamentação

Para um bom desempenho energético dos edifícios, foi implementada legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios, da qual se esperam tanto economias significativas de energia bem como um aumento do conforto no interior dos mesmos.

A regulamentação aplicável neste âmbito aos edifícios de habitação é o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril) e aos edifícios de serviços o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril).

### RCCTE

Em Portugal, os edifícios construídos antes da entrada em vigor da regulamentação relativa ao comportamento térmico e ao consumo energético dos edifícios não satisfazem as condições mínimas de conforto térmico. O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, foi o primeiro instrumento legal aplicado a edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados a impor requisitos à construção e remodelação de edifícios, de forma a garantir a satisfação das condições de conforto térmico sem consumos de energia excessivos.

Mais de uma década após a sua entrada em vigor, os resultados pretendidos foram alcançados com sucesso, tendo sido possível notar uma melhoria da qualidade da construção em Portugal. Exemplos desta melhoria são a aplicação de isolamento térmico e a utilização de vidros duplos, que se tornaram prática comum na construção assim como nas intervenções de reabilitação.

Como tal, alguns dos pressupostos definidos em 1990 viriam a mudar e, por esta razão, foi feita uma revisão do regulamento, cuja actualização foi aprovada pelo Decreto-Lei nº.80/2006, revogando o Decreto-Lei nº.40/90. Em destaque, encontra-se o aumento da utilização de equipamentos de climatização, que levou à imposição de limites aos consumos decorrentes da sua potencial existência e uso. Não sendo possível o estabelecimento de um consumo padrão no sector residencial, dado o uso destes equipamentos não ser permanente e as condições interiores serem variadas, foram fixadas condições ambientais de referência, segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, para cálculo dos consumos energéticos nominais. A maior estanqueidade dos vãos envidraçados também conduziu a alterações no regulamento, nomeadamente dos requisitos de renovação do ar, isto porque as renovações de ar (não controladas), que ocorriam devido à fraca estanqueidade dos vãos, sofreram uma acentuada diminuição, provocando uma maior acumulação de gases nocivos para a saúde dos ocupantes no interior dos edifícios.

Entre as alterações mencionadas, foi adicionada ainda a obrigatoriedade da instalação de colectores solares para a produção de água quente sanitária (AQS). O RCCTE foi e deve ser continuamente actualizado de acordo com a evolução dos contextos social, económico e energético, tendo como objectivo a melhoria da qualidade térmica dos edifícios e a redução dos consumos energéticos.

## **RSECE**

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-Lei nº.79/2006, aplica-se a edifícios com área útil superior a 1000m<sup>2</sup> dotados de sistemas de climatização com potência superior a 25kW, entre outros descritos no regulamento, e visa a utilização eficiente dos sistemas de climatização, baseando-se nos requisitos de qualidade térmica da envolvente, fixados no RCCTE.

O RSECE impõe o valor máximo do consumo energético global em função do uso dos espaços, para todo o edifício, em particular para a climatização e estabelece limites de potência dos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios bem como os requisitos mínimos da sua manutenção. Para além das questões energéticas, este regulamento pretende salvaguardar a qualidade do ar interior (QAI) através da imposição de requisitos mínimos de renovação do ar e de manutenção dos equipamentos.

O RSECE estabelece ainda a obrigatoriedade de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios tanto em termos de consumos energéticos como da QAI.

Deve referir-se que o conjunto de regulamentos acima referidos, que baseiam o SCE está neste momento em fase de revisão, sendo previsível a publicação das respectivas

atualizações no ano de 2011, incorporando já as imposições da Directiva Europeia 2010/31/EU, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios e que, por sua vez, constitui a revisão da Directiva 2002/91/CE.

O edifício estudado no âmbito da presente dissertação, um hotel de três estrelas, é um edifício não residencial com área útil superior a 1000m<sup>2</sup>, pelo que o regulamento aplicável quanto ao desempenho energético é o RSECE. No entanto, no contexto deste trabalho, que é o estudo do comportamento térmico das fachadas, o regulamento aplicado para efeito dos respectivos cálculos é o RCCTE, tal como é indicado no RSECE:

**Artigo 4.º**  
**Requisitos exigências**

*1 – Os requisitos exigências de conforto térmico de referência para cálculo das necessidades energéticas, no âmbito do presente Regulamento, são os fixados no RCCTE, tendo ainda em conta que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2m/s e que quaisquer desequilíbrios radiactivos térmicos devem ser devidamente compensados.*

**Artigo 6.º**  
**Condições nominais**  
(...)

*3 – Todos os novos edifícios de serviços, bem como os existentes sujeitos a grande reabilitação, devem ter envolventes cujas propriedades térmicas obedecem aos requisitos mínimos de qualidade impostos pelo RCCTE.*

**Artigo 28.º**  
**Requisitos de conforto térmico**

*Até à publicação de portaria específica, usam-se os mesmos valores definidos pelo RCCTE, no que se refere aos requisitos de conforto térmico.<sup>3</sup>*

---

<sup>3</sup> (RSECE, 2006)

## 3. Fachadas e Componentes

### 3.1. Evolução histórica das fachadas

As fachadas são as paredes exteriores de um edifício que, juntamente com a cobertura e com o pavimento, compõem a envolvente de um edifício. A envolvente actua como interface entre o ambiente exterior e o interior (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007), sendo uma das suas principais funções a protecção dos ocupantes do edifício contra as condições climatéricas, isto é, a temperatura, a precipitação, os ventos e a radiação solar. A envolvente protege ainda os ocupantes de outros inconvenientes como o ruído e possíveis intrusos. Assim, a envolvente tem a função de proporcionar condições de habitabilidade no interior do edifício e, como elemento integrante da mesma, a fachada deve contribuir para o mesmo fim.

O método de construção dos edifícios evoluiu de forma diferente nas várias regiões do planeta, dependendo essencialmente das condições do terreno, da matéria-prima disponível no local e das condições climáticas. Dependia também do tipo de vida do Homem: construção de estruturas de cerramento portante, no caso dos povos sedentários, e de cerramento não portante, no caso dos povos nómadas.<sup>4</sup>

Inicialmente, as fachadas eram estruturas portantes, compostas por paredes maciças, que suportavam a carga imposta pela cobertura e conservavam o calor no espaço interior, protegendo os seus ocupantes das condições climatéricas locais, dos animais selvagens e até mesmo dos seus semelhantes.

Para ventilar e iluminar o interior, foram abertos pequenos vãos nessas paredes. Todavia, essas aberturas resultavam numa perda térmica significativa, possibilitando ainda a entrada de chuva ou mesmo de intrusos. A solução seria a utilização de vidro (na altura translúcido), que continuava a permitir a iluminação natural do interior. As igrejas do período Pré-Românico e Românico já utilizavam vidros em pequenas dimensões devido às limitações da tecnologia de construção da época. Já as igrejas do Gótico, período em que a tecnologia permitia a abertura de vãos bem maiores do que os do Românico, eram repletas de vitrais, embora compostos por vidros de pequena dimensão, devido à sua fragilidade.<sup>4</sup>

No final da Idade Média, começaram a ser utilizadas janelas fixas em casa nobres e em palácios. As janelas eram relativamente pequenas ou tinham envidraçados muito subdivididos, devido às limitações do seu processo de fabrico. Pouco tempo depois, na altura do Renascimento, a utilização de janelas tornou-se mais frequente, evoluindo de diversas formas.

---

<sup>4</sup> (Mendonça, 2005)

Até ao século XIX, os vidros eram muito caros. Foi apenas na segunda metade do século XIX que, à medida que a arquitectura se libertava das limitações impostas pelas paredes portantes e se verificavam avanços no desenvolvimento da produção do vidro, se tornou mais vulgar a sua utilização em janelas com áreas envidraçadas de maior dimensão<sup>5</sup>. Este facto veio incrementar mais tarde a necessidade de utilizar sistemas de protecção solar, como palas, persianas e estores, conforme as condições climáticas do local.

A Revolução Industrial representou um grande impulso na evolução da indústria da construção, apresentando, no início do século XIX, novos materiais e métodos de produção: passaram a ser mais utilizados o ferro e o vidro, sobretudo nas fachadas de edifícios de serviços.

À medida que a fachada se tornava cada vez mais independente da sua função estrutural, também devido ao aparecimento das estruturas em betão armado, observou-se um incremento da dimensão dos vãos envidraçados, derivando em sistemas de “fachada cortina”.

Figura 1 - Seagram Building, New York. Mies van der Rohe, 1969



(Wikipédia, 2011)

Porém, o facto dos panos de vidro serem fixos, devido à falta de tecnologia, tornava o interior do edifício totalmente dependente de sistemas de ventilação e climatização mecânicos. Com a crise do petróleo dos anos 70 e a necessidade de racionalização dos consumos de energia, a aplicação deste sistema deixou de ser tão procurada, devido à sua elevada demanda energética, voltando a ser explorado o sistema parede-janela.<sup>5</sup>

---

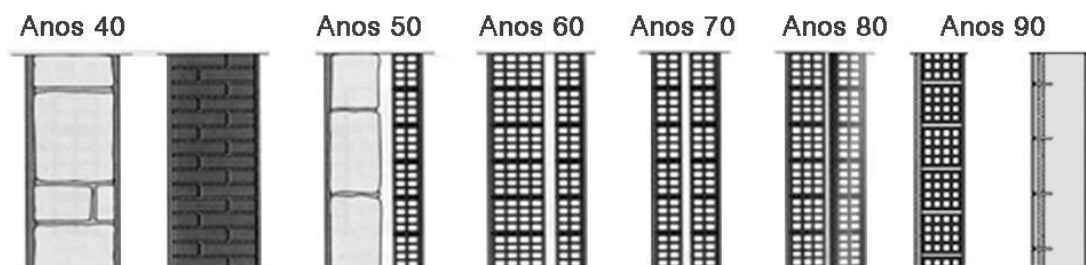
<sup>5</sup> (Wines, 2008)

A repentina subida dos custos energéticos e a tomada de consciência dos problemas ambientais associados à produção de energia a partir de combustíveis fósseis viria a alterar a tendência que se vinha sentindo na arquitectura desde a Revolução Industrial, que era descontextualizada do clima. Desta forma, sentiu-se uma necessidade crescente de equacionar as implicações energéticas da pele dos edifícios e a partir de então surgem várias inovações para a melhoria da sua eficiência energética.

Desde meados do século XX, o fabrico de janelas não só desenvolveu vários tipos de vidro como também novos materiais, que melhoraram o seu desempenho e funcionamento: foram desenvolvidos perfis, selantes, ferragens e o vidro duplo, enquanto a madeira e o ferro foram substituídos pelo PVC e o alumínio.

Paralelamente, em Portugal, as técnicas construtivas das paredes exteriores também sofreram uma evolução: as paredes, que eram panos simples de elevada espessura em alvenaria de pedra ou tijolo maciço, até aos anos 40 do século XX, passaram a ser constituídas por panos duplos de alvenaria de tijolo vazado com caixa-de-ar entre panos (década de 60/70) e, mais tarde, passaram a ter a sua caixa-de-ar total ou parcialmente preenchida por materiais isolantes. A última inovação, que apresenta um bom desempenho térmico, é a aplicação do material isolante pelo exterior, geralmente em paredes de alvenaria de tijolo ou paredes de betão.

Figura 2- Evolução das paredes em Portugal.



(Freitas V.P., 2002)

A evolução das soluções construtivas de paredes exteriores é justificada pela constante procura de resposta às crescentes expectativas de conforto no interior das habitações bem como às imposições legais, que foram surgindo através de regulamentação sobre a qualidade térmica dos edifícios, a partir dos anos 90.

Com a evolução exponencial da tecnologia, a criatividade é estimulada e surgem mais inovações. Em seguida é possível observar alguns exemplos do final do século XX: a utilização de imagens na fachada, tornando esta num meio de transmissão de mensagens (Figura 3); formas livres e proeminentes (Figura 4 e Figura 5), acrescentando efeitos luminosos (Figura 6).

No final do século XX, no Relatório de Brundtland (1987), foi definido pela primeira vez o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”: “desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras darem resposta às delas”.<sup>6</sup> Voltaram a ser estudados, de forma mais aprofundada, assuntos como a relação entre a arquitectura, o clima e os ocupantes (arquitetura bioclimática) e começaram a ser criados sistemas activos para a produção de energia através de fontes renováveis como o sol, o vento e o movimento da água.

A procura pela eficiência energética tem levado ao desenvolvimento de sistemas de fachadas dinâmicas, responsáveis pelo equilíbrio entre as necessidades energéticas do interior dos edifícios e as condições do seu ambiente envolvente. Actualmente existe um leque amplo de soluções de fachadas capazes de contribuir para essa eficiência energética e cujo resultado formal é interessante do ponto de vista arquitectónico.

Figura 3 - Biblioteca de campus de Jussieu, Paris. Herzog & de Meuron, 1993.



(El Croquis, 1993, cit. in Mendonça, 2005)

Figura 4 - Mathew Nowicki State Fair Arena. Berger, 1996.



(Mendonça, 2005)

---

<sup>6</sup> (cit. in Pinheiro, 2006)

Figura 5 - Guggenheim Museum Bilbao. Peter Frank Gehry, 1997.



(Great Buildings, 1997)

Figura 6 - Kunsthaus, Graz. Cook & Colin Fournier, 2003



(Jodidio, 2004)

Mais recentemente, tem-se investigado a integração de sistemas activos com recurso a energias renováveis na envolvente dos edifícios (Figura 7), como no caso do edifício do Departamento de Energias Renováveis do LNEG<sup>7</sup>, Solar XXI (Figura 8). Neste edifício, procurou-se a redução das necessidades energéticas de forma passiva e de forma activa através da integração de painéis fotovoltaicos na fachada (Figura 9) que, para além da sua função de produzir energia eléctrica, permitem aproveitar de forma passiva o aquecimento do ar entre estes e a parede, e de colectores solares térmicos na cobertura, de forma a alcançar o máximo de eficiência energética.

---

<sup>7</sup> (Laboratório Nacional de Energia e Geologia)

Figura 7 - Integração de células fotovoltaicas em cobertura transparente.



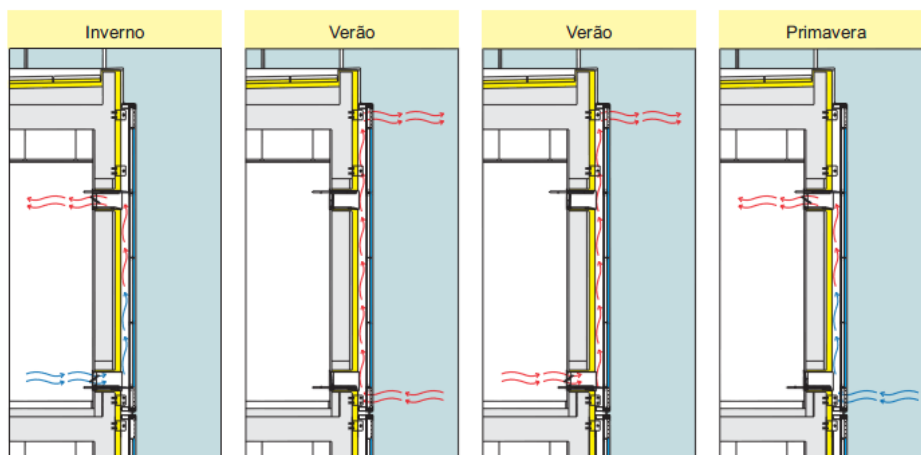
(SAPA, 2010-2011)

Figura 8 - Edifício SOLAR XXI, Lisboa, 2006.



(INETI, 2006)

Figura 9 - Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico para climatização passiva.



(INETI, 2006)

Futuramente, espera-se que a envolvente dos edifícios tenha capacidade de reacção e adaptação às condições exteriores (fachadas reactivas ou inteligentes), conferindo um ambiente confortável durante todo o dia e todo o ano, da forma mais eficaz, tal como acontece com a nossa própria pele, adaptando-se às condições do ambiente exterior.

## 3.2. Funções e componentes das fachadas

A fachada é, tradicionalmente, constituída por elementos verticais opacos - as paredes exteriores - e por elementos verticais não opacos - os vãos envidraçados. Contudo, existem fachadas compostas apenas por envidraçados, designadas por fachadas cortina, ou, na situação oposta, paredes exteriores que não contêm vãos envidraçados, como é o caso das fachadas cegas. No que diz directamente respeito a este trabalho, a fachada pode variar segundo:

- Aspectos estruturais: cerramento portante ou não portante;
- Sistema construtivo: panos simples ou múltiplos e materiais aplicados;
- Transmissão térmica e luminosa: elementos opacos, translúcidos ou transparentes;
- Aspecto formal: varia de acordo com o conceito arquitectónico.

Os aspectos estruturais e de constituição são referentes às paredes exteriores opacos, enquanto a transmissão térmica e luminosa refere-se tanto à área opaca como à área envidraçada.

A fachada tem interferência tanto no exterior como no interior do edifício:

- No interior do edifício, a fachada desempenha um papel determinante no conforto dos seus ocupantes, tanto em termos térmicos como visuais, acústicos ou higiénicos (qualidade do ar interior). O mau desempenho da fachada, através da incapacidade de proporcionar conforto, resulta no aumento das necessidades energéticas do edifício, o que pode levar a um excessivo consumo de energia para a climatização do ambiente interior. Por exemplo, se a fachada de um edifício localizado num clima quente não tiver protecção solar adequada, o conforto térmico será afectado devido ao sobreaquecimento do ambiente interior. Uma das medidas mais utilizadas em todo mundo para combater esta situação tem sido a utilização de aparelhos de ar condicionado para diminuir a temperatura interior, o que implica um aumento do consumo energético, tendo como consequência um impacte negativo tanto na sustentabilidade económica como na ambiental. Este é um exemplo que demonstra que as fachadas são determinantes para o conforto dos ocupantes no espaço interior e também para

a eficiência energética do edifício (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007), sendo que cada elemento das fachadas contribui de forma diferente.

- No exterior, a fachada pode ter influência ao nível do aspecto visual, mas também ao nível ambiental. Isto é, o mau desempenho energético da fachada, como foi anteriormente referido, pode contribuir para um consumo de energia excessivo, o que interfere em termos ambientais ao nível do consumo de recursos esgotáveis e das emissões de GEE.

Relativamente ao aspecto formal da fachada, este tem uma grande importância, pois funciona como “rosto” do edifício, transmitindo uma primeira impressão do estabelecimento em questão. Ao conceber a fachada, o arquitecto deve ter em consideração o contexto envolvente, dado a fachada interagir não só com os utilizadores do edifício mas também com os transeuntes e os ocupantes de outros edifícios.

O seu aspecto exterior deve estabelecer uma relação com o contexto envolvente, seja no sentido de se identificar com este ou no de se destacar, funcionando como meio de expressão de um conceito explorado pelo arquitecto, o qual deve tirar partido da potencialidade comunicante com o exterior que a fachada tem.

### 3.3. Elementos verticais opacos - Paredes exteriores

As paredes exteriores podem ser simples (um pano) ou multi-camadas (mais do que um pano) e podem ser:

- Leves (em madeira, metal, placas de gesso cartonado, polímeros e materiais compósitos);
- Pesadas (em pedra, taipa e adobe, tijolo, betão).

No caso das paredes leves, estas nunca são constituídas apenas por um painel, são executadas como parede dupla com caixa-de-ar (Figura 10), pois sem um segundo painel não oferecem praticamente nenhum isolamento térmico e acústico. Já as multi-camadas leves, em vez da caixa-de-ar, têm um painel constituído por um material isolante e, para evitar problemas de condensações e de humidade estagnada, são constituídas por um painel de revestimento colocado afastado do painel exterior, criando uma caixa-de-ar ventilada - fachada tripla ou painel sandwich (Figura 11), a solução de paredes leves mais adequada para climas temperados.

Figura 11 - Parede dupla.

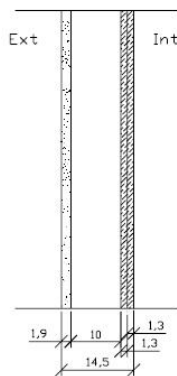


Figura 10 - Parede tripla composta painel sandwich ventilado.

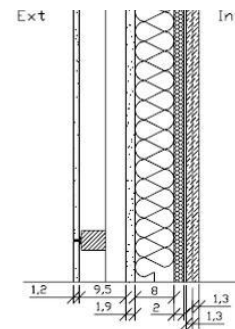


Figura 13 - Parede simples em tijolo furado e rebocado nas duas faces.

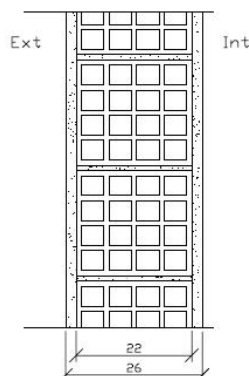
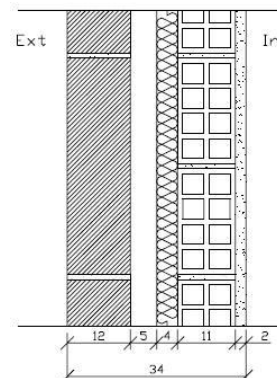


Figura 12- Parede dupla em pedra aparente e tijolo furado com isolamento na caixa-de-ar.



(Mendonça, 2005)

As construções inseridas na zona climática onde se encontra o edifício do caso de estudo, particularmente as mais antigas, são caracterizadas pela utilização de paredes pesadas e maciças (Figura 12). Este facto deve-se à inércia térmica elevada que os materiais pesados têm e também pela sua disponibilidade local. A inércia térmica é muito útil neste tipo de clima, pois confere alguma estabilidade da temperatura e, assim, garante o conforto térmico nos espaços interiores dos edifícios.

Os principais aspectos relacionados com os elementos verticais opacos que influenciam o desempenho térmico da fachada são:

- A inércia térmica;
- A resistência térmica;
- As pontes térmicas;
- A humidade.

### 3.3.1. Inércia térmica

A inércia térmica de um material é a sua capacidade de absorção e armazenamento de calor. A inércia térmica pode ser calculada por  $I = \sqrt{\lambda \rho c}$  em que  $\lambda$  é a condutibilidade térmica ( $W/m \cdot ^\circ C$ ), a massa volúmica ( $kg/m^3$ ) e  $C$  o calor específico ( $J/^\circ C$ ). A rapidez de absorção de calor depende, inicialmente, da condutibilidade térmica do material e, numa fase posterior, do calor específico, que se traduz na sua capacidade de armazenamento de calor.<sup>8</sup>

O correcto dimensionamento da inércia permite o amortecimento da transmissão de calor assim como o seu desfasamento temporal. A massa térmica absorve os ganhos de calor durante o dia, reduzindo a carga de arrefecimento, e liberta-os à noite, reduzindo a carga de aquecimento. Assim, a inércia térmica contribui para a estabilização da temperatura interior e, por esta razão, é muito útil em climas com amplitudes térmicas diárias grandes como em Portugal.

O funcionamento da inércia térmica deve ainda ser analisado em função da estação do ano (aquecimento ou arrefecimento) e em função do tipo de utilização do edifício (contínuo, intermitente ou casual), visto que este interfere nos ganhos de calor.

Na estação de aquecimento, os ganhos de calor são absorvidos durante o dia e durante a utilização dos espaços interiores, dando-se o retardamento das perdas térmicas por condução para o exterior. É ainda aconselhável a aplicação de isolamento térmico pelo exterior para potenciar este efeito, pois reduz as perdas de calor pela parede

Na estação de arrefecimento, a inércia térmica da fachada retarda a transmissão de calor para o interior do edifício por um lado, e absorve o calor resultante da radiação solar directa no interior do espaço, por outro.

O calor absorvido pela fachada durante o dia é irradiado continuamente para o interior do edifício durante a noite, sendo aconselhável recorrer à ventilação natural nessa altura, de forma a evitar o sobreaquecimento do ambiente interior e, simultaneamente, recuperar a capacidade de absorção do calor do dia seguinte.

---

<sup>8</sup> (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000).

### 3.3.2. Resistência térmica

A resistência térmica dos materiais permite calcular o coeficiente de transmissão térmica  $U$ , que é o valor que caracteriza termicamente os elementos construtivos. Esse valor tem de se enquadrar nos limites estabelecidos no RCCTE.

O coeficiente de transmissão térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) de um elemento é a “quantidade de calor por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa” (RCCTE, 2006). Por outras palavras, é o inverso da soma das resistências térmicas superficiais interior ( $R_{si}$ ) e exterior ( $R_{se}$ ) e da resistência térmica de cada camada constituinte do elemento ( $R_j$  em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ). Quanto maior a resistência térmica, menor é o valor de  $U$  de um elemento, ou seja, menor é a transmissão térmica por condução.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum_j R_j + R_{si}}, (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

A resistência térmica  $R$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) de um material  $J$  é determinada pelo quociente da espessura e pela condutibilidade térmica  $\lambda$  do material:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}, (m^2 \cdot ^\circ C/W)$$

Em que a condutibilidade térmica  $\lambda$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) é a propriedade que caracteriza o material homogéneo (de cada camada que compõe o elemento) e que representa a “quantidade de calor ( $W/m^2$ ) que atravessa uma espessura unitária ( $m$ ) do material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabeleça uma diferença unitária de temperatura ( $^\circ C$ )” (Santos & Matias, 2006).

Os valores da condutibilidade térmica dos materiais correntes de construção e de resistências térmicas das camadas não homogéneas mais utilizadas constam da publicação do LNEC Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Esta publicação contém igualmente uma listagem extensa do valor dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos de construção mais comuns.

As soluções construtivas utilizadas tradicionalmente até à entrada em vigor da regulamentação térmica dos edifícios geralmente apresentam características térmicas insatisfatórias do ponto de vista do mesmo.<sup>9</sup>

Actualmente, para corresponder aos valores limite de  $U$  exigidos pelo regulamento em vigor, é indispensável a utilização de materiais isolantes na construção. Estes asseguram o aumento da resistência térmica dos elementos opacos da fachada, sem aumentar significativamente o peso da construção, permitindo a sua aplicação em edifícios existentes sem grandes complicações.

O isolamento pode ser feito através de variados materiais, e pode ser aplicado pelo interior, na caixa-de-ar ou pelo exterior do edificado.

### 3.3.3. Pontes térmicas

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior transmissão de calor em relação à zona corrente dos elementos da envolvente (DGEG, 2004). Este fenómeno favorece o aparecimento de condensações superficiais que podem causar danos na envolvente do edifício, afectando o seu desempenho térmico e o seu estado de conservação.

As principais consequências da existência de pontes térmicas são:

- Perdas térmicas acrescidas em zonas pontuais;
- Aumento do risco de ocorrência de condensações superficiais que potenciam a degradação dos revestimentos interiores (rebocos e tintas) e o desenvolvimento de microrganismos como o bolor, afectando a qualidade do ar interior;
- Fissurações provocadas pela heterogeneidade das temperaturas superficiais interiores nas junções de materiais diferentes (alvenarias/pilares e vigas).

Existem dois tipos de pontes térmicas:

- Ponte térmica plana (PTP);

---

<sup>9</sup> (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000)

- Ponte térmica linear (PTL).

Podem encontrar-se PTP em pilares (Figura 14), em vigas (Figura 15) e até em caixas de estore (Figura 3.16). Estes elementos têm um coeficiente de transmissão térmica superior ao da respectiva zona corrente, permitindo um maior fluxo de calor através deles. Nas zonas de PTP, como em qualquer elemento construtivo no qual se considere um fluxo de calor entre superfícies, o coeficiente de transmissão térmica é calculado na direcção perpendicular ao plano da parede e, nos termos regulamentares em vigor, não pode ter um valor superior ao dobro do da zona corrente respectiva.

Figura 14 - Pilar intermédio

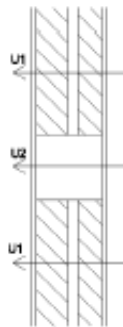


Figura 15 - Talão de viga.

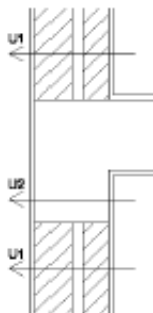
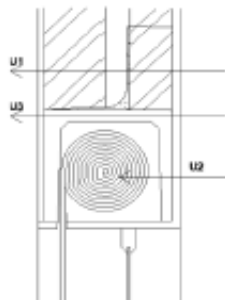


Figura 16 - Caixa de estore.

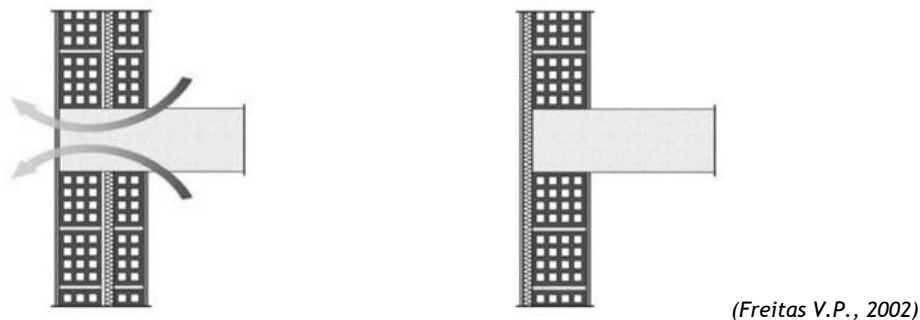


(Freitas V. P., 2002)

A ligação da fachada com pavimentos intermédios ou a ligação da fachada com varanda são exemplos de PTL. Para calcular as perdas térmicas deste tipo de ponte térmica, é necessário multiplicar o coeficiente de transmissão linear (presente no anexo IV do RCCTE) pelo seu desenvolvimento linear medido pelo interior.

Na reabilitação de fachadas, a forma mais eficiente de reduzir significativamente as pontes térmicas é através de soluções em que o isolante é aplicado pelo exterior, como se pode confirmar na (Figura 17).

Figura 17 - PTL, comparação do sistema de isolamento no interior da caixa-de-ar com sistema de isolamento pelo exterior.



### 3.3.4. Humidade

A humidade é originada pela condensação do vapor de água presente no ambiente interior. O vapor de água é produzido pelos ocupantes através da sua respiração e transpiração e pela evaporação de água quente, que ocorre geralmente em instalações sanitárias e cozinhas. Ao entrar em contacto com uma superfície a uma temperatura abaixo do ponto de orvalho do ar interior o vapor de água condensa alterando o seu estado para a fase líquida.

O fenómeno de condensação pode ocorrer devido a uma fraca ventilação, incapaz de remover o excesso de vapor de água, ou devido a um isolamento térmico com descontinuidades (pontes térmicas).

Em alguns casos, os problemas de humidade podem ser provenientes de infiltrações de água do exterior ou até mesmo de rupturas das instalações hidráulicas, sendo, então, aconselhável saber qual a origem do aparecimento da humidade para encontrar a solução adequada.

A presença de humidade afecta não só o desempenho energético das paredes exteriores mas também a durabilidade dos materiais, comprometendo o estado de conservação do edificado.

A sua persistência pode originar a degradação de estuques e rebocos e, em excesso, pode ser prejudicial para a saúde, pois cria condições favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais para a saúde.<sup>10</sup>

Este fenómeno pode ainda ocorrer no interior dos elementos construtivos da envolvente do edificado e causar danos que comprometem a sua durabilidade. Para além disso, a humidade provoca uma redução da eficiência do isolamento térmico, pois aumenta a condutibilidade térmica da maioria dos isolantes.<sup>10</sup>

### 3.4. Elementos verticais não opacos - Vãos envidraçados

*“Área de vãos envidraçados é a área, medida pelo interior, das zonas não opacas da envolvente de um edifício (ou fracção autónoma), incluindo os respectivos caixilhos.”<sup>11</sup>*

Estima-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento têm origem nas perdas térmicas através dos vãos envidraçados, pelo que estes merecem uma atenção especial aquando da reabilitação térmica das fachadas. A substituição dos vãos envidraçados é fundamental para a redução das necessidades energéticas, para além de permitir a correcção de outros aspectos como as infiltrações de ar não controladas e o reforço da protecção solar.

Os vãos envidraçados desempenham múltiplas funções, entre as quais a captação de energia solar, ventilação, conexão visual com o exterior e iluminação. São caracterizados segundo:

- Tipo de caixilharia: de madeira, metálica (com ou sem corte térmico) ou de plástico (PVC);
- Tipo de vão envidraçados: simples (uma janela) ou duplo (duas janelas);
- Número de vidros: simples, duplo ou triplo (variando também no gás entre vidros);
- Tipo de vidro: extra-claro, incolor, reflectante, laminado, baixa-emissividade ou com película de isolamento acústico;

---

<sup>10</sup> (DGEG, 2004)

<sup>11</sup> (RCCTE, 2006)

- Tipo de janela: fixa, giratória ou de correr;
- Espessura da lâmina de ar: entre janelas duplas ou entre vidros múltiplos;
- Coeficiente de transmissão térmica:  $U_w$  (locais sem ocupação nocturna) e  $U_{wdn}$  (locais com ocupação nocturna e dispositivo de oclusão nocturna);
- Tipo de dispositivo de oclusão nocturna / protecção solar: local de aplicação (interior ou exterior), material, opacidade e permeabilidade ao ar.<sup>12</sup>

Os principais aspectos a ter em consideração para a reabilitação térmica das fachadas, relacionados com os vãos envidraçados são:

- O coeficiente global de transmissão térmica ( $U$ );
- A captação da radiação solar (factor solar do vidro, orientação);
- As infiltrações de ar não controladas.

Também a proporção correcta entre a área de envidraçados e a opaca (paredes) é relevante para que os vãos cumpram as suas funções sem prejudicar o conforto dos ocupantes. Isto, porque um vão de grandes dimensões, num clima temperado como o nosso, pode ser vantajoso no Inverno para a captação de energia solar, mas terá um mau desempenho térmico nos restantes meses, causando sobreaquecimento, caso tenha sido mal dimensionado. Por outro lado, se uma área generosa pode ser constituir um benefício nos períodos de insolação no Inverno, representa também uma dificuldade acrescida na medida em que aumenta a perda de calor uma vez que o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados é elevado.

De modo a evitar a incompatibilidade de comportamento entre a estação de aquecimento e a de arrefecimento, têm vindo a ser desenvolvidos vidros com propriedades variáveis e controláveis: fototrópicos (segundo a radiação incidente), termotrópicos (em função da temperatura), cromogénicos (segundo a diferença de potencial eléctrico entre as superfícies).<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> (Santos & Matias, 2006)

<sup>13</sup> (Mendonça, 2005)

### 3.4.1. Coeficiente global de transmissão térmica

A transmissão térmica através dos vãos envidraçados varia de acordo com a conjugação dos factores acima descritos, sendo que as maiores diferenças de transmissão se verificam entre o vidro simples e o duplo e a caixilharia metálica e a plástica.

Tabela 1- Exemplo de coeficiente de transmissão térmica de dois tipos de vãos envidraçados.

Coeficiente de transmissão térmica (U)	(W/m <sup>2</sup> .°C)
vidro simples, caixilharia metálica	5,2
vidro duplo, caixilharia plástica	2,9

(Santos & Matias, 2006)

Existe uma grande variedade de vidros energeticamente eficientes disponíveis no mercado. O tipo de vidro utilizado mais correntemente em Portugal é o vidro duplo. Este reduz em quase 50% as trocas térmicas em relação aos vidros simples (Enerbuilding, 2008). Essas trocas podem ainda ser minimizadas através da utilização de gases específicos, com condutibilidade térmica muito reduzida, entre os panos de vidro.

Actualmente, existem no mercado diversos tipos de vidro especiais, nomeadamente vidros de baixa emissividade e vidros com lâminas preenchidas com gases raros, como o argon, SF ou krypton, que reduzem ainda mais as perdas térmicas. No entanto, o investimento em vidros com características de isolamento térmico reforçado dificilmente é rentabilizado em termos económicos.

A adopção de vidros duplos, para além de reduzir as trocas térmicas e melhorar o conforto térmico, evita ainda a ocorrência de condensações e melhora o conforto acústico.

Apesar de a sua área ser reduzida em relação aos outros elementos da fachada, a caixilharia desempenha igualmente um papel determinante nas transferências térmicas entre o exterior e o interior. As caixilhariarias que apresentam melhores propriedades térmicas ( $U$  menor) são as de madeira, PVC ou alumínio com corte térmico.

### 3.4.2. Captação da radiação solar

A captação da radiação solar através dos vãos envidraçados, correntemente designada por ganhos solares, é uma estratégia solar passiva favorável à redução das necessidades de aquecimento, no Inverno.

A propriedade do vidro que determina a sua capacidade de captação de energia solar do vidro é o factor solar, que “determina a fracção da energia incidente no vidro que penetra no interior do edifício”<sup>14</sup> Porém, não é possível quantificar o contributo energético do vidro através deste factor.

Mesmo assim, é importante ter o conhecimento das implicações da orientação solar dos vãos envidraçados, pois esta interfere no conforto sentido nos espaços interiores e também pode requerer um diferente tipo de solução construtiva; por exemplo, existem materiais que não devem estar expostos à radiação solar directa ou cores de acabamento que devem ser evitadas. Para conhecer então o percurso do Sol ao longo do ano, é imprescindível proceder ao estudo da geometria solar. Isto, porque o ângulo e o período de incidência solar varia segundo o local, a hora e o dia do ano (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 - Variação do ângulo entre o Sol e a Terra.

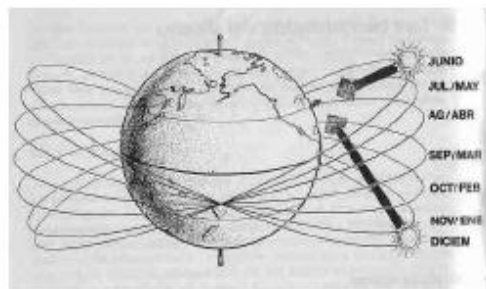
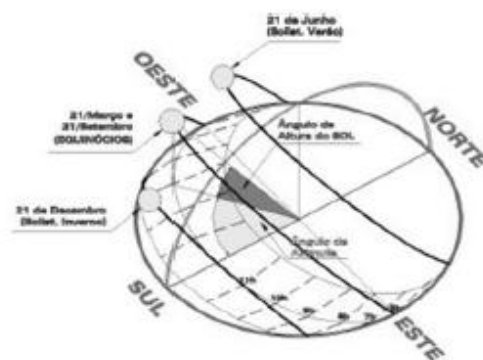


Figura 19 - Percursos do Sol no hemisfério Norte.



(Gonçalves & Graça, 2004)

<sup>14</sup> (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000).

A geometria solar estuda a trajectória do Sol ao longo de todo o ano através das cartas solares, as quais contêm as projecções dos ângulos horizontais e verticais que o Sol faz com a Terra. Esses ângulos variam de acordo com o hemisfério e com a latitude do local, existindo cartas adaptadas às diferentes situações.

Quando se faz o estudo da geometria solar para um edifício, deve ser tida em conta a sua forma e eventuais obstruções à incidência solar como edifícios vizinhos, árvores, palas, etc. Como se pode observar na Figura 19, para o hemisfério Norte:

- No Inverno, o ângulo da altura do Sol é menor e os raios solares entram pelos envidraçados com profundidade. O Sol nasce próximo da orientação Sudeste e põe-se próximo da orientação Sudoeste, o que significa que o Sol incide essencialmente nas superfícies viradas a Sul e que o período de radiação solar durante o dia é reduzido.

- No Verão, o ângulo da altura do Sol é maior e os raios solares entram pelos envidraçados com pouca profundidade a Sul. O Sol nasce próximo da orientação Nordeste e põe-se próximo da orientação Noroeste, o que significa que o Sol incide em todas as superfícies, sendo o período de incidência nas superfícies a Norte muito reduzido, e que o período de radiação solar durante o dia é mais longo do que no Inverno.

Em síntese, as superfícies viradas a Sul recebem o máximo de radiação solar no Inverno e têm fraca incidência solar directa no Verão (devido à altura do Sol). As superfícies a Norte devem ser bem isoladas e ter poucas aberturas, pois não têm praticamente nenhuma incidência solar. As orientações Nascente e Poente são ineficientes em termos de captação da radiação solar não só no Inverno, por não receber radiação directa significativa, mas também no Verão, pois a altura solar nessas orientações é baixa e os raios solares podem penetrar no interior do espaço, afectando o conforto térmico e visual.

Para maximizar a captação da energia solar, os vãos orientados a Sul devem estar desobstruídos e a energia recebida deve ser armazenada na massa térmica dos outros componentes da construção para que o calor comece a ser libertado no final do dia, quando é mais necessário.

É imprescindível referir que, em climas temperados, os vãos envidraçados devem estar dotados de protecção solar no Verão, de forma a restringir os ganhos solares.

A captação da radiação solar pode ser realizada através de sistemas de ganhos directos, indirectos ou isolados.

### 3.4.3. Infiltrações de ar não controladas

O caixilho é o elemento de transição entre as áreas opacas e as áreas envidraçadas da fachada e tem como principais funções garantir a estanquidade e a operacionalidade dos vãos. Quando o caixilho não garante a estanquidade ao ar, possibilita trocas térmicas que, por sua vez, podem aumentar as necessidades energéticas do edifício.<sup>15</sup>

Contudo, a estanquidade pode prejudicar a qualidade do ar interior, caso não ocorra o número mínimo de renovações de ar, pois não permite a evacuação de gases prejudiciais para a saúde, que resultam da respiração dos ocupantes assim como da combustão de aparelhos de queima. Podem surgir também problemas de humidade devido ao vapor de água não evacuado.

Para garantir a qualidade do ar interior, deve ser, então, definida uma estratégia de ventilação, pelo menos para garantir as renovações de ar essenciais para a salubridade do ar interior. A ventilação pode ser natural, mecânica ou híbrida. A última, comumente considerada a melhor hipótese, possibilita ventilar naturalmente o espaço interior sem recorrer ao consumo de energia, mas também permite a ventilação artificial, caso não seja suficiente a taxa de ventilação natural.

## 3.5. Sistemas passivos

Os sistemas passivos são sistemas que contribuem para a climatização do ambiente interior sem que para isso seja necessário recorrer à energia mecânica. Em vez disso, tiram partido do Sol e das restantes variáveis climáticas do local, como o vento e a chuva, para manter o nível de conforto no interior dos edifícios.

Os sistemas passivos surgem das civilizações mais antigas, cujos abrigos serviam sobretudo para os proteger das condições climatéricas, e eram usados para obter maior conforto no interior das habitações. Devido à baixa tecnologia, estes sistemas foram desenvolvidos de forma empírica e o conhecimento foi passado de geração em geração. Estes sistemas funcionavam somente pela sua existência, dispensando o recurso a qualquer fonte externa de energia motora.

---

<sup>15</sup> (DGEG, 2004)

Com a evolução da tecnologia, desde a Revolução Industrial, o Homem pôde ignorar todas as condicionantes climáticas e mecânicas de antigamente, o que resultou numa Arquitectura descontextualizada do local.<sup>16</sup> Só a partir dos anos 70, com a necessidade de reduzir o consumo de petróleo, o Homem voltou a tentar enquadrar as soluções construtivas no tipo de clima e localização geográfica respectiva.

Os sistemas passivos funcionam de acordo com a orientação da fachada, a forma do edifício e a sua posição relativa a obstáculos sombreadores, como outros edifícios ou vegetação.

Tabela 2 - Exemplos de sistemas passivos.

Sistemas de aquecimento	Directos	Envidraçados Lucernário Clarabóia
	Indirectos	Paredes, coberturas e pavimentos de armazenamento térmico
	Isolados	Estufas Sistemas de termosifão
Sistemas de arrefecimento	Directos	Protecção solar Ventilação Construções enterradas Evaporação/Desumidificação
	Indirectos	Radiação nocturna Ventilação dos elementos de armazenamento térmico
	Separados	Ventilação a partir de zonas separadas

### 3.5.1. Sistemas de aquecimento passivo

O aquecimento solar passivo assenta na captação da radiação solar (ganhos solares) através dos vãos envidraçados. A energia solar directa é aproveitada, no próprio momento em que está a ser captada, para aquecimento e iluminação.

Aos sistemas de captação de energia solar directa podem associar-se elementos massivos de armazenamento térmico, que libertarão a energia absorvida em forma de calor horas depois do início da absorção (depende da inércia térmica do material).

<sup>16</sup> (Wines, 2008)

A captação pode ser realizada das seguintes formas:

- a. Ganho Directo;
- b. Ganho Indirecto ou desfasado;
- c. Ganho Isolado.

#### a. Sistema de ganho directo

Este tipo de sistema (Figura 20) é especialmente indicado para climas frios, ou para o Inverno no caso do clima temperado. A superfície envidraçada deverá ser cuidadosamente dimensionada, assim como a respectiva protecção solar no Verão (Figura 21), de modo a evitar o sobreaquecimento do ambiente interior.

Figura 20 - Representação esquemática do sistema de ganhos directos.

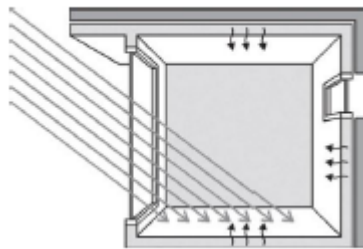
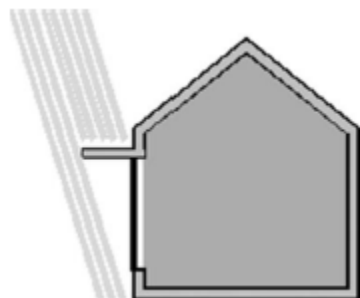


Figura 21 - Representação esquemática do sombreamento.



*(Gonçalo & Graça, 2004)*

Na fachada orientada a Sul, a superfície envidraçada deverá ser cerca de 40% da sua superfície total. Se a superfície envidraçada exceder 50% da superfície total, os espaços situados nesse lado ficarão sujeitos a um calor excessivo no Verão, conduzindo a uma diminuição considerável no bem-estar (Isolani, 2008). Contudo, uma superfície envidraçada reduzida, diminuindo o risco de sobreaquecimento no Verão, diminui também a captação de energia solar, aumentando as necessidades de aquecimento. Por esta razão, é importante um

dimensionamento dos vãos envidraçados, adequado à situação geofísica e de programa do edifício.

Os dispositivos de sombreamento podem ser aplicados no interior ou no exterior dos vãos. Podem ainda ser fixos ou reguláveis. No caso dos fixos, estes devem ser dimensionados de forma a proteger os vãos envidraçados no Verão, mas que deixem entrar os raios solares no Inverno. Os reguláveis têm a vantagem de regular o nível de iluminação e de privacidade, para além de regularem a captação de energia solar. Existe também a possibilidade de utilizar vidros reflectantes, que reduzem os ganhos solares por radiação. No entanto, passam a não ser tão eficientes no Inverno.

É ainda aconselhável a utilização de dispositivos de oclusão nocturna, como por exemplo estores, portadas e persianas, de modo a evitar perdas térmicas durante a noite.

Em resumo, quando bem dimensionados, orientados e protegidos, os vãos envidraçados têm a capacidade de proporcionar boas condições de conforto térmico nos ambientes interiores, obtendo uma redução das necessidades energéticas de aquecimento e também de arrefecimento.

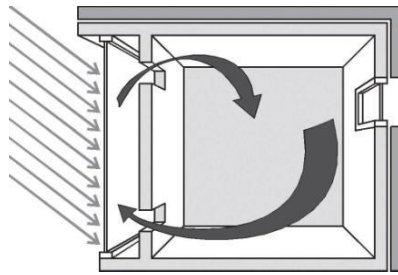
## b. Ganhos indirectos

Os três sistemas base de ganho indirecto são as paredes acumuladoras (paredes de Trombe), as coberturas de água e o ganho isolado. Sendo que este trabalho não abrange a cobertura, serão referenciados somente alguns exemplos de paredes de Trombe e, no subtítulo seguinte, de ganhos isolados.

As vantagens deste sistema, em relação ao sistema de ganhos directos, são a sua capacidade de conferir temperaturas estáveis, mesmo em dias de fraca radiação, e a sua possibilidade de controlo da absorção de calor, de forma a evitar o sobreaquecimento.

O sistema de ganhos indirectos de uma fachada consiste em aquecer uma massa de ar ou armazenar o calor num elemento de massa elevada (por exemplo: parede, coluna de água), colocada entre uma superfície vidrada e o espaço interior, para que liberte o calor armazenado nas horas seguintes, quando o calor é mais necessário. A libertação de calor pode ser realizada por condução ou pela combinação da condução com a convecção natural, no caso em que existem aberturas no elemento que separa a massa térmica do espaço interior (Figura 22).

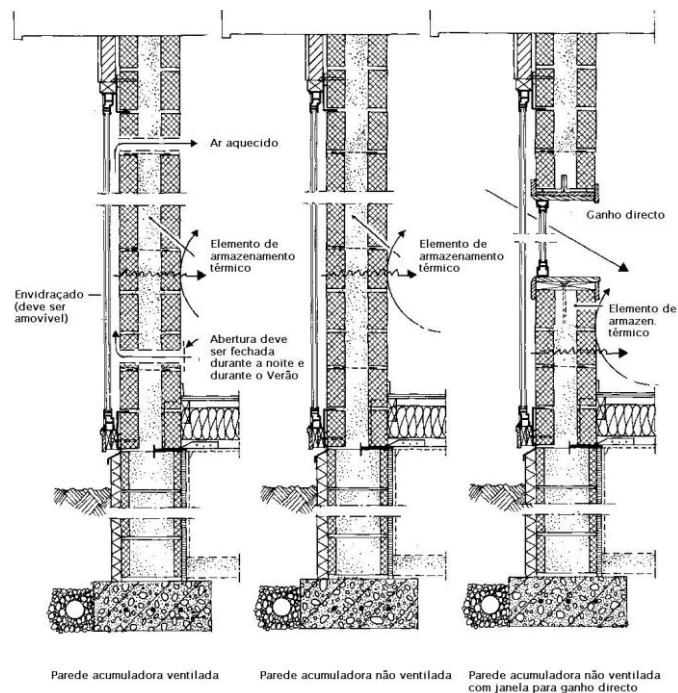
Figura 22 - Representação esquemática do sistema de ganhos indirectos.



(Gonçalo & Graça, 2004)

O conceito de parede acumuladora de calor ou parede de armazenamento térmico foi patenteado em 1881 por Edward Morse. No entanto, esta parede torna-se popular em 1964, tendo sido desenvolvida pelo engenheiro francês Félix Trombe e o arquitecto Jacques Michel, passando a ter a designação de “Parede de Trombe”. A (Figura 23) mostra alguns exemplos de paredes acumuladoras, que podem transmitir o calor absorvido por condução e convecção natural, só por condução ou por condução com a adição de ganho directo através de uma janela.

Figura 23 - Paredes de armazenamento térmico.



(Kok & Andrews, 1989)

Mais recentemente, surgiu um sistema de parede acumuladora ventilada que tem aberturas na superfície exterior e na parede de armazenamento térmico, facultando o controlo da transmissão térmica da parede colectora através da existência de orifícios nas partes inferior e superior da parede (Figura 24).

Figura 24 - Representação esquemática da parede de Trombe (ventilada).



(Portal das Energias Renováveis, 2008)

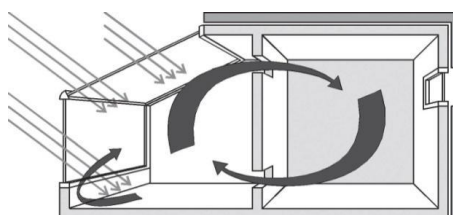
No Inverno, ao fechar os orifícios exteriores, o ar entre o vidro e a parede aquece. O ar aquecido sobe por convecção natural e circula no interior do espaço de ar entre o vidro e a parede. Através dos orifícios existentes na parede, ocorre uma troca de ar com o ambiente interior o que contribui para o aumento da temperatura no local habitado. Ao mesmo tempo, dá-se o aquecimento da temperatura do ar interior também por condução.

Entre estações, é possível regular a temperatura interior ajustando devidamente a abertura dos orifícios entre a parede e o interior e entre o espaço de ar e o exterior. No Verão, a parede deve ter protecção solar e deve ser ventilada, sendo que os orifícios que dão acesso ao espaço interior devem permanecer encerrados, de forma a evitar a entrada de ar quente.

### c. Ganhos isolados

Neste sistema, tanto a captação da radiação solar como o armazenamento térmico encontram-se numa área isolada, normalmente denominada de “estufa”. Esta permite a transmissão dos ganhos solares para o espaço interior por condução e, caso haja aberturas, também por convecção natural (Figura .25).

Figura 25 - Representação esquemática do sistema de ganhos isolados.



(Gonçalo & Graça, 2004)

Este sistema é muito vantajoso em zonas com grande percentagem de dias com céu encoberto, pois tem uma grande capacidade de captação da radiação difusa mas, tal como acontece com os vãos envidraçados, deve ser considerado um mecanismo de oclusão nocturna, para que não ocorram grandes perdas térmicas durante a noite.

O sistema de ganhos isolados também deve ser cuidadosamente dimensionado e orientado, assim como os outros sistemas de ganhos, de forma a evitar o possível sobreaquecimento do ambiente interior no Verão.

Outra vantagem é que a zona de estufa não só transmite calor como também funciona como zona de amortecimento entre o exterior e o ambiente interior, reduzindo as perdas térmicas deste.

### 3.5.2. Sistemas de arrefecimento passivo

Os sistemas passivos de arrefecimento visam diminuir a temperatura do ambiente interior, recorrendo a fontes frias e a soluções arquitectónicas que conduzam à restrição ou atenuação dos ganhos solares e de estratégias de dissipação de calor, traduzindo-se na melhoria do conforto térmico e na diminuição das necessidades de energia para arrefecimento.

Os sistemas de arrefecimento passivo, inseridos no contexto deste trabalho, são:

- a. Ventilação Natural;
- b. Protecção Solar.

#### a. Ventilação natural

A ventilação natural funciona como estratégia de dissipação de calor, quando a temperatura exterior é mais baixa do que a interior, o que acontece geralmente nas primeiras e nas últimas horas do dia.

A ventilação dá-se de forma natural devido a variações da densidade do ar provocadas pela diferença de temperaturas entre o ar interior e exterior (a densidade do ar quente é menor que a do ar frio, fazendo com que o fluxo frio-quente seja ascendente) e também devido à acção directa do vento sobre o edificado. Por esta razão, o posicionamento e o dimensionamento dos vãos envidraçados (Figura 26) são mais uma vez cruciais para o funcionamento correcto de um sistema passivo.

No entanto, no caso da reabilitação das fachadas de um hotel de cidade, normalmente existem limitações quanto ao redimensionamento e reposicionamento dos vãos envidraçados.

Na maioria das habitações, os quartos têm apenas uma janela, sendo a ventilação natural feita através da janela e uma conduta de evacuação do ar para o exterior do edifício localizada na casa de banho (Figura 27).

Figura 26 - Representação esquemática da ventilação natural.

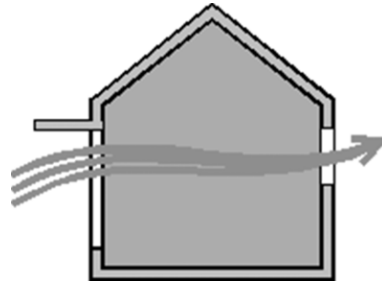


Figura 27 - Exemplo da ventilação natural em quarto.



(Gonçalo & Graça, 2004)

A ventilação natural tem muitas vantagens sobre a ventilação mecânica, porém tem alguns inconvenientes como o fraco poder de controlo dos caudais de ar, o comprometimento da qualidade do ar devido à poluição e o comprometimento do conforto acústico devido ao ruído.

Assim, os quartos devem estar equipados com sistemas de climatização (individual, no caso dos estabelecimentos hoteleiros) que proporcionem um ambiente confortável, sendo que estes equipamentos devem implicar a renovação de ar e não apenas o recondicionamento do ar interior, de forma a garantirem a qualidade do ar interior.

## b. Sistemas de protecção solar

Os vãos envidraçados têm a capacidade de captar a energia solar, o que é muito vantajoso no Inverno, mas pode ser muito inconveniente no Verão por provocar sobreaquecimento, afectando o conforto térmico e aumentando as necessidades de arrefecimento. Os sistemas de protecção solar têm a função de equilibrar a captação/restricção dos ganhos solares nos momentos adequados.

Para além da melhoria do conforto térmico, o controlo da captação da radiação solar promove a melhoria do conforto visual, reduzindo os níveis de contraste de iluminação e a privacidade.

Para restringir os ganhos solares, os vãos envidraçados devem ser munidos de dispositivos de protecção solar, os quais podem ser compostos por elementos naturais, como árvores e sebes, ou por elementos construídos, como palas e toldos, etc. Os sistemas de sombreamento podem ser classificados segundo a sua localização no edifício e segundo a sua possibilidade de manuseamento:

- Exteriores (por ex: palas), interiores (por ex: cortinas) ou incorporados (entre os panos de vidro);
- Fixos (por ex: palas) ou reguláveis (por ex: estores).

O material e a cor das protecções também têm influência no seu desempenho, na medida em que a sua capacidade de reflexão/absorção varia, como se pode observar no seguinte quadro:

O sombreamento pelo exterior tem um custo mais elevado e exige mais manutenção do que o sombreamento pelo interior, mas é mais eficaz na restrição dos ganhos solares, pois evita a absorção da radiação solar, sendo rapidamente amortizáveis em termos de balanço energético pela energia economizada.

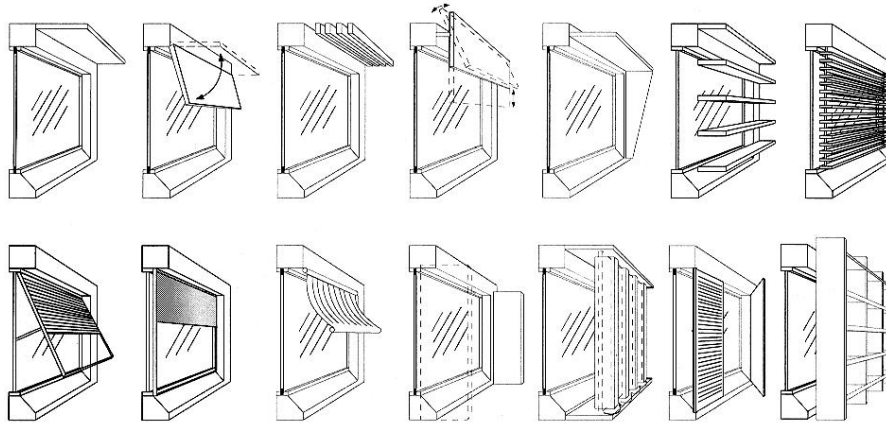
Figura 28- Diferença de absorção da radiação solar em estores de lâminas exteriores e interiores, respectivamente.



(Mendonça, 2005)

Os elementos de sombreamento pelo exterior têm um grande impacto na imagem do edifício e, como tal, todas as decisões relativas a estes devem ter em consideração a sua boa integração na fachada, de forma a não afectar o aspecto visual da fachada.

Figura 29 - Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas



(Mendonça, 2005)

Para o desenho e a escolha de um tipo de elemento de sombreamento eficaz, é necessário estudar a geometria solar do edifício, de forma a saber qual a melhor forma de proteger os vãos, tendo em conta os ângulos horizontais e verticais que o Sol faz com o envidraçado. No entanto, o tipo de sombreamento a escolher, depende fundamentalmente da orientação da fachada. No caso do hemisfério Norte a:

- Sul - poderá ser utilizado um elemento do tipo pala, visto que, no Verão, o ângulo da altura do Sol em relação à Terra é de maior dimensão, um elemento deste género será suficiente para bloquear a entrada de radiação directa (Figura 30). Para controlar a radiação indirecta ou difusa deverá ser usado um dispositivo de protecção solar (ou vidro reflectante).

- Este - para os vãos localizados no lado a Este será mais eficaz um tipo de protecção vertical opaca ou constituída por lâminas que permitam a visão mas impeçam a entrada de radiação. Isto, porque ao início do dia, o Sol faz um ângulo menor com a Terra e, como tal, as palas horizontais tornam-se ineficazes (Figura 31). Geralmente é preferível minimizar a superfície envidraçada.

- Oeste - o sombreamento a Oeste deverá ser feito através de protecção vertical, tal como o dos vãos a Este ou minimizar o envidraçado.

- Norte - no hemisfério Norte, não é necessário colocar elementos de sombreamento nos vãos orientados a Norte. Contudo, existem proteções que podem ser utilizadas nesta orientação para evitar a perda de calor produzido no interior da casa para a situação de Inverno.

Figura 30 - Influencia do ângulo de altura solar nos envidraçados.

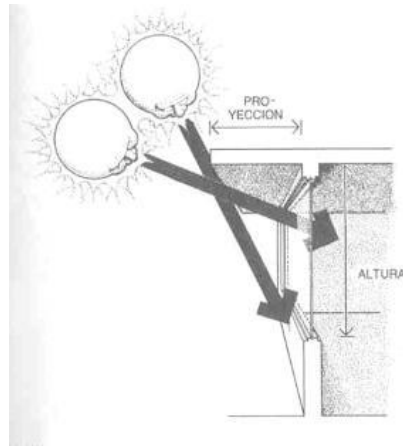
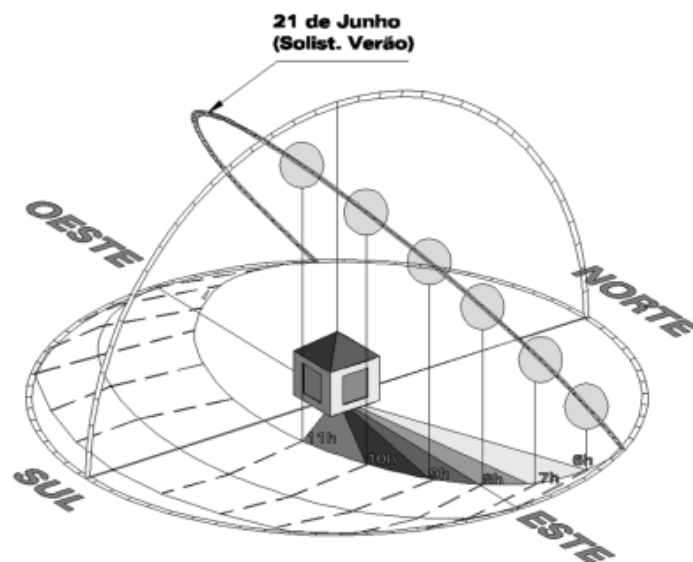


Figura 31 - Variação da altura do Sol no Verão.



(DGEG, 2004)

### 3.5.3. Sistemas de isolamento térmico.

O isolamento térmico das fachadas de um edifício é uma componente muito importante para a sua eficiência energética. Funciona como uma barreira à transmissão térmica por condução através da envolvente opaca, contribuindo para manter o ambiente interior quente no Inverno e fresco no Verão. A utilização deste sistema é essencial para manter o conforto dos ocupantes e evitar consumos energéticos excessivos de climatização.

Isolante térmico é o material de condutibilidade térmica inferior a  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e aplicado em camada cuja resistência térmica é igual ou superior a  $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ .<sup>17</sup>

A principal característica dos materiais isolantes é a sua condutibilidade térmica,  $\lambda \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  muito reduzida. Estes devem apresentar ainda outras propriedades como a não absorção de humidade, resistência mecânica adequada à utilização, resistência ao fogo, ausência de odor e durabilidade, entre outras.

Relativamente ao isolamento térmico dos elementos verticais opacos, surgiram várias inovações em materiais isolantes, uns mais indicados para paredes pesadas e outros para as leves: lãs de rocha e de vidro; poliuretano projectado; poliuretano injectado; poliestireno expandido; poliestireno extrudido; aglomerado negro de cortiça; filme alveolar e aglomerados hidráulicos de fibras de abeto.

O isolante térmico pode ser aplicado pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar de paredes duplas. Cada uma destas opções admite ainda diferentes soluções de revestimento.

Para um isolamento térmico eficiente é imprescindível revestir totalmente a superfície em contacto com o exterior a ser isolada. As descontinuidades devem ser evitadas ao máximo, pois representam pontos onde ocorre uma maior transmissão de calor entre o interior e o exterior (pontes térmicas), que criam condições favoráveis ao aparecimento de humidade, para além de aumentarem as necessidades de energia para obtenção de conforto.

O isolamento térmico pelo exterior é o único que praticamente elimina as pontes térmicas, sendo considerado, por isso, o mais eficiente em termos térmicos. Não obstante as suas qualidades, este sistema tem algumas limitações que não podem deixar de ser referidas.

---

<sup>17</sup> Adaptado do (RCCTE, 2006)

Tabela 3 - vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior em relação ao isolamento interior.

VANTAGENS	INCONVENIENTES
- Protecção das paredes contra agentes atmosféricos	- Constringimentos históricos/arquitectónicos
- Ausência de descontinuidade na camada isolante	- Constringimentos de ordem técnica
- Supressão de "pontes térmicas" e redução dos riscos de condensação	- Custo geralmente mais elevado
- Isolamento térmico mais eficiente	- Condicionamento dos trabalhos pelo estado do tempo
- Conservação da inércia térmica das paredes	- Condensações superficiais
- Manutenção das dimensões dos espaços interiores	- Risco de fendilhação dos revestimentos (em soluções com revestimentos contínuos)
- Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras	
- Dispensa de interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos	
- Eventual melhoria do aspecto exterior dos edifícios	

#### a. Sistemas de isolamento térmico exterior

A adopção dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior tem vindo a aumentar em diversos países europeus assim como em Portugal, quer na construção nova, quer na reabilitação de fachadas.

Este tipo de sistema surge como uma das melhores soluções para alcançar os requisitos térmicos impostos pelo RCCTE, sendo particularmente favorável nas intervenções de reabilitação, pelo facto dos trabalhos de aplicação do sistema serem realizados sem haver necessidade de utilizar os espaços interiores. O sistema de isolamento térmico pelo exterior:

- Aumenta a durabilidade das fachadas, pois protege-as da acção dos agentes climáticos e atmosféricos, como o choque térmico, água líquida, radiação solar, etc.;
- Diminui a probabilidade de ocorrerem condensações interiores, visto que mantém a superfície interior das paredes a uma temperatura superior à de orvalho (limite inferior de temperatura a partir do qual o vapor de água contido no ar passa para o estado líquido);
- Elimina as pontes térmicas, reduzindo a transmissão térmica por condução através destas, ao mesmo tempo que evita o aparecimento de condensações;
- Melhora o conforto térmico, porque conserva a inércia térmica interior;

- Conserva a área do espaço interior habitável;
- Não implica a ausência dos ocupantes para ser aplicado e mantido, o que é particularmente vantajoso nos casos de reabilitação;
- Permite a melhoria do aspecto geral da fachada.

Figura 32- Variação térmica respectivamente no caso de isolamento exterior e no isolamento em caixa-de-ar.

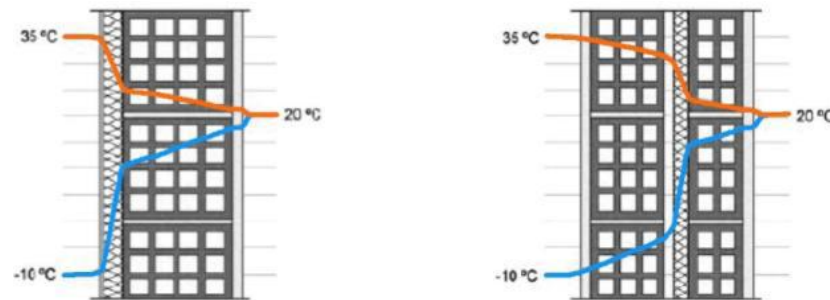
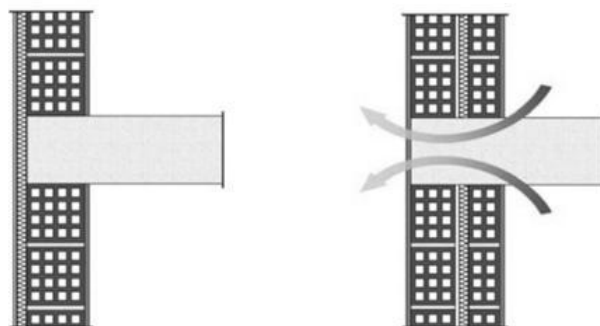


Figura 33- PTL respectivamente no caso de isolamento exterior e no isolamento em caixa-de-ar.



(Freitas V. P.,2002)

Apesar das suas vantagens, nem sempre é permitido aplicar esta medida em reabilitações, seja, por exemplo, pelo seu carácter arquitectónico ou por motivos de ordem técnica, por isso há que ter em consideração as singularidades de cada caso.

A sua constituição (Figura 34, Figura 35 e Figura 36) baseia-se na aplicação de uma camada de isolamento térmico sobre o suporte (a parede exterior) e de um revestimento exterior para protecção das imposições climáticas e mecânicas. O material isolante utilizado mais correntemente é o poliestireno expandido moldado (EPS). As principais soluções de sistemas de isolamento térmico exterior são as seguintes:

Figura 34 - Sistema de isolamento térmico composto exterior com revestimento delgado (ETICS).

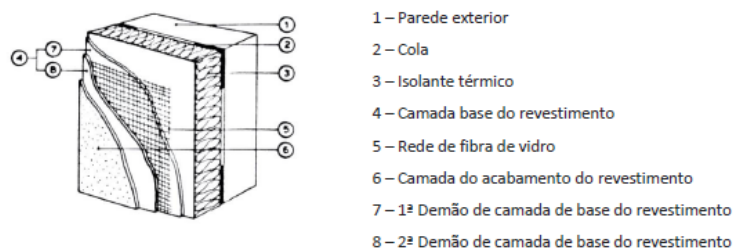


Figura 35 - Isolamento pelo exterior com revestimento independente descontinuo ventilado.

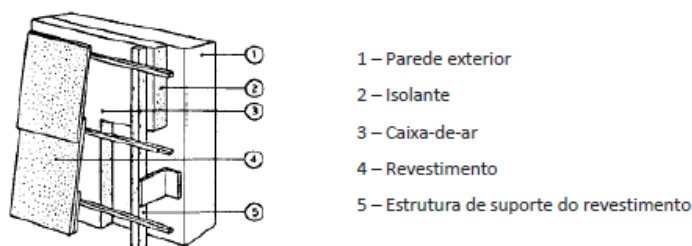
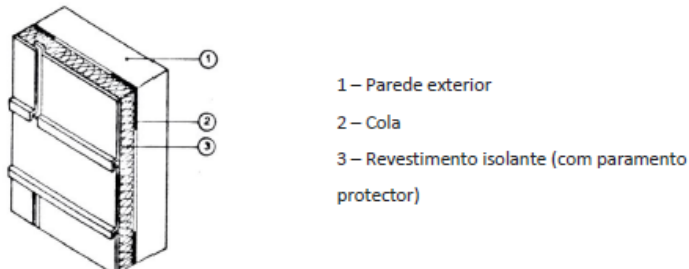


Figura 36 - Sistema de isolamento térmico por elemento descontinuo prefabricados.



(DGEG, 2004)

## b. Soluções de isolamento térmico interior.

Uma das soluções deste tipo de isolamento mais utilizadas é através da aplicação de painéis isolantes prefabricados de placas de gesso cartonado com uma camada de isolante térmico colada no tardo destas. Neste tipo de solução existem duas possibilidades de fixação à parede existente, que pode ser feita por colagem ou através de uma estrutura de suporte que pode, ou não, criar uma caixa-de-ar entre o sistema e a parede. A outra solução consiste na execução da contra-fachada em alvenaria leve como isolante junto à parede existente (Figura 37).

Figura 37 - Contra-fachada com isolante na caixa-de-ar.



(DGEG, 2004)

A aplicação da solução A não requer mão-de-obra especializada, podendo ser atractiva em termos económicos. No entanto, a solução B, consiste numa obra mais limpa e rápida e é favorável à passagem de tubagens e o acesso a estas.

No caso dos painéis pré-fabricados, as vantagens são a rapidez de colocação, porém, no caso de reabilitação, implica o ajuste das instalações existentes.

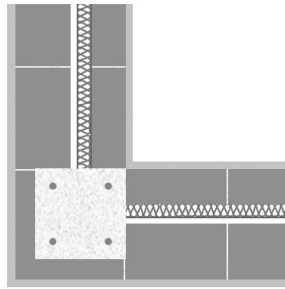
Os demais inconvenientes do sistema de isolamento térmico interior são os seguintes:

- Não eliminação das pontes térmicas;
- Redução da inércia térmica interior;
- A aplicação e manutenção do isolante no interior da fachada requerem a desocupação do espaço interior habitável;
- Implica uma redução da sua área de pavimento útil.

### c. Soluções de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas

A técnica da parede dupla de alvenaria surge como uma medida de melhoramento do desempenho térmico das fachadas através da existência de uma caixa-de-ar entre as duas paredes. Por sua vez, a aplicação do isolante térmico no interior da parede dupla serve para aumentar esse desempenho térmico.

Figura 38 - Secção horizontal do sistema de caixa-de-ar.



(Freitas, 2005)

Figura 39 - Exemplo de sistema de isolamento na caixa-de-ar.



(Dow Building Solutions, 2010)

Porém, o isolamento no interior da caixa-de-ar apresenta desvantagens que, hoje em dia, podem e devem ser evitadas:

- Não elimina as pontes térmicas (Figura 38);
- É propenso ao aparecimento de condensações que podem danificar os materiais no interior da parede, afectando a sua durabilidade e o seu desempenho térmico;

No caso de reabilitação:

- A injeção de material isolante pode não conseguir um preenchimento total da caixa-de-ar e assim criar pontes térmicas diversas e dispersas;
- Implica desocupação do espaço interior habitável;

### 3.6. Sistemas activos

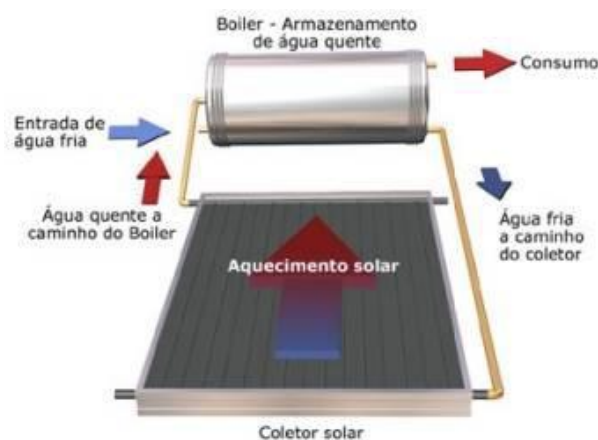
Os sistemas de climatização passivos não conseguem garantir inteiramente as condições de conforto exigidas na nossa época. Ao dependerem das condições climatéricas e em grande parte do Sol, deparam-se com condições exteriores inconstantes, e por esta razão nem sempre têm resposta às exigências impostas. Sendo assim, é inevitável pensar na aplicação de sistemas activos, sejam estes convencionais, solares ou de captação de outro tipo de energia renovável (como eólica), que funcionem como apoio. Quando convencionais, estes sistemas devem funcionar apenas quando é necessário de forma a minimizar o consumo energético.

Os sistemas activos são sistemas de produção de energia integrados no edificado. Os que mais contribuem para a eficiência energética dos edifícios (e sem emissão de GEE) são aqueles que transformam a energia proveniente de fontes renováveis (solar, da biomassa, eólica, geotérmica ou hídrica) em energia final.

Os sistemas activos que podem ser integrados nas fachadas dos edifícios são os colectores solares e os painéis fotovoltaicos, tendo uma atenção especial com a qualidade estética da integração.

Os colectores solares térmicos (Figura 40 e Figura 41) transformam a radiação solar absorvida (directa e/ou difusa) em calor, o qual é distribuído através de água ou ar (fluidos). Existem diferentes tipos de colectores (planos, cilíndricos, concentradores, campos de espelhos), sendo o plano o mais utilizado em edifícios (residenciais e de serviços). Têm como utilidade principal o aquecimento das águas sanitárias (AQS) e a sua instalação em edifícios é obrigatória de acordo com o disposto no Artigo 7.º do RCCTE.

Figura 40 - Esquema do funcionamento de um colector solar térmico.



(Energias renováveis em Portugal, 2010)

Figura 41 - Exemplo de integração de colectores solares térmicos numa fachada



(Sotecnisol, 2010)

Os painéis fotovoltaicos (Figura 41 e Figura 43) são sistemas que convertem a energia solar directamente em electricidade e são compostos por células fotovoltaicas, cujo composto básico é o semi-condutor silício. O seu grau de eficiência é sensível à intensidade da radiação solar e à temperatura do ar, sendo os painéis compostos por células de silício monocristalino os mais eficientes, porém mais caros e difíceis de fabricar. A solução com células de silício policristalino acaba por ser uma solução mais económica, sem que a sua eficiência seja muito mais baixa do que a outra opção.<sup>18</sup>

Figura 42 - Exemplo de integração de painéis fotovoltaicos em fachada.



(Solaris, 2006)

---

<sup>18</sup> (Mendonça, 2005)

### 3.7. Em síntese

A reabilitação das fachadas existentes, sobretudo as construídas antes da entrada em vigor da regulamentação térmica para os edifícios, conduz a uma redução do consumo energético global dos edifícios. Como tal, atenua as consequências do paradigma de desenvolvimento insustentável que se tem vivido, contribuindo para a sustentabilidade em geral, num contexto de exigência progressivamente maior, tendo em conta a crise ambiental, social e económica.

Para além de melhorar a eficiência energética do edifício, a reabilitação das fachadas permite a correcção de patologias, o aumento da durabilidade dos elementos construtivos e a alteração do aspecto visual. O grande desafio da arquitectura está em encontrar soluções que assentem no equilíbrio entre os valores da eficiência energética e os valores da arquitectura.

As estratégias para melhorar o desempenho passivo das fachadas passam pelo reforço da sua resistência térmica, pela implementação de sistemas solares passivos, nomeadamente no que diz respeito ao controlo dos ganhos solares, e pela diminuição das infiltrações de ar.

No final, as soluções construtivas utilizadas nas fachadas deverão satisfazer, da melhor forma possível, os aspectos relacionados com a função, a estética, os requisitos dos ocupantes, os custos ambiental e económico e, simultaneamente, minimizar os consumos energéticos durante a utilização. Para isso, é fundamental que a fachada seja considerada como uma interface entre o ambiente interior e as energias naturais, cujo desempenho depende principalmente da sua relação com o clima e com o ocupante.

## 4. A Tecnologia Fotovoltaica

### 4.1. História breve da energia eléctrica

Embora já fosse estudada há vários séculos, foi na década de 1880 que a energia eléctrica emergiu, pelos inventos de Thomas Edison, Heinrich Hertz e Nikola Tesla. Foi Thomas Edison quem criou a primeira lâmpada eléctrica comercialmente viável, em 1879, marcando assim o início da sua utilização em massa. O impacto da electricidade na história dos finais do século XIX e século XX é enorme: a gigantesca evolução tecnológica, económica e social a que o Mundo assistiu nos últimos 150 anos teria sido impossível sem o domínio da tecnologia eléctrica, da qual depende todo o sistema global no qual vivemos actualmente.

Ironicamente, a mesma electricidade está hoje no centro de uma nova revolução, na qual cada vez mais vivemos. Depois da euforia evolutiva do século XX, o século XXI terá agora de olhar para os efeitos indesejados dessa evolução, criando soluções que promovam um paradigma evolutivo mais sustentável. O maior efeito indesejado é o da emissão de gases poluentes para a atmosfera, que levou a um aquecimento do planeta com efeitos nefastos que começam a ser bem visíveis. A produção de electricidade, uma das principais responsáveis por essa emissão de gases poluentes, tem de ser repensada.

A produção de energia por meios alternativos surge como primeira resposta a esse problema. A comunidade científica internacional dedica-se há já várias décadas à pesquisa de formas de aproveitar os recursos renováveis que a Terra põe à nossa disposição: a água, o vento e o sol são os principais. É desse esforço que vêm surgindo as tecnologias de aproveitamento das energias renováveis: Os sistemas hidroeléctricos, que aproveitam o caudal dos rios, são já há muito tempo utilizados. A energia eólica, evolução tecnológica dos moinhos de vento, tem sido a grande aposta para geração de electricidade sem emissões poluentes da última década, e continuará certamente a sua evolução exponencial. A energia fotovoltaica dá passos firmes no sentido de seguir esse exemplo. Outras alternativas, como a energia das ondas, dão agora os primeiros passos.

A aposta nestas energias renováveis em particular tomou novos contornos nos últimos anos. As políticas dos países industrializados apontam de forma cada vez mais agressiva para o seu uso: a UE (União Europeia) veio em Janeiro deste ano assumir um objectivo de produzir a curto prazo 20% da energia que consome a partir de recursos renováveis, e os EUA (Estados Unidos da América) implementaram também em Agosto de 2005 a Energy Bill, que aponta para o uso mais inteligente dos recursos disponíveis e para uma aposta nos recursos endógenos. As políticas japonesas seguem a mesma tendência. O resto do mundo seguirá gradualmente o exemplo dos pais mais desenvolvidos.

Novas tecnologias e novas necessidades criam sempre novos mercados, e portanto novas oportunidades de negócio e de desenvolvimento. Portugal parece ter visto nas energias renováveis uma boa maneira de compensar o atraso que tem noutras áreas. É o país com a terceira meta mais ambiciosa de produção de electricidade limpa de toda a UE, 45% em 2010, atrás da Suécia (60%) e Áustria (78%). O governo português está a apostar nas energias renováveis como forma de relançar a indústria portuguesa, fomentando o know-how, e levando o país para lugares de destaque nesta área (a Ernest & Young diz que Portugal é o oitavo país do Mundo onde é mais atractivo investir em energias renováveis). Várias empresas nacionais responderam já a este apelo, promovendo projectos eólicos, fotovoltaicos, termoeléctricos e outros (a Martifer e a EDP são talvez os exemplos mais fortes).

## 4.2. História das energias renováveis

A história das energias renováveis tem já mais de 100 anos e pode ser resumida a três gerações tecnológicas, bem definidas no tempo. A partir das FER, é hoje possível não só produzir electricidade em grande escala, como também outras formas de energia, como são o calor, o frio e os combustíveis:

- A primeira geração de tecnologias resultou da revolução industrial, no final do século XIX. Inclui a energia hidroeléctrica, a combustão de biomassa, e a exploração dos recursos geotérmicos para produção de electricidade e calor. Todas estas tecnologias continuam a ter grande importância, e a sua exploração ainda está longe de ser óptima em muitos países (Portugal, por exemplo, explora apenas 46% da sua capacidade hidroeléctrica potencial, e só muito recentemente lançou um concurso para dez centrais de biomassa);

- As tecnologias de segunda geração incluem o aquecimento e arrefecimento solar, a energia eólica, todas as formas de bioenergia que têm recentemente assumido um protagonismo maior no mercado, e o solar fotovoltaico. É destas formas de produção energética que mais se fala hoje, visto que estão a chegar ao mercado, em resultado de investimentos em I&D (Investigação e Desenvolvimento) que decorrem com maior intensidade desde a década de 1980. Os investimentos nestas fontes de energia resultou inicialmente de preocupações ao nível da segurança energética, depois de várias crises petrolíferas, mas hoje destacam-se sobretudo os seus benefícios ambientais.

- Por fim, todos os novos conceitos de produção energética, ainda em fase de investigação laboratorial ou em escala piloto, constituem as tecnologias de terceira geração: energia dos Energia Fotovoltaica, oceanos e das ondas, sistemas geotérmicos avançados, sistemas bioenergéticos integrados, sistemas de concentração da potência solar (CSP - Concentrating

Solar Power), ou até mesmo ideias futuristas como o aproveitamento energético de gradientes de concentração salina na foz de rios, são exemplos desta nova geração tecnológica cujo impacto futuro apenas se começa a estudar.

### 4.3. História da tecnologia fotovoltaica

O sonho de aproveitar a energia que nos é fornecida pelo Sol para nosso uso não é novo. No entanto, o desafio tecnológico que está por trás do aproveitamento da radiação solar como fonte de electricidade é complexo. A solução para esse desafio começou a ser construída em 1839, e é ainda hoje alvo de melhorias constantes.

Edmond Becquerel foi quem verificou pela primeira vez que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num electrólito, produzem uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. Decorria então o ano de 1839, e acabava de ser descoberto o efeito fotovoltaico. Mais tarde, em 1877, W. G. Adams e R. E. Day, desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção de electricidade por exposição à luz, a partir do selénio. Apesar da baixa eficiência de conversão, da ordem de 0,5%, nos finais do século XIX o engenheiro alemão Werner Siemens (fundador do império industrial com o seu nome) comercializou células de selénio como fotómetros para máquinas fotográficas. Foi a primeira aplicação comercial da tecnologia.

Albert Einstein veio abrir uma época de novos desenvolvimentos na área, ao explicar o efeito fotoeléctrico, em 1905. Seguiram-se o advento da mecânica quântica e a física dos semicondutores, assim como as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transistor de silício. As grandes melhorias de eficiência na conversão da energia resultantes destes avanços tornaram o fotovoltaico numa solução viável para várias novas situações.

Com o advento da era espacial, a tecnologia assumiu uma nova importância. As células solares começaram por ser usadas como backup às pilhas químicas usadas nos satélites, em 1958. No entanto, rapidamente mostraram ser soluções muito mais fiáveis, pelo que hoje, todos os veículos espaciais são equipados com material fotovoltaico. A utilização no espaço de células solares levou a importantes melhorias na sua eficiência na década de 1960. Foi também na década de sessenta que surgiram as primeiras aplicações terrestres, para casos muito particulares, como sistemas de telecomunicações remotos e bóias de navegação. Apenas este tipo de aplicações podia justificar um custo da electricidade produzida muito elevado.

Mas o grande impulso ao desenvolvimento do fotovoltaico veio do petróleo, com o choque petrolífero de 1973. O pânico gerado levou a um forte investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares. Apareceram então ideias revolucionárias, como a utilização de novos materiais, em particular o silício multicristalino (por oposição aos monocristais, cristais únicos de silício, muito mais caros de produzir) ou de métodos de produção de silício directamente em fita (eliminando o processo de corte dos lingotes de silício, e todos os custos associados). De facto, em 1976 surgiu a primeira célula em silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), aquela que viria ser a primeira tecnologia da geração do filme fino. O resultado destes e de outros avanços foi uma espectacular redução do custo da electricidade solar de 80 \$/Wp (dólares por Watt pico) para cerca de 12 \$/Wp em menos de uma década.

Nas décadas de oitenta e noventa o investimento em programas de financiamento e de demonstração continuou, motivado pela procura de alternativas aos combustíveis fósseis, para produção de electricidade. Exemplos destas iniciativas são a instalação da primeira central solar de grande envergadura (1 MWp) na Califórnia, em 1982, e o lançamento dos programas de “telhados solares” na Alemanha (1990) e no Japão (1993), pelos quais os governos apoiaram fortemente a microgeração de electricidade por particulares.

De facto, foram os governos da Alemanha e do Japão quem primeiro percebeu que a criação de um verdadeiro mercado fotovoltaico não poderia basear-se apenas no desenvolvimento tecnológico, mas também ser incentivado por meio de incentivos no sentido de criar massa crítica no mercado. Um estudo financiado pela Comissão Europeia, o MUSIC FM, mostrou recentemente que, utilizando tecnologia actual melhorada apenas por investigação focada com resultados previsíveis, uma fábrica de painéis solares com um nível de produção da ordem dos 500 MW anuais levaria a uma redução dos custos dos painéis solares para valores competitivos com a electricidade convencional (1 euro/Wp). Estes resultados vêm confirmar que esta tecnologia não está longe de se tornar competitiva, e que as economias de escala são determinantes.

O apoio político foi aliás o catalisador de um desenvolvimento exponencial, a que se assistiu na última década: em 1999 o total acumulado de painéis solares atingia 1 GW (gigawatt), para duplicar três anos depois. Como era esperado, o desenvolvimento tecnológico do fotovoltaico acompanhou esse crescimento. Em 1998 foi atingida a eficiência de conversão recorde de 24,7% (em laboratório) com células em silício monocristalino, e em 2005, cientistas do alemão Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems anunciaram uma eficiência superior a 20% para células em silício multicristalino. Entretanto, células solares com configurações mais complexas, as chamadas células em cascata (ou tandem), que consistem na sobreposição de várias células semicondutoras optimizadas para diferentes comprimentos de onda da radiação, permitem já atingir rendimentos de conversão superiores a 34%.

Apoiado numa série de eventos favoráveis, o fotovoltaico cresceu de forma impressionante em meio século. Em 1954 era apresentada a primeira célula fotovoltaica da era moderna. Hoje o fotovoltaico é a melhor solução energética para um número crescente de nichos de mercado, e estão rapidamente a ser criadas as bases para o desenvolvimento de um verdadeiro mercado de electricidade solar sustentável no médio prazo. No entanto, ainda deverá ser preciso esperar uns anos para que esse mercado se torne uma realidade.

#### 4.4. Aplicações da tecnologia

Embora a evolução recente tenha sido notável, o grande inconveniente das células fotovoltaicas (e dos outros constituintes do sistema fotovoltaico - inversores, baterias e controladores de carga) continua a ser o seu preço muito elevado, quando comparado com as tecnologias mais usadas para produção de electricidade. No entanto, o leque de aplicações tem vindo a crescer cada vez mais, resultado de descobertas tecnológicas e do decréscimo do custo de produção das células. A disponibilidade de sol (a matéria-prima) em praticamente todo o lado e a modularidade dos sistemas (os sistemas fotovoltaicos podem ser montados em qualquer escala ou tamanho) são os seus principais pontos fortes. Deveu-se em grande parte a isso um crescimento exponencial da produção de células fotovoltaicas, que hoje cada vez mais se acentua. A tabela 4 mostra alguns momentos chave da evolução do fotovoltaico no tempo. Na tabela 5 podemos ver como a modularidade do fotovoltaico permite as mais variadas aplicações.

Tabela 4 - Novas aplicações de sistemas fotovoltaicos no tempo

Data	Aplicação
Finais Século XIX	Fotómetros para Máquinas Fotográficas
1958	Satélites Espaciais
1960-1969	Sistemas de Telecomunicações Remotos, Bóias de Navegação, etc.
1982	Início da massificação: Primeira Grande Central Solar (1 MWp) na Califórnia
1990	Programa dos 100 000 Telhados Solares, na Alemanha
1993	Programa dos 70 000 Telhados Solares, no Japão
2001	Primeiro voo do Helios, um avião a energia solar

Os microsistemas, como por exemplo os utilizados em calculadoras de bolso, estão hoje bem consolidados no mercado. Os esforços de desenvolvimento concentram-se agora em sistemas maiores, que permitam produzir electricidade em quantidades significativas, para abastecimento de habitações ou mesmo da rede pública. São os sistemas ligados à rede que merecem maior atenção, por terem um enorme potencial económico.

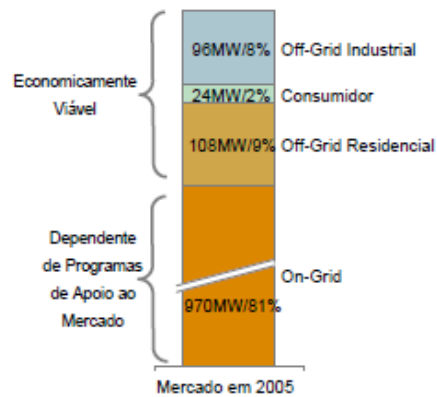
Tabela 5 - Aplicações de sistemas fotovoltaicos por intervalo de potência.

Tamanho	Exemplos de Aplicações
Até 10 W	Calculadoras de bolso; Rádios; Sensores wireless remotos; Pequenos carregadores; Cercas eléctricas.
10 W a 100 W	Pequenos sistemas de iluminação; Sinais de trânsito luminosos; Parquímetros; Luzes de navegação; Estações meteorológicas; Caixas de comunicação de auto-estrada.
100 W a 1 kW	Sistemas de bombagem e irrigação; propulsão de pequenos barcos de recreio; Produção de electricidade para pequenos edifícios; Sistemas híbridos pequenos.
1 kW a 10 kW	Sistemas ligados à rede eléctrica ou híbridos de média dimensão; Grandes sistemas não ligados à rede, para edifícios isolados.
10 kW a 100 kW	Grandes sistemas ligados à rede: implantação em edifícios ou no solo
100 kW a 1 MW ou mais	Muito grandes sistemas ligados à rede: Centrais fotovoltaicas.

Percebe-se assim facilmente que a importância dos sistemas fotovoltaicos no mundo que hoje nos rodeia é já considerável. Os sistemas fotovoltaicos autónomos são a solução mais económica para muitas situações onde há uma necessidade pontual de electricidade, e são mesmo por vezes a única.

A tendência continua a ser a de um crescimento exponencial: nas décadas de oitenta e noventa, a produção de células fotovoltaicas cresceu a uma taxa superior a 15% por ano. Essa taxa aumentou para 30% nos primeiros anos deste novo século. No entanto, grande parte deste crescimento recente deveu-se a uma aposta de diversos governos, que decidiram patrocinar a instalação de painéis solares fotovoltaicos nos seus países. A maioria da potência fotovoltaica actualmente instalada é portanto dependente de subsídios estatais. A figura 43 resume a situação mundial em finais de 2005:

Figura 43 - Distribuição do mercado por tipo de sistema em 2005.



(Schott Solar GmbH)

Hoje, 81% do mercado assenta em planos de apoio económico de governos que esperam posicionar-se da melhor forma num mercado com potencial futuro imenso. Vários tipos de aplicações têm de ser distinguidos:

- Alguns sistemas são autónomos, produzindo electricidade para consumo directo no local ou armazenagem. É o caso de sistemas em casas remotas, sem acesso à rede (off-grid residencial), ou pequenas aplicações, como sinais de trânsito, antenas de telecomunicações ou mesmo as calculadoras de bolso (consumidor). Nestas aplicações, a energia fotovoltaica é economicamente viável;

- Outros sistemas são ligados à rede, debitando nela a electricidade que produzem.

Distinguem-se os pequenos sistemas distribuídos, de microgeração, e os centralizados (grandes centrais, cada vez maiores e mais frequentes - macrogeração). A sua viabilidade económica depende ainda dos apoios que lhes são concedidos.

Figura 44 - Tipos de sistemas fotovoltaicos



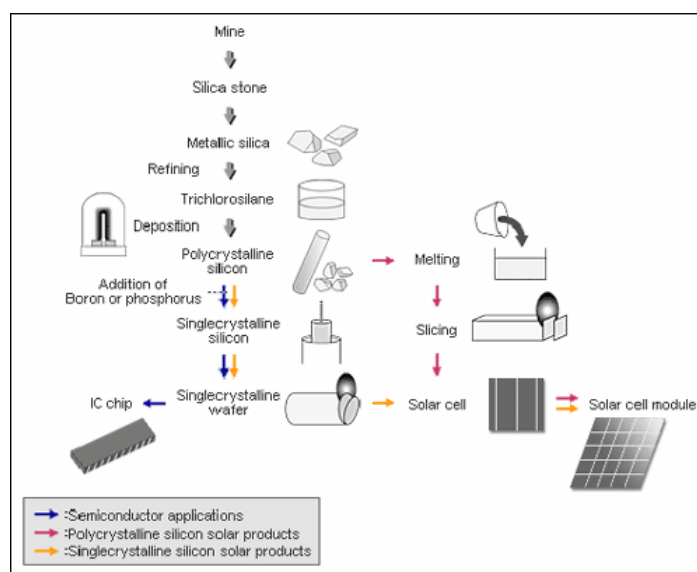
Fonte: IEA

É importante relativizar o peso da energia fotovoltaica no contexto da produção mundial de energia eléctrica actual: apenas 1 GW de capacidade fotovoltaica estavam em operação no Mundo em finais de 2002, contra 3300 GW de capacidade eléctrica total. Na UE, região onde o PV está mais desenvolvido, 3,4 GW de potência estavam já instalados em 2006, dos quais 97% tinham ligação à rede. Este último número mostra que, embora muito interessantes do ponto de vista económico e prático, os sistemas autónomos representam um mercado potencial muito pequeno, quando comparado com as necessidades de produção energética totais. O desafio que se põe à indústria actualmente é portanto o de tornar os custos da tecnologia cada vez mais competitivos e alcançar a paridade com a rede (custos ao nível dos praticados pelas outras tecnologias, que vendem à rede) a médio prazo. Só essa competitividade poderá assegurar uma explosão dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, tornando a energia solar numa resposta verdadeiramente viável aos desafios do novo milénio.

## 4.5. O Sistema fotovoltaico

Antes de especificar em maior detalhe quais as tecnologias actualmente utilizadas, é preciso compreender como funciona todo o sistema que permite obter electricidade a partir do Sol. O módulo fotovoltaico é o seu componente principal. É composto por um material semiconductor, tipicamente silício, constituinte da areia, que se carrega electricamente quando submetido à luz solar. Substâncias dopantes são adicionadas ao semiconductor para permitir uma melhor conversão da potência associada à radiação solar em potência eléctrica.

Figura 45 - Processo de fabrico de módulos PV.



(Schott Solar GmbH)

Os módulos, com potências entre os 50 e 100 W, são constituídos por células fotovoltaicas, que produzem tipicamente potências eléctricas da ordem de 1,5 W (correspondentes a uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A). As células são ligadas em série ou paralelo para formarem módulos ou painéis fotovoltaicos. Contactos de metal nas extremidades de cada célula constituem os terminais, que absorvem os electrões livres, concentrando assim a energia.

A orientação dos painéis solares tem um papel fundamental na produção de electricidade obtida. Inclinando-os com um ângulo igual ao da latitude a que se encontram, maximiza-se a radiação solar incidente sobre o painel ao longo do dia, e do ano. Alguns sistemas mais recentes possuem dispositivos de tracking, que localizam o sol e viram o painel na sua direcção. Sendo que a radiação solar varia consoante o período do dia, época do ano e condições climáticas, a quantidade total de radiação solar é expressa em termos de horas de pico solar. Numa hora de pico solar, a potência é de  $1000 \text{ W/m}^2$ , e a energia resultante é de  $1 \text{ kWh/m}^2$ .

A corrente eléctrica produzida pelos painéis fotovoltaicos é contínua. Para que possa ser utilizada, um inversor converte-a em corrente alternada. Em alguns casos, o inversor já vem incorporado no módulo fotovoltaico. Os sistemas fotovoltaicos não ligados à rede, nos quais é necessário armazenar electricidade, possuem ainda dois outros componentes: baterias, que guardam a energia produzida, e controladores de carga, que monitorizam e protegem a bateria de sobrecargas ou descargas totais. Os dois componentes são colocados entre os painéis e o inversor. No caso dos sistemas ligados à rede, é ainda preciso fazer a ligação, através de um PT (Posto Transformador).

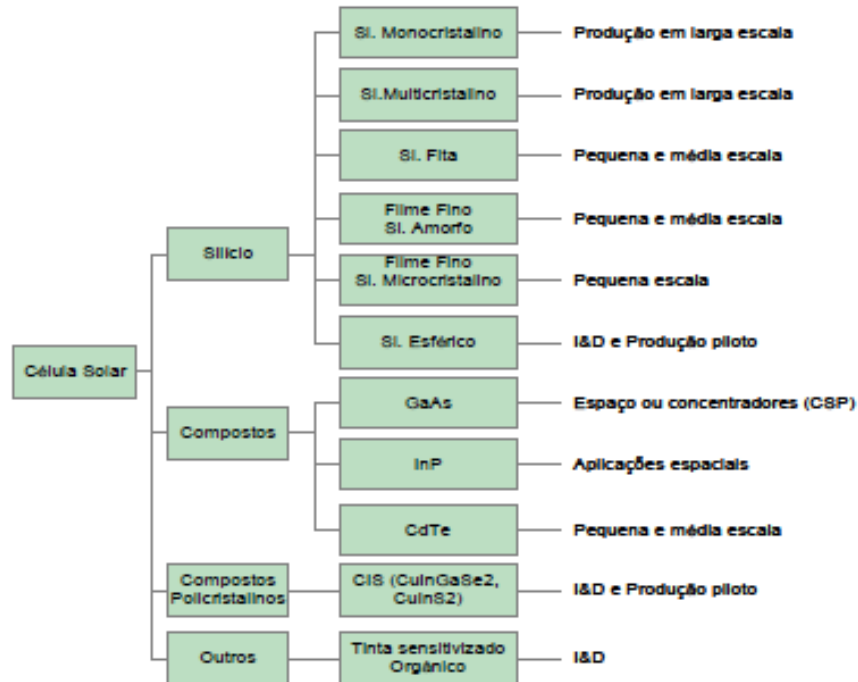
Outros acessórios, como sendo o hardware de montagem, cablagem, caixas de junção, equipamento de solo, protecção contra sobrecargas, completam o sistema fotovoltaico. Ao conjunto dos elementos que compõem o sistema fotovoltaico, excluindo o painel, é dado o nome de Balance of Systems (BOS).

## 4.6. Quadro tecnológico actual: Tecnologias e suas principais características

A tecnologia fotovoltaica actualmente existente pode ser dividida em três subcategorias. Estas dividem os tipos de células existentes segundo o seu tipo. As células de primeira geração, feitas a partir de silício cristalino, englobam as soluções monocristalinas e policristalinas. As de segunda geração apareceram há cerca de 30 anos, e correspondem às soluções de película fina, onde novos materiais semicondutores são explorados. Por fim, a

categoria das células de terceira geração, que engloba vários novos conceitos de células solares, na sua maioria ainda apenas na fase de desenvolvimento. Soluções microcristalinas, nanocristalinas ou híbridas são alguns exemplos. De seguida, apresentam-se os tipos de célula mais frequentes, com as suas principais características.

Figura 46 - Tecnologias de células fotovoltaicas existentes



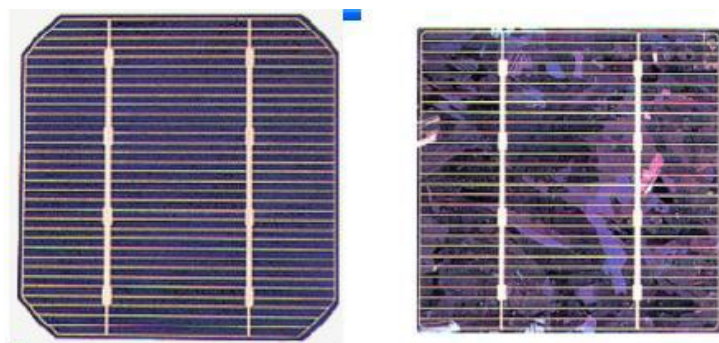
(RTS Corporation)

#### 4.6.1. Células de silício cristalino. (1ª Geração)

O material utilizado nas células solares deve ser da maior pureza possível o que pode ser conseguido através de sucessivas etapas na produção química. Até aos dias de hoje, os fabricantes de células solares têm obtido, na sua maior parte, o material purificado do desperdício da indústria electrónica de semicondutores.

Para os sistemas solares com ligação à rede pública, geralmente são utilizadas as células solares de silício cristalino (1ª geração): monocristalino e policristalino (figura 47). A menor eficiência do silício policristalino é contrabalançada pelas vantagens que oferece em termos do preço final, que advém dos menores custos de fabrico. Uma possibilidade é o arrefecimento progressivo de silício fundido em moldes dando origem a barras de silício de secção quadrada que permitem, após o corte, um maior preenchimento da área do módulo.

Figura 47 - Célula de silício monocristalino semi-quadrada (esquerda) e policristalina (direita).



(Wikipédia, 2011)

#### 4.6.2. Células de película fina. (2ª Geração)

As células de película fina (2ª geração) são células em que os semicondutores fotovoltaicos são aplicados em finas camadas num substrato (na maioria dos casos vidro). Correspondem a cerca de 10% do mercado actual. O silício amorfo, o disselenieto de cobre e índio (CIS) e o telurieto de cádmio (CdTe) são utilizados como materiais semicondutores. Estes materiais são mais tolerantes à contaminação de átomos estranhos, quando comparados com as células de silício cristalino. Os menores consumos de materiais e de energia, assim como a elevada capacidade de automatização da produção em larga escala, oferecem um potencial considerável para a redução dos custos de produção, quando comparada com a tecnologia de produção do silício cristalino.

Os módulos de silício amorfo (figura 48) têm sido maioritariamente utilizados em aplicações de lazer (pequenas aplicações, campismo, barcos). Os módulos de película fina CIS e CdTe alcançaram a fase de produção em série e têm vindo a ser utilizados em vários locais de referência.

Figura 48 - Célula amorfas.



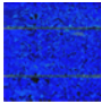

(Wikipédia, 2011)

### 4.6.3. Células de novas células solares. (3ª Geração)

Como perspectivas futuras existem as que se baseiam em nanotecnologias para formação de películas finas sobre substratos flexíveis (3ª geração). Levarão a um melhor aproveitamento de todo o espectro solar (células multi-junção com utilização da concentração). É uma das tecnologias de conversão fotovoltaica mais promissoras pelo seu potencial reduzido custo. Consistem na formação de uma célula fotovoltaica a partir de compostos orgânicos (células orgânicas) semicondutores, como por exemplo, o dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>). Estas células podem ser formadas sobre plásticos e películas flexíveis, podendo ser parcialmente transparentes e com cores distintas, o que as torna interessantes para aplicações em edifícios. Em geral, o objectivo é “copiar” o processo de fotossíntese que ocorre nas plantas. Rendimentos de 5% foram já obtidos, prevendo-se que se atinjam valores de 10 a 15%.

Temos por fim as células do tipo híbridas, mais conhecidas por células solares HCl (Heterojunção com uma camada fina intrínseca). Estas células são uma combinação da clássica célula solar cristalina, com uma célula de película fina. Possuem uma eficiência de cerca de 17,3%, têm a forma quadrada (estriada), são de cor azul escura ou praticamente preto.

Figura 49 - Tipos de células PV e sua eficiência.

TIPO	DIMENSÕES	EFICIÊNCIA	POTÊNCIA DE PICO EM W/M <sup>2</sup>	POTÊNCIA DE PICO EM W/CÉLULA
	<b>POLICRISTALINA</b> 156x156 125x125	16%	120	1.46 - 3.85
	<b>MONOCRISTALINA</b> 156x156 125x125	18%	130	2.60 - 4.02
	<b>MONOCRISTALINA – EFICIÊNCIA ELEVADA</b> 125x125	22%	155	2.90 - 3.11
	<b>MONOCRISTALINA - SEMITRANSARENTE</b> 125x125	17%	105	1.90 - 3.11
	<b>ASI (SILÍCIO AMORFO) FILME FINO</b> 576x976	5%	50	32
	<b>ASI FILME FINO 10% OU 20% OPACIDADE</b> 576x976	4%	40-45	27

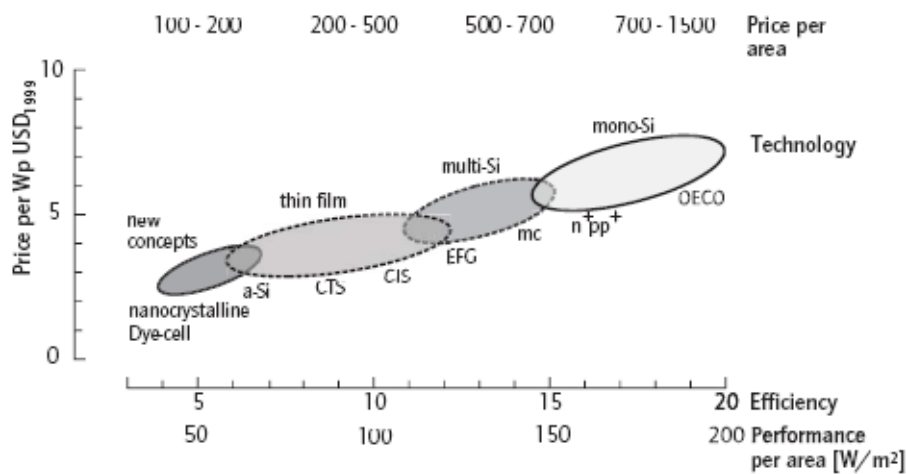
(Sapa Solar, 2011)

Como se pode observar na (figura 49), a tendência é para que as células solares sejam cada vez mais eficientes, em especial para o caso das células de 3ª geração.

No entanto, as diferentes tecnologias acima descritas estão actualmente em estados de desenvolvimento bastante diferentes. A (figura 50) resume a situação actual. Podemos ver que apenas as tecnologias baseadas em silício estão já em fase de produção industrial e comercialização em massa. São estas que actualmente equipam a grande maioria dos dispositivos fotovoltaicos no Mundo.

As tecnologias de segunda geração estão actualmente na fase de produção em escala piloto, e as de terceira geração não são ainda comercializadas, sendo que a maioria não saiu ainda de laboratório. Calcula-se que sejam precisos cerca de 10 anos para que uma nova tecnologia faça o seu percurso evolutivo até à produção industrial, pelo que teremos no curto prazo as tecnologias de segunda geração produzidas a nível industrial e comercializadas no mercado. A médio prazo, será a vez das novas ideias tecnológicas, as células de terceira geração, chegarem ao mercado.

Figura 50 - Relação entre preço e performance por tecnologias fotovoltaicas.



(NET Ltd.; Systèmes Solaires/EurObserv'ER (2003); Hoffmann / RWE Schott Solar GmbH)

## 4.7. Soluções fotovoltaicas para a arquitectura

### 4.7.1. Telhas solares

É um projecto inovador a nível mundial que envolve nanotecnologia, integração arquitectónica e eco-design na produção de electricidade. São telhas que vão permitir ter habitações auto-sustentáveis do ponto de vista energético. O projecto envolve um consórcio de nove entidades, entre empresas e as universidades do Minho e Nova de Lisboa.

Figura 51 - Telha solar.



(<http://nanotecnologia.blogs.sapo.pt/1467.html>)

E se as telhas colocadas no telhado de casa tivessem uma outra função: a de produzir energia? É uma realidade que está para breve. As universidades do Minho e Nova de Lisboa estão a desenvolver um projecto de construção de telhas com capacidade para produzir energia fotovoltaica.

Uma inovação que permitirá ter habitações auto-sustentáveis. “Numa casa média, é possível gerar energia na ordem das 60 a 70%. São contributos de dois tipos: permite a poupança de energia e é energia que vende. Cada casa poderá ter um mini-produtor de 2kw até 12kw”.

Devido à tecnologia altamente sofisticada utilizada, desenvolvida à escala laboratorial, o novo produto poderá sair mais caro ao consumidor. O “investimento pode ser maior, mas é rentabilizado para toda a vida”, acrescentando: “No mínimo de 10 ou 15 anos vai duplicar o investimento”. As telhas permitem captar energia solar, armazená-la e transformá-la em energia eléctrica, tudo através de um filme que é depositado nos revestimentos cerâmicos.

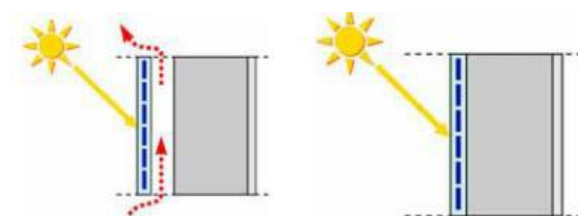
Cabe à equipa do Centro de Física da Universidade do Minho, coordenada por Vasco Teixeira, o desenvolvimento de camadas cerâmicas e filmes finos funcionais para aplicações de energia solar fotovoltaica. Estes produtos cerâmicos multifuncionais pretendem, além de dar um contributo para um planeta mais sustentável, ter uma função estética, contribuindo para um novo tipo de arquitectura de edifícios, que inclua o eco-design.

## 4.7.2. Integração em coberturas e sistemas de sombreamento

A fachada constitui a primeira impressão visual de uma habitação, como seria de esperar. A integração de módulos fotovoltaicos nas fachadas torna-se portanto uma acção de grande destaque, uma vez que a aparência externa da fachada será sempre tida em conta segundo o estilo e filosofia dos arquitectos e dos construtores. Podem ser inseridos no projecto gostos actuais, estilos regionais e novas tecnologias que são reflectidas no desenho final. Neste contexto, os módulos fotovoltaicos podem enriquecer as alternativas integrativas do sector da construção civil, sendo que estes módulos serão tratados como sendo eles mesmos elementos de construção. Nas habitações modernas, as fachadas de vidro proporcionam uma ligação para o mundo exterior. As inovadoras células solares podem ser integradas nos painéis de vidro utilizados, transformando-os assim em dispositivos solares.

De uma forma geral, as fachadas possuem a função de capa externa do edifício (protecção visual), de separação entre o meio externo e interno do edifício (calor, humidade, protecção acústica e contra incêndios, escudo electromagnético), de aproveitamento da luz do dia e protecção solar e definição da aparência do edifício e do seu impacto na envolvente urbana. A (figura 52) mostra a estrutura das fachadas frias e das fachadas quentes.

Figura 52 - Fachada fria (esquerda) e fachada quente (direita).



*(Energia Fotovoltaica Manual sobre tecnologias, projecto e instalação, GREENPRO, 2004)*

### - Fachadas frias

As fachadas frias possuem cavidades por onde se verifica a circulação de ar. A capa exterior, que consiste num revestimento ou alvenaria, protege o edifício contra os agentes climatéricos e será a responsável pela aparência arquitectónica final. A presença de um sistema de ventilação implica que este tipo de construção é perfeito para a integração de elementos fotovoltaicos.

#### - Fachadas quentes

As fachadas quentes são fachadas que constituem o envelope do edifício, assumindo funções de protecção climatérica, acústica e de isolamento térmico. Estas fachadas não são ventiladas. São usadas secções com painéis de isolamento térmico (opacos ou transparentes).

#### - Fachadas de duplo revestimento

Neste tipo de fachadas é construído, na face da fachada já existente, um envelope adicional de vidro transparente (ecrã), que melhora o ambiente e o isolamento acústico do prédio. Entre a cortina exterior e a fachada interior isolada existe uma zona tampão, que pode ser ventilada e incorporar dispositivos de sombreamento solares.

Estas fachadas são desenhadas para se adaptar às condições ambientais e para atenuar as flutuações climatéricas nas diferentes estações.

### 4.7.3. Fachadas fotovoltaicas

Os módulos fotovoltaicos podem ser montados ou integrados nas fachadas dos edifícios. Sabe-se que, em termos comparativos, a radiação incidente numa superfície vertical, será sempre inferior mediante uma superfície inclinada. No entanto, as fachadas oferecem outro tipo de vantagens que justificam a instalação de módulos fotovoltaicos nelas.

Se forem substituídos os elementos mais caros das fachadas, como é o caso das placas de pedra ou de aço inoxidável, por elementos fotovoltaicos, podem ser evitados custos que tornam o sistema fotovoltaico muito interessante sob o ponto de vista económico. Este tipo de aplicação, com os módulos inseridos nas fachadas dos edifícios, proporciona enormes possibilidades de desenho, uma vez que os módulos podem ser fabricados em qualquer forma e tamanho, e serem fornecidos com todos os atributos visuais e funcionais dos envidraçados convencionais.

Figura 53 - Fachada fotovoltaica.



(Futur Solutions, 2010)

#### - Ecrãs fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos podem ser facilmente fixados às fachadas já existentes. Se não houver nenhuma especificação especial em relação ao formato e tamanho dos módulos, será sempre possível usar módulos disponíveis no mercado. Uma vez que os módulos não têm de desempenhar funções de protecção climatérica, podem ser livremente combinados, formando padrões tais como logótipos com intenções publicitárias.

#### - Integração em fachadas

Na integração em fachadas, os módulos substituem o revestimento externo e tomam as suas funções, sejam elas fachadas frias ou quentes. Os módulos podem cobrir apenas algumas secções da fachada ou áreas inteiras. O gerador cumpre três funções: produção de energia eléctrica, envolvente externa (protecção climatérica, isolamento térmico, etc.) e instrumento de marketing. Os módulos fotovoltaicos, tal como os elementos convencionais das fachadas, devem cumprir os mesmos regulamentos estruturais e legislativos de construção.

### 4.7.4. Coberturas de vidro

Sendo que as coberturas de vidro são utilizadas em locais de construção que pretendem receber a iluminação natural, também aqui se podem incluir elementos fotovoltaicos. Ou seja, podem ser usados os mesmos materiais e armações das fachadas de vidro. No entanto, será necessário tomar medidas estruturais especiais devido às elevadas cargas térmicas e devido às diferentes tensões mecânicas a que a estrutura se submete. O sistema de drenagem também deverá ser adaptado à inclinação. As faixas horizontais da cobertura são elevadas para melhorar a descarga da precipitação.

As coberturas de vidro estão frequentemente equipadas com dispositivos de protecção solar, que evitam o sobreaquecimento dos espaços de cobre. Neste caso, é possível usar elementos fotovoltaicos para proporcionar sombra e protecção anti-brilho. Os telhados translúcidos sobre as áreas sem aquecimento (escadas, átrios, etc.) e sobre os espaços abertos (garagens, salões, etc.) são particularmente adequados, uma vez que a eficiência dos módulos é maior para baixas temperaturas.

Figura 54 - Cobertura de vidro fotovoltaica.



(Futur Solutions, 2010)

#### 4.7.5. Dispositivos fotovoltaicos de sombreamento

Enquanto os comuns dispositivos de sombreamento proporcionam protecção contra a radiação solar, os sistemas fotovoltaicos precisam do sol. Uma vez que ambos precisam de ter uma orientação solar óptima, estas funções podem ser perfeitamente combinadas. Esta combinação é particularmente interessante, sobretudo se tivermos em conta os elevados custos destes elementos e dos sistemas de rastreio que os equipam.

Com a substituição dos elementos de vidro ou de metal por elementos fotovoltaicos, os custos finais não seriam substancialmente superiores. Para além disso, o optimizado ângulo de inclinação e a boa ventilação, permitem elevados níveis de produção. Por este motivo, estes tipos de aplicações podem ser muito interessantes do ponto de vista económico.

Figura 55 - Dispositivos fotovoltaicos de sombreamento.



(CM Proença-a-Nova, 2010)

## 4.7.6. Células fotovoltaicas integradas na caixilharia

As fachadas de alumínio com células fotovoltaicas integradas e ligação à rede de energia constituem uma alternativa energética duradoura, sustentável e com eficiência de custos para qualquer edifício ou projecto de renovação.

Os sistemas utilizam inversores e contadores para se ligarem à rede energética em vez de dependerem de baterias.

O objectivo da Sapa é fornecer aos seus clientes soluções energéticas inovadoras, eficientes, sustentáveis e esteticamente agradáveis, disponibilizando um pacote fotovoltaico completo e chave na mão: produto, suporte técnico de projecto, análise de investimento e meios de monitorização.

### a. Painéis transparentes

Os painéis fotovoltaicos transparentes, combinados com os perfis de alumínio, podem ser facilmente integrados em fachadas verticais e coberturas proporcionando um elevado rendimento energético. Estes painéis transparentes encontram-se disponíveis numa vasta gama de aplicações, formas, cores e opacidade.

As células fotovoltaicas encontram-se embutidas em vidro laminado de segurança. Consoante a métrica do edifício, feitos à medida dos projectos, os painéis também podem ser isolados termicamente, ao variar a posição e densidade no pano de vidro, é possível regular a intensidade da luz e o efeito de sombra no interior do edifício.

Figura 56 - Painéis fotovoltaicos transparentes embutidos numa caixilharia de alumínio.



(Sapa Solar, 2011)

## b. Painéis opacos

Ao incorporar painéis solares opacos de elevado desempenho na fachada torna-se possível cobrir a estrutura de aço e betão das paredes. Os materiais isolantes que se encontram por trás dos painéis opacos proporcionam a barreira térmica necessária.

Os painéis transparentes e os opacos podem ser combinados na mesma fachada. Integre fontes de energia endógena, melhorando o desempenho energético do edifício, com células fotovoltaicas e perfis com um desempenho funcional, térmico, acústico e segurança adequados.

Figura 57 - Painéis fotovoltaicos opacos embutidos numa caixilharia de alumínio.



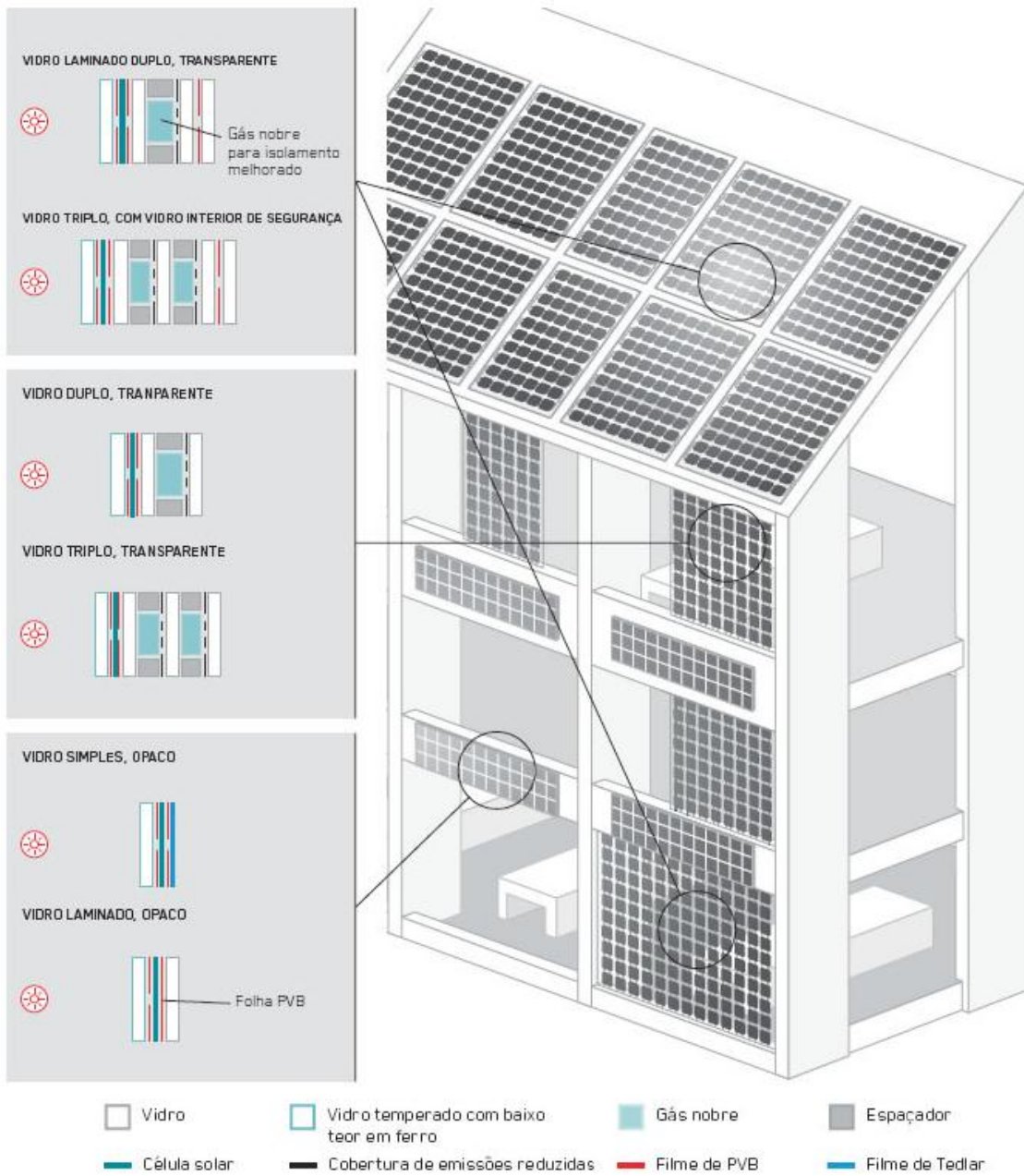
(Sapa Solar, 2011)

### 4.7.7. Integração em edifícios

Em todos os módulos de vidro/vidro fotovoltaico, e vidro laminado de segurança facultam muitas possibilidades e vantagens adicionais em relação à segurança e ao desempenho;

- Elevada força tênsil e capacidade de suportar cargas.
- O filme de PVB entre as camadas de vidro garante a integridade das unidades partidas.
- Ciclo de vida prolongado.
- Excelente desempenho acústico.
- Diferentes camadas nos módulos.
- Tamanho e características dos painéis.

Figura 58 - Diferentes possibilidades de aplicação da tecnologia fotovoltaica em edifícios.



(Sapa Solar, 2011)

#### 4.7.8. LED e o Fotovoltaico

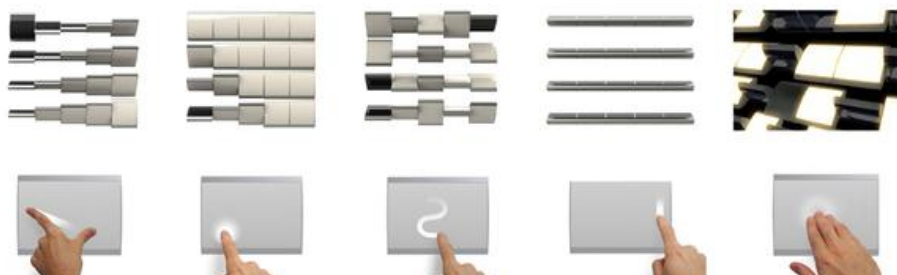
As nossas cidades são enormes redes de colectores de energia solar, com os nossos prédios literalmente a assar ao sol o dia todo. Enquanto os painéis solares são cada vez mais utilizados em telhados para captar e distribuir a energia produzida pela luz do sol, muito poucas pessoas têm encontrado formas de transformá-los em elementos de design emocionante. Azulejo urbano, que é o projecto de graduação de Meidad Marzan um estudante na Bezalel Academy of Art, em Jerusalém, esperanças para virar os painéis solares dos colectores de radiação passiva para participantes activos no diálogo arquitectónico de qualquer cidade.

A cidade e seus edifícios são objectos épica luz que “a noite” emitem energia luminosa, tanto quanto o espaço exterior, enquanto de dia a cidade absorve a energia do sol que esta a ser utilizada em tudo. O ciclo de luz e de iluminação no espaço urbano fez uma intervenção de design, que juntamente com outros valores urbanos, ficou a base deste Projecto.

Figura 59 - Detalhe do sistema de "azulejo urbano" para fachadas.

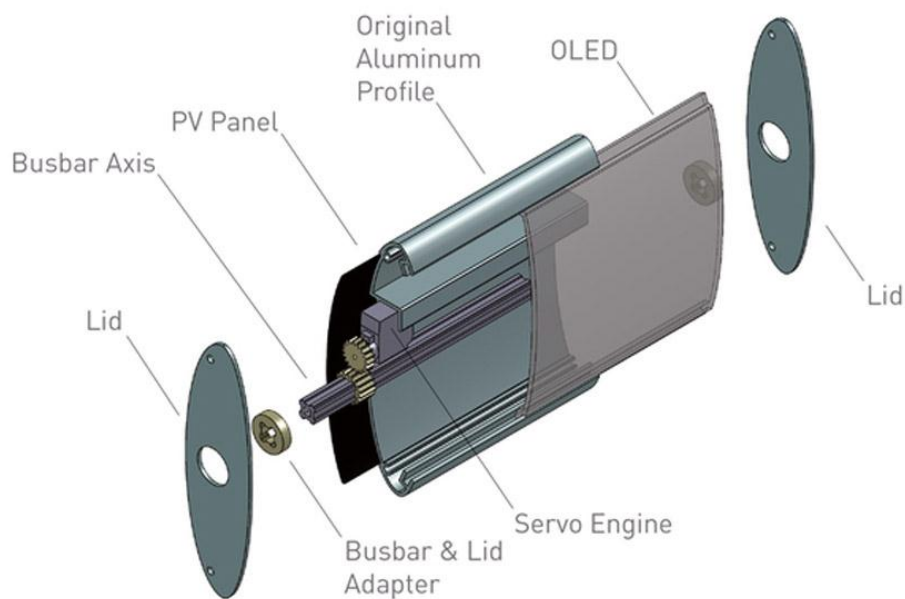


Figura 60 - Imagem do Conceito Marzan.



(Meidad Marzan: *Urban Tiles*, 2011)

Figura 61 - Construção técnica do elemento - “telha urbana”.



(Meidad Marzan: Urban Tiles, 2011)

Os Azulejos urbanos são o triatleta de painéis solares. Captação de energia solar, bem como o bloqueio da luz solar durante o dia, estas células fotovoltaicas giratória poderia ser usado como uma tela de entretenimento à noite, permitindo que você assista programas de TV ou filmes fora de sua superfície interior.

Figura 62 - Conceito do uso de "telhas urbana".



(Meidad Marzan: Urban Tiles, 2011)

Figura 63 - No interior como uma tela de reprodução.

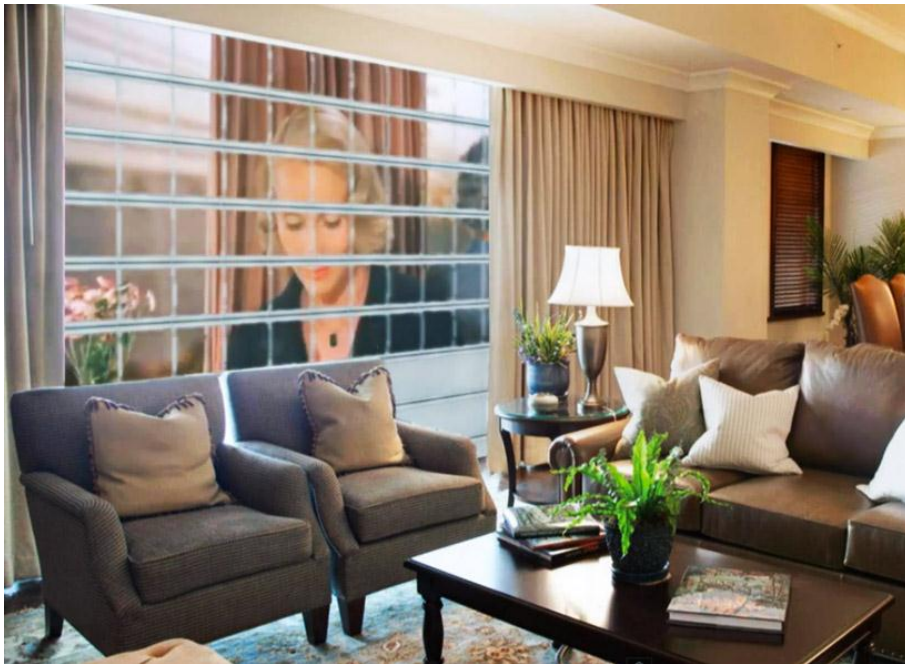
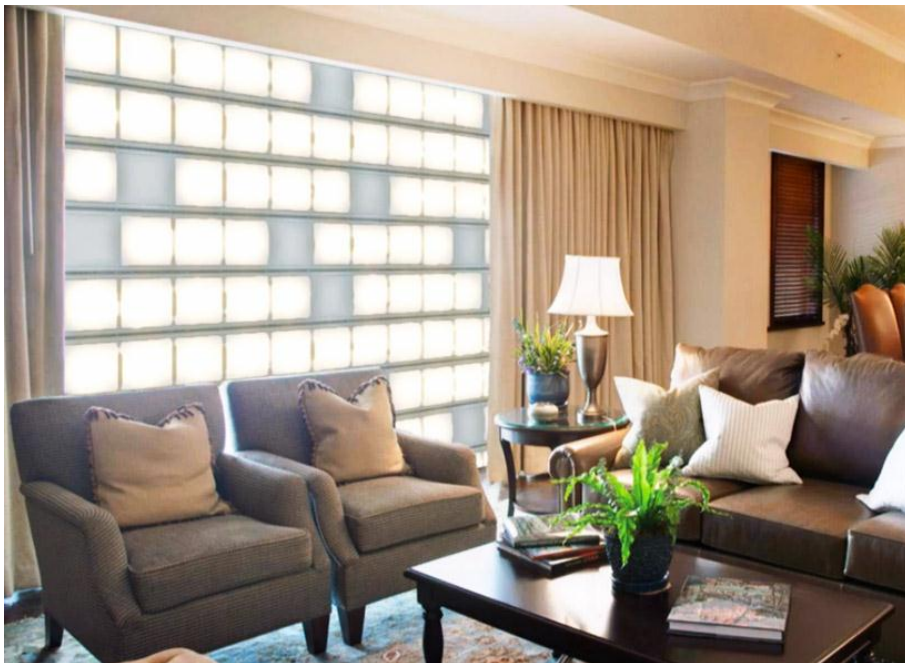


Figura 64 - No interior como iluminação



*(Meidad Marzan: Urban Tiles, 2011)*

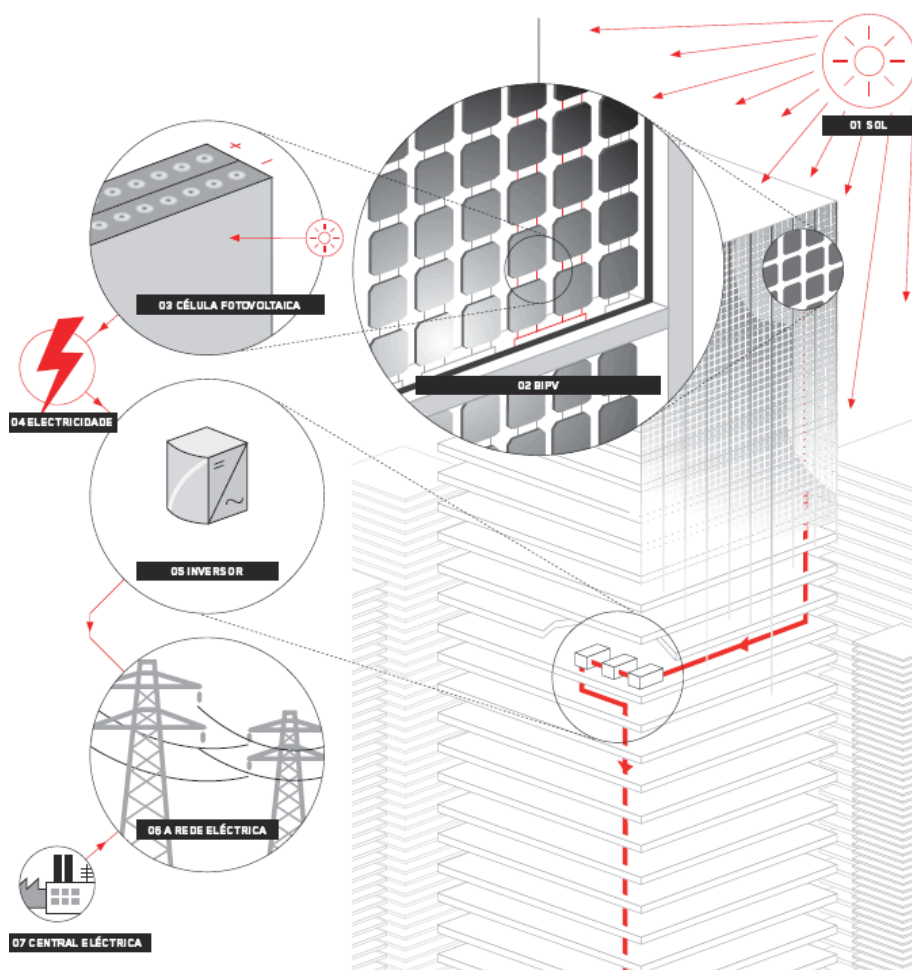
#### 4.7.9. O processo fotovoltaico: Da radiação solar à energia ligada em rede

A tecnologia fotovoltaica é uma tecnologia que converte a radiação solar directamente em electricidade. O método mais conhecido para produzir energia solar é através das células solares. As células fotovoltaicas necessitam de ser protegidas do meio ambiente e estão normalmente inseridas entre folhas de vidro. Quando é necessária uma maior quantidade de energia do que uma célula consegue produzir, as células são electricamente ligadas entre si para formar um módulo fotovoltaico (painel solar). Um metro quadrado de módulos pode produzir em média 100 W/h de energia. Os módulos são ligados entre si para gerar electricidade necessária.

O processo fotovoltaico: da radiação solar à energia ligada em rede;

Os fotões (01) são captados pelas células fotovoltaicas (02) e convertidos em corrente eléctrica (03-04). Utilizando um inversor (05) a electricidade pode ser ligada à rede (06).

Figura 65- Processo fotovoltaico solar ligado a rede eléctrica.



(Sapa Solar, 2011)

## 4.8. Tendências tecnológicas e desenvolvimentos futuros esperados

Como já foi referido, a prioridade da Investigação e Desenvolvimento passa actualmente por tornar o custo do fotovoltaico cada vez mais competitivo, com o objectivo de atingir a paridade com os valores praticados na rede. Para tal, há que diminuir os custos de produção dos painéis solares e aumentar a sua eficiência, continuando ou até acelerando a evolução verificada nos últimos anos.

É de esperar que o dinamismo crescente do mercado venha acelerar o desenvolvimento das soluções já existentes, ou até mesmo ajudar ao aparecimento de novas ideias. No caso das células monocristalinas, por exemplo, a Sanyo anunciou muito recentemente ter alcançado a fasquia de 22% de eficiência em laboratório, e tem como objectivo atingir essa mesma eficiência na produção em massa até 2010. No entanto, a projecção de descida do custo não assenta apenas na expectativa de melhores eficiências de conversão.

O quadro que se segue mostra a conjunta tecnológica, e sintetiza os elementos que poderão influenciar positivamente a evolução do seu custo. A margem para progressão é ainda grande em todas as áreas, mesmo nas tecnologias de silício cristalino, já utilizadas há várias décadas.

Tabela 6- Oportunidades de Melhoria Tecnológica por tipo de Célula.

Tecnologia	Evoluções Esperadas e Oportunidades
Silício Cristalino	<i>Ainda há espaço para melhorias e redução de custos</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Diminuição dos custos de refinação de silício para células solares</li><li>- Melhorias na produção dos cristais: menor espessura das camadas, etc.</li><li>- Aumento da escala de produção, para aproveitar economias de escala</li></ul>
Película Fina	<i>A falta de silício é uma oportunidade, há maior potencial de redução de custos, mas é ainda necessário melhorar muito</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Aumento da eficiência de conversão</li><li>- Diminuição das temperaturas no processo de produção</li><li>- Substratos mais baratos (vidro, aço, polímeros)</li></ul>
Sistema Fotovoltaico	<i>Importante para a redução do custo da electricidade obtida</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Melhoria das tecnologias de instalação e integração</li><li>- Tecnologias de monitorização da performance e de diagnóstico de erros</li><li>- Combinação com outros sistemas energéticos</li><li>- Melhores sistemas de armazenamento da electricidade</li><li>- Concentradores</li></ul>
Novas Tecnologias – 3ª Geração	<i>Ainda muito a fazer até à fase de comercialização</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Melhoria da performance por optimização da estrutura, materiais, etc.</li><li>- Melhoria da estabilidade, durabilidade, etc.</li><li>- Melhorias nas tecnologias de produção das células, dos módulos, etc.</li></ul>

Fonte: RTS Corporation

Podemos resumir as actuais direcções da Investigação e Desenvolvimento para o sector em oito pontos principais:

- Pesquisa de novos materiais: o recurso a novos compostos com custos de produção mais baixos ou eficiências de conversão melhores tem sido bastante estudado. A prová-lo está o aparecimento de várias novas soluções recentemente. A falta momentânea de silício cristalino no mercado trouxe um novo fôlego a esta área de pesquisa. Outro material para o qual se procuram substitutos actualmente é a prata, utilizada como condutor de energia nos painéis, visto que o seu mercado é limitado (é um metal raro) e poderá não ter capacidade para abastecer o mercado dentro de alguns anos;

- Tempo de vida útil dos equipamentos: este é também um ponto importante, que influencia directamente a avaliação económica do investimento num sistema fotovoltaico. Ao nível dos BOS, tanto os inversores como as baterias têm um tempo de vida útil bastante curto (cerca de 10 anos para ambos), e representam uma parte considerável do investimento num sistema. A eficiência destes equipamentos é também um vector de actuação da I&D actual;

- Diminuição do peso: É essencial, para viabilizar soluções integradas em fachadas, por exemplo. As tecnologias de filme fino são as mais leves, e portanto as mais usadas nestas aplicações;

- Melhoria na eficiência de conversão: continua hoje a ser uma prioridade da investigação. Redução da reflexão e das perdas internas nas células, maior espectro de luminosidade capturado e ventilação do sistema são algumas das formas de o fazer;

- Menor consumo de silício: A redução do uso de matéria-prima permitiria a diminuição do custo do sistema. Novas formas de produzir silício, mais eficientes e menos caras, estão em estudo;

- Maiores módulos de filme fino, de forma a reduzir custos de produção. Destaque-se ainda o desenvolvimento de novas técnicas de soldadura dos contactos eléctricos entre células individuais que hoje limitam fortemente a automatização dos processos de montagem de painéis solares;

- BIPV: Em fachadas, os painéis vêm substituir outros materiais caros, como vidro ou mármore. Há portanto uma diminuição de custo na construção do edifício, que será tida em conta na avaliação do investimento. Por outro lado, esta solução pode ser

associada ao reforço da imagem de uma empresa que ocupe o edifício. As soluções integradas em edifícios são também aquelas que mais aproximam a produção do consumo da electricidade. Alterações ao nível do suporte físico do sistema ou do seu peso estão a ser estudadas;

- Módulos flexíveis: as primeiras soluções deste tipo já apareceram, no Japão. A grande vantagem passa por um maior leque de aplicações para os painéis, que poderão acompanhar formas irregulares em edifícios, por exemplo. A componente estética é melhorada;

## 5. O Sector Fotovoltaico em Portugal

### 5.1. Quadro energético actual

O cenário eléctrico nacional tem sofrido fortes alterações nos últimos anos. Esta dinâmica foi impulsionada tanto pela ênfase dada aos problemas energéticos e às energias renováveis em toda a União Europeia como pelas excelentes condições que o país apresenta para a exploração das novas fontes de origem endógena, mas também pela muito deficiente situação energética que se vive em Portugal. De seguida é analisada de forma detalhada a situação nacional em relação à energia, e em particular o fotovoltaico, nomeadamente aquilo que já foi feito ou está em curso, no que respeita à legislação, ao cluster industrial do sector e aos projectos mais importantes promovidos na área.

Actualmente a produção de energia primária no nosso País baseia-se exclusivamente em fontes de energia renováveis (FER).

- A contribuição das energias renováveis para o balanço energético nacional é já significativa. Em 2007 o peso das renováveis no total da energia primária foi de 17,3%, valor superior ao verificado em 2006 (16,3%) e em 1998 (15,5%);
- A incorporação de FER no consumo bruto de energia eléctrica foi de 42,3% em 2007, o que evidencia que Portugal se está a aproximar da meta estabelecida (45% em 2010);
- Em 2007, Portugal foi o 4º País da UE-27 com maior incorporação de energias renováveis, encontrando-se acima da média europeia (21%).

Figura 66 - Percentagem da produção bruta de energia eléctrica com base em fontes de energia renováveis, em Portugal continental, e comparação com a meta da Directiva 2001/77/CE.

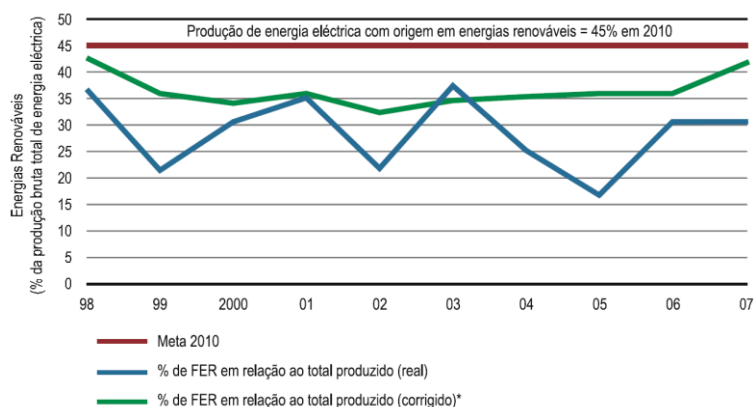
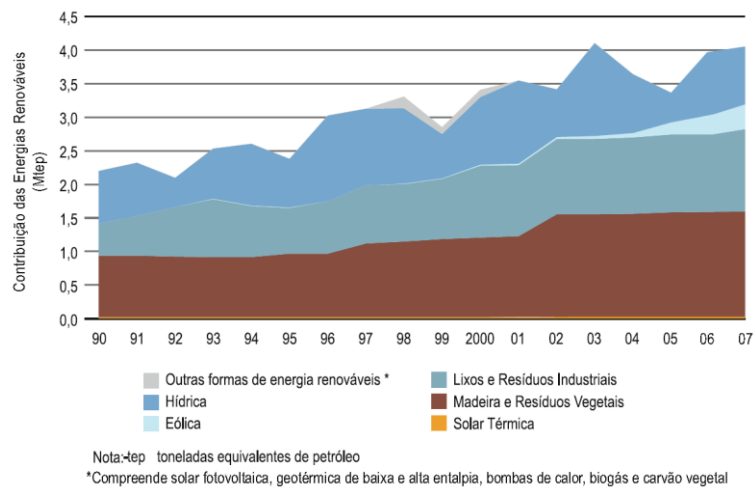


Figura 67 - Contribuição das fontes de energia renováveis para o balanço energético

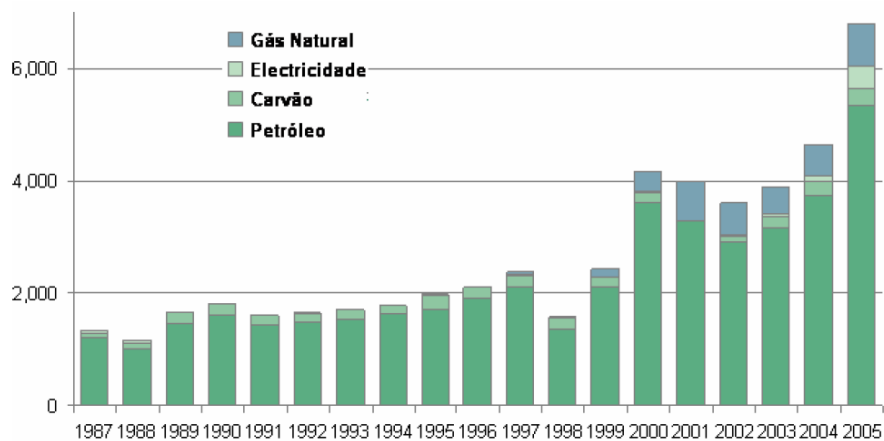


(DGEG, 2009)

Em consequência deste mau comportamento ao nível dos consumos energéticos, a importação de energia tem vindo a aumentar fortemente. Portugal é o segundo país da UE com maior dependência em relação ao petróleo. Está portanto mais vulnerável a flutuações de preço e a problemas geopolíticos. Em 2003, a factura da importação energética chegou aos 5% do PIB, o que traz evidentes problemas para a economia nacional.

Foi também a partir desse ano que as importações de electricidade começaram a aumentar fortemente. Não somos hoje auto-suficientes na produção de electricidade, problema que se agrava em ano de fraca hidraulicidade (em 2005, a electricidade comprada superou a vendida em 89 milhões de euros - 35 GWh). No saldo importador de petróleo, gás natural e carvão estão também incluídas as necessidades de abastecimento das centrais eléctricas que funcionam a combustíveis fósseis, e que também têm aumentado em proporção com o crescimento das necessidades eléctricas.

Figura 68 - Importação bruta de energia 1987-2005, a preços correntes (10<sup>6</sup>€).



(DGEG, 2009)

Entre 1990 e 2003 o consumo de energia primária aumentou 48%. Em consequência, as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) aumentaram 37%, valor que está 10 pontos base acima dos 27% acordados entre os estados-membros da UE para 2008-2012, no âmbito do protocolo de Quioto. A grande maioria das emissões de GEE é imputável aos sectores da produção e transformação de energia, e dos transportes (cerca de 25% das emissões totais cada).

Ao nível das tarifas eléctricas, a taxa de imposto é a mais baixa de toda a UE (5% - IVA). No entanto, as tarifas estão em geral pouco abaixo da média europeia. No sector doméstico, os preços com impostos praticados em Portugal são em média 18% superiores aos praticados em Espanha. Excluindo o IVA, os preços são superiores aos de Espanha para todos os consumidores tipo (31% em média). Para clientes industriais, as tarifas são praticamente iguais às de Espanha.

No entanto, excluindo o IVA, elas são quase 10% superiores. O mix energético nacional é portanto caro e pouco adaptado a cargas de ponta, com a falta de concorrência na produção a agravar os preços.

## 5.2. As energias renováveis em Portugal

As Energias Renováveis têm assumido um papel cada vez mais relevante no discurso político nacional. Os compromissos assumidos pelo país a nível internacional fixaram metas ambiciosas de incorporação de FER no mix energético nacional, e os grandes projectos que vêm explorar as condições favoráveis ao investimento oferecidas pelo governo não tardaram em aparecer. A situação actual e as metas que o país se comprometeu cumprir perante a comunidade internacional são temas abordados de seguida.

O protocolo de Quioto veio criar as bases para um maior empenho dos seus signatários no combate às emissões de GEE. Face aos desafios propostos nesse documento, e com o objectivo de se manter na vanguarda da evolução associada às FER, a UE publicou a Directiva nº 2001/77/CE de 27 de Setembro, onde fixa metas indicativas para 2010, estabelecidas com base na produção de energia por FER verificada em 1997 nos Estados-membros. A UE propôs assim um objectivo global de 22,1% de incorporação de FER na produção eléctrica, e repartiu os esforços pelos Estados-membros, indicando metas individuais. No caso de Portugal, o valor é de 39%, um dos mais elevados. Em resposta a este objectivo, foi publicada a Resolução de Conselho de Ministros (RCM) nº 63/2003, actualizada depois pela RCM 119/2004 (Plano Nacional para as Alterações Climáticas) e pela RCM 171/2004 (meta para a Energia Eólica).

Nestes documentos são fixados mecanismos de incentivos para as diversas FER e estabelecidos mecanismos de melhor aproveitamento das hidroeléctricas. O objectivo era alcançar até 2010, 4500MW de potência eólica instalada, 5000MW de grandes hídricas e 930MW para outras fontes (mini-hídricas, biomassa, biogás, fotovoltaico, etc.), o que permitiria cumprir as metas da UE.

Entretanto, o novo governo veio rever em alta estes valores, e propor-se criar as bases para que se alcance uma incorporação de 45% de FER na produção eléctrica já em 2010. O quadro abaixo resume os objectivos por fonte, de acordo com as metas actualmente em vigor.

Tabela 7 - Metas de produção eléctrica por FER em Portugal.

Situação Nov. 2005	2005	Metas 2010	Parâmetros
<b>Eólico</b> (Eólico em Meio Urbano)	1000 MW	5100 MW	1000 €/kW; 2300 kWh/kW 4000 €/kW; 2300kWh/kW
<b>Solar Térmico</b>	250 000 m <sup>2</sup> 175 MW	1 000 000 m <sup>2</sup> 700 MW	900 €/kW 700 W/m <sup>2</sup>
<b>Solar Fotovoltaico</b>	2,5 MW	150 MW	5000 €/kW ; 1400 kWh/kWp (ligado à rede)
<b>Ondas</b>	0 MW	50 MW	O potencial pode ser igual ao do Eólico
<b>Geotérmico</b>	12 MW	n.a.	Aplicações de baixa entalpia (Açores)

(DGGE, 2005)

A revisão em alta unilateral por parte de Portugal de metas já por si ambiciosas foi recebida com espanto na UE, onde a maioria dos países está com grandes dificuldades em honrar os seus compromissos. Esta notícia mostrou que Portugal também é capaz de ser cumpridor e exigente. No entanto, a meta nacional muito acima da média das metas dos outros países merece uma explicação.

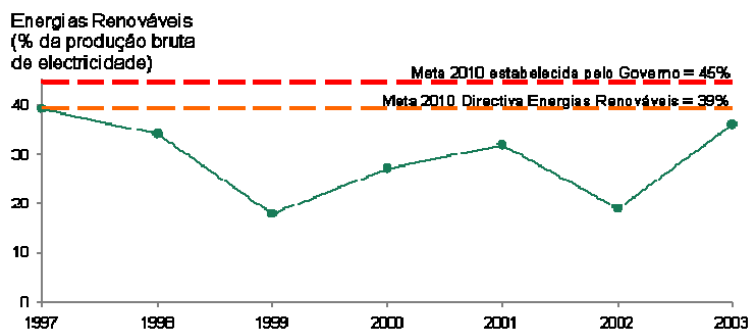
Na verdade, Portugal tinha já em 2003 uma taxa de incorporação de FER de 36%, fruto de um grande potencial hídrico (em 2005, as grandes hídricas foram responsáveis por 80% da produção eléctrica por FER nacional). Assim se percebe melhor que o terceiro objectivo mais ambicioso da UE em termos de incorporação de FER no mix traduz apenas um enorme potencial hídrico específico da geografia do país, que já é explorado há algumas décadas.

Esse mesmo potencial está até sub-explorado no país: Portugal explora cerca de 40% do seu potencial hídrico, quando a média dos países da UE-15 explora quase 70% do seu potencial. O país tem ainda um enorme potencial eólico, associado a uma grande faixa costeira, que só agora começa a ser explorado mais seriamente (em zonas costeiras, os ventos são mais regulares e propícios à produção eólica). A faixa costeira, contígua com uma das maiores Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) do Mundo, representa também uma grande mais-valia

nacional para a exploração da energia das ondas. Por fim, e como já foi visto, a insolação portuguesa é uma das melhores da UE.

Face a vantagens tão significativas, seria de esperar que o país as estivesse a explorar de forma massiva. No entanto, uma análise mais detalhada da evolução da exploração dos recursos renováveis no nosso país mostra uma realidade mais alarmante. Até 2003, e embora muito se falasse do assunto e todos estivessem cientes da importância das FER para o país, a verdade é que estas perderam importância relativa no conjunto do mix energético. O gráfico seguinte mostra mesmo que a meta de 39% era já uma realidade em 1997, que foi perdida nos anos seguintes. Em 2003, os 36% alcançados escondem uma produção hídrica fora do normal. Conclui-se que os investimentos em FER entre 1997 e 2003 não foram sequer suficientes para acompanhar o crescimento do consumo eléctrico no mesmo período.

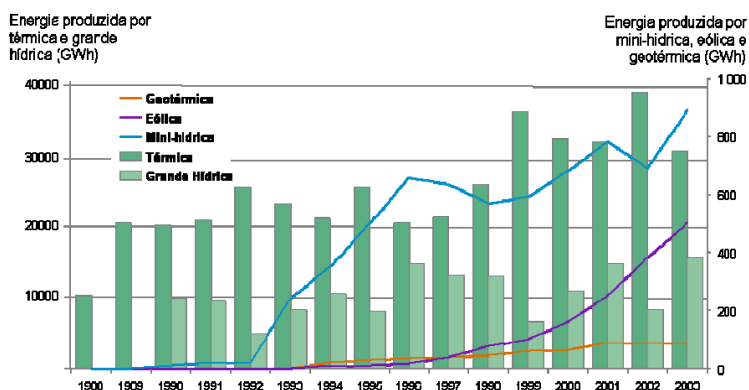
Figura 69 - Produção Bruta de Energia Renovável face ao total de Energia Eléctrica.



(DGGE, 2005)

A análise de dados mais antigos permite perceber o que foi feito em relação às novas FER, desde 1988. São visíveis no gráfico seguinte os momentos onde tanto as mini-hídricas como as eólicas começaram a ser exploradas com alguma intensidade.

Figura 70 - Produção Bruta de Energia Eléctrica em Portugal, 1988-2003.



(DGGE, 2005)

As mini-hídricas começaram a ser exploradas em 1992, e a evolução foi forte até 1996. Desde então, no entanto, o caminho seguido tem sido o da estabilização. No conjunto, valem apenas cerca de 10% da electricidade produzida pelas grandes hídricas. Com as eólicas, a evolução exponencial começou em 1997, e continua ainda hoje. Nos últimos movimentos do sector, há a destacar os dois grandes concursos de potência, com 1000 MW e 600 MW, ganhos respectivamente por um consórcio liderado pela EDP e outro pela Galp. A instalação dessa potência eólica adicional deverá ocorrer nos próximos três anos, e fará com que Portugal fique próximo da meta de 5100 MW de potência instalada a que se propôs.

É ainda importante ver que apenas nos dois últimos anos se começou a dar maior importância ao “cluster do eólico”. As contrapartidas negociadas nestes dois concursos vêm criar as bases para uma força industrial séria nesta área, capaz de criar riqueza e exportar. No entanto, parece óbvio que essa devia ter sido uma prioridade oito anos antes, logo em 1997. Se nessa altura tivesse sido feita uma aposta forte em indústria associada ao eólico, estaríamos hoje provavelmente a competir com Espanha ou a Alemanha, por exemplo (a espanhola Gamesa alcançou este ano a liderança mundial no mercado da produção de pás e sistemas eólicos). Este atraso, associado a uma falta de planeamento dos objectivos do país a longo prazo, é um erro que não deve voltar a ser cometido nas fontes de energia que ainda estão por explorar.

Até 2003, nenhuma outra fonte de energia renovável ganhou peso relativo digno de realçar no panorama nacional. A excepção vai para a energia geotérmica, com a instalação da central dos Açores em 1993. A produção energética nacional continuou a crescer, acompanhando o ritmo de crescimento do consumo, apoiada no consumo de recursos fósseis importados, mas também no aproveitamento de biomassa (madeiras e resíduos vegetais), e lixos e resíduos industriais.

Todas estas fontes mantiveram sensivelmente o seu peso relativo no mix energético. Apenas a eólica apresentou um aumento significativo.

Figura 71 - Contribuição das Energias Renováveis para o Balanço Energético (Mtep).

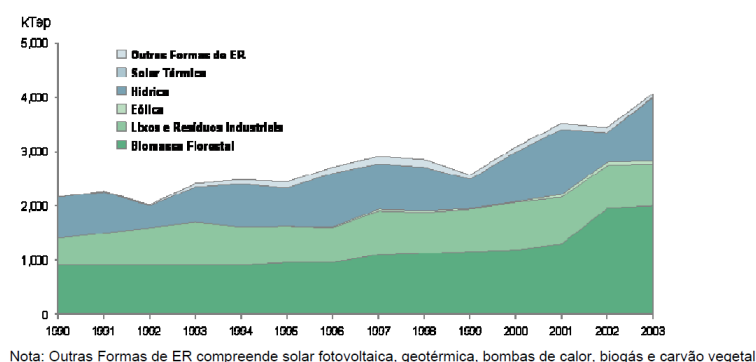
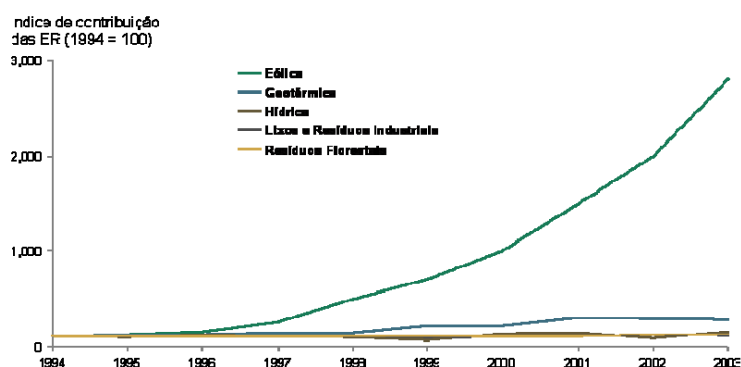


Figura 72 - Evolução relativa da produção de Energia Primária a partir de FER (1994=100).

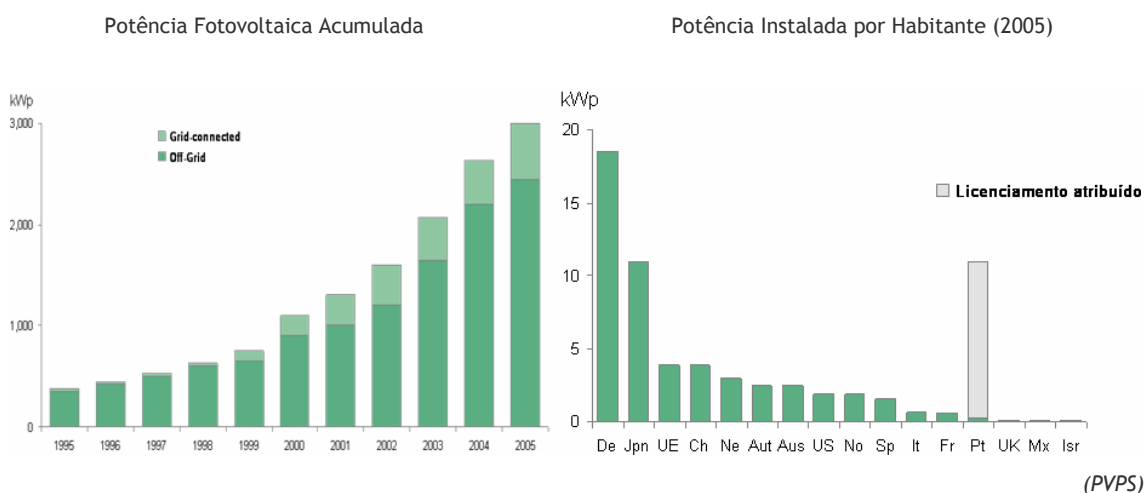


(DGGE, 2005)

Estes factos vêm mostrar que a taxa de incorporação de FER apenas reforça aquilo que é a realidade: o país tem alguns dos melhores recursos renováveis da UE, e apresenta vantagens competitivas enormes nesta área. Há até quem diga que esses recursos podem ser o “petróleo” do país. As vantagens estão na geografia, falta aproveitá-las da melhor maneira. Tudo isto mostra que a meta de 39%, ou mesmo a de 45%, deveria apenas ser vista como um passo normal, no sentido de aproveitar da melhor forma a riqueza que daí pode advir.

Os passos seguintes passam por criar condições para que se gere uma indústria forte e competitiva ligada às FER, para que o investimento associado a estas metas traga mais ao país do que a mera exploração dos recursos para produção eléctrica.

Figura 73 - Potência Fotovoltaica em Portugal.



(PVPS)

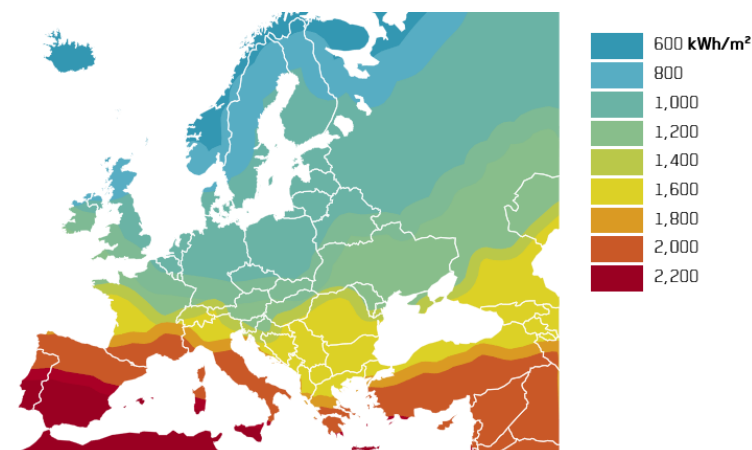
A potência fotovoltaica instalada em Portugal valia em 2005 apenas 3MW, com os sistemas off-grid a representarem aproximadamente 80% da capacidade instalada. Comparando com a situação observado no Mundo, é perceptível uma situação normal dos sistemas autónomos, mas um enorme atraso nos sistemas ligados à rede. Nessa área, tudo estava então por fazer. No entanto, da meta de 150MWp para 2010, 128 MW estão já atribuídos, o que transformará Portugal num grande produtor de energia PV por habitante, atingindo valores superiores aos apresentados em 2005 pelo Japão. No entanto, em termos absolutos pertenceremos apenas ao “grupo dois” europeu. A central prevista para Moura representa por si só metade da capacidade de instalação prevista. A estrutura do mercado nacional está a passar por alterações radicais. Em 2010 predominarão os grandes sistemas ligados à rede. Refira-se ainda que a instalação dos 150 MW significa um investimento na ordem dos 700 a 800 milhões de euros, o que mostra que o negócio move já quantias consideráveis, embora esteja ainda numa fase muito incipiente.

### 5.3. Porque é o fotovoltaico uma solução viável para Portugal

Portugal tem a melhor insolação anual de toda a Europa (o Chipre é a única excepção), com valores 70% superiores aos verificados na Alemanha. Esta diferença leva a que o custo da electricidade produzida em condições idênticas seja 40% menor em Portugal. É uma vantagem enorme, que tem de ser capitalizada.

A juntar a este factor, muitos outros fazem com que seja importante explorar da melhor maneira o fotovoltaico. Esses factores podem ser classificados em quatro categorias: socio-económicos, ecológicos e ambientais, energéticos e arquitecturais. Os benefícios socio-económicos são certamente os mais importantes para Portugal.

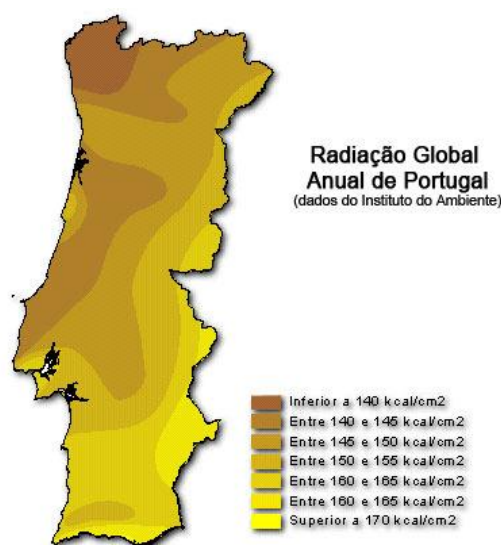
Figura 74 - Irradiação global solar anual na Europa.



O número anual de horas solares, expresso em kWh/m<sup>2</sup>

(Thomas Huld and Marcel Suri PVGIS c European Communities, 2001-2007)

Figura 75 - Insolação global anual em Portugal



Os benefícios ambientais são provavelmente os mais óbvios: incluem a geração de uma quantidade significativa de energia ao longo do período de vida útil, a consequente redução em emissões de gases com efeito de estufa, e em ocorrência de chuvas ácidas ou smog (embora estes não sejam problemas frequentes em Portugal). Há aproveitamento de um recurso endógeno universal, gratuito e não poluente, o que contribui para um desenvolvimento sustentável. A produção de electricidade em horas de ponta vem também melhorar o mix energético nacional, muito caro e poluente nesses períodos.

Esta última vantagem remete para os benefícios eléctricos. Aqui, pode ainda ser referida a redução no uso das grandes centrais, a disponibilidade de electricidade em situações de emergência, o investimento evitado em extensões da rede para locais remotos, a diminuição das perdas no transporte, a melhoria da fiabilidade da rede e sobretudo a diminuição da variabilidade na produção, factor muito importante num país com forte componente hídrica no mix eléctrico.

A nível arquitectural, há que referir a substituição de material de construção (em fachadas), a recolha e dissipação térmica, e o efeito estético possível, por variações de cor, transparência, ou ainda superfícies sem reflexão. Por fim, os custos de manutenção e substituição de um telhado PV, por exemplo, são bastante mais reduzidos.

A criação de novas fileiras industriais, com elevado valor acrescentado, a geração de emprego, o reforço da imagem de responsabilidade social e de capacidade tecnológica de qualquer instituição são alguns dos benefícios socio-económicos. As novas indústrias trazem também novos produtos e mercados, vários serviços são desenvolvidos (gerando mais emprego), o tecido empresarial de regiões deprimidas pode ser renovado, o salário médio

sobe, são abertas novas áreas de formação, e é invertido o despovoamento, com a criação de novas infra-estruturas e centralidades. Refira-se mais uma vez que previsões apontam para que o cluster do fotovoltaico empregue dois milhões de pessoas no mundo dentro de 15 a 20 anos.

A modularidade traz também vantagens significativas: permite tempos de construção muito curtos (a central de Serpa foi construída em 3 meses), a manutenção é reduzida e o equilíbrio entre oferta e procura é mais fácil de atingir. A diversificação de fontes energéticas, a diminuição das importações de combustíveis fósseis e a reduzida volatilidade dos preços são outras vantagens económicas.

As externalidades (impacto ambiental, deslocamentos sociais, necessidades de infra-estruturas) são muito menores do que para os combustíveis fósseis e o nuclear. Por fim, é ainda de referir a importância que esta tecnologia poderá ter no futuro, no apoio a países em vias de desenvolvimento por exemplo.

Resumindo, o fotovoltaico pode beneficiar a indústria e a economia (no curto prazo e com efeitos duráveis), a segurança do abastecimento energético (médio prazo), e o ambiente (longo prazo).

### 5.3.1. Legislação para o sector

O regime de tarifas de compra a preço garantido existe em Portugal desde 1988, e encontra-se em vigor em muitos outros países da UE. No caso nacional, a tarifa consiste no pagamento por cada unidade de electricidade entregue à rede, calculado com base nos custos evitados ao Sistema Eléctrico Público com a entrada em serviço e funcionamento do centro electroprodutor, incluindo o investimento evitado em novos centros de produção, os custos de transporte, de operação e manutenção, incluindo a aquisição de matéria-prima. A estas parcelas acresce um prémio que reflecta o benefício ambiental proporcionado pelo uso dos recursos endógenos.

O tarifário de compra da energia eléctrica pela rede foi fixado nos termos do Anexo II do DL 168/99, com alterações introduzidas pelo DL 33-A/2005 de 16 de Fevereiro. Os custos evitados que são tidos em conta para o cálculo da tarifa são definidos em termos de potência (investimento em novas instalações), de energia produzida (custos de combustível), e do ambiente (valorização das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas).

Assim, e para os produtores que gozem do estatuto de Regime Especial, a tarifa paga pela REN é próxima de 0,447 €/kWh para instalações com potência instalada inferior a 5kW, e de 0,317 €/kWh para potências superiores a 5kW, o que compara com a tarifa eléctrica média ao consumidor de 0,1077 €/kWh (BTN) em 2007. Os valores mudam no entanto consoante as especificidades do projecto em questão. Esta tarifa é garantida para um período de 15 anos ou 21 GWh/MW instalado, e pressupõe o débito na rede de 100% da energia produzida. No entanto, o limite de potência de 150 MW já referido está praticamente esgotado (128 MW foram licenciados), e os processos de atribuição de licenças estão parados. O governo manifestou já a intenção de atribuir os 22 MW restantes pelo método de concurso internacional. Este é o regime vigente para as centrais PV.

A este regime, juntava-se um outro, também referente ao PV, e cujos objectivos eram a promoção da microgeração em Portugal e do conceito de produtor-consumidor. Neste sentido, foi lançado um programa, o PV3, no qual o aderente, produtor de electricidade em baixa tensão, beneficiava de uma remuneração bonificada para a electricidade que entregava à rede, tendo no entanto de consumir mais electricidade do que a que vendia. Este programa foi regulado pelo Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março, e tinha como meta a instalação de 50 MW, que seriam remunerados pelo sistema de prémio fixo, com a tarifa indexada à praticada para os contratos BTE (Potência <5kw: €0.47/KWh. Potência entre 5kw e 150kw: €0.355/KWh). Entretanto, o número de sistemas licenciados e em operação ao abrigo desta lei é muito reduzido.

Por outro lado, o Decreto-Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro, estabeleceu as disposições aplicáveis à gestão da capacidade de recepção de energia eléctrica nas redes do Sistema Eléctrico de Serviço Público (SEP), de forma a permitir a recepção e entrega de energia eléctrica proveniente de novos centros electroprodutores do Sistema Eléctrico Independente (SEI). Contudo, esse diploma aplica-se a todos os centros electroprodutores, seja qual for a sua potência nominal ou localização geográfica, conduzindo assim a uma excessiva centralização administrativa dos processos de licenciamento de pequena ou micro dimensão. Ambos estes documentos resultaram num fracasso, fazendo com que o processo de criação de um mercado de microgeração em Portugal esteja parado.

Em reacção a isso, fala-se agora numa revisão profunda do quadro legislativo referente à microprodução. O governo referiu a criação do programa “Renováveis na Hora” como uma das medidas do Simplex 2007, com o objectivo de simplificar o processo burocrático. Espera-se que seja publicado esse novo enquadramento legal nos próximos meses.

### 5.3.2. Caracterização empresarial do sector fotovoltaico

Foi já referido que o fotovoltaico tem a capacidade de envolver um grande número de actores. Estes podem ser classificados dentro das seguintes categorias: Conhecimento (os institutos de I&D, bem como todos os formadores e disseminadores de conhecimento sobre a área), Indústria (todos os envolvidos na produção de componentes para o sistema fotovoltaico), Serviços (os responsáveis por actividades de serviços relacionadas, desde financiadores a projectistas, passando por montadores e distribuidores) e Exploração Eléctrica. De seguida, é feita a súmula dos intervenientes nestas quatro áreas em Portugal. Um quinto grupo de intervenientes no mercado é obviamente o do Estado, com os legisladores, fiscais, licenciadores e organismos de apoio (PRIME, etc). Estes não são aqui abordados.

Na área do conhecimento, é interessante perceber qual a capacidade de I&D que Portugal apresenta. Temos no país diversos pólos universitários onde investigadores se dedicam ao estudo do PV. Entre eles, são de destacar os da Universidade de Coimbra, de Aveiro, e do Minho. A estes, podemos juntar os da FCT-UNL e do IST-UTL, embora estejam inactivos desde cerca de 1995. As competências concentram-se sobretudo no silício amorfo e monocristalino, mas também no CIS (U. Aveiro). Destas universidades têm também saído muitos doutorados em áreas compatíveis, como por exemplo física e química. No entanto, a aparente letargia faz com que acabem por trabalhar noutras áreas.

A Universidade do Minho é uma das entidades promotoras desse projecto. A investigação envolvida na UM na área de nano-materiais, revestimentos funcionais e nanotecnologias aplicadas a sistemas eficientes de energia permitirá desenvolver camadas cerâmicas funcionais para aplicações de energia solar fotovoltaica envolvendo integração arquitectónica e eco-design.

O Projecto Solar Tiles - Desenvolvimento de Sistemas Solares Fotovoltaicos em Coberturas e Revestimentos Cerâmicos tem, em termos práticos, a mesma finalidade dos tradicionais painéis solares, ou seja, aproveita a energia solar para produção de electricidade.

Através de um filme que é depositado nos revestimentos cerâmicos, consegue-se captar a energia emitida pelo sol, armazená-la e transformá-la em energia eléctrica. Tal tem como base uma tecnologia extremamente sofisticada, desenvolvida à escala laboratorial e, por isso, com um custo de investimento muito elevado, o que justificou o recurso ao apoio do QREN.

Tecnicamente, consiste no desenvolvimento de protótipos funcionais de produtos cerâmicos fotovoltaicos integrados, de elevada eficiência, para o revestimento de edifícios (telhas e revestimentos exteriores de fachada) que incorporem filmes finos fotovoltaicos (da última

geração). Pretende-se que os protótipos a desenvolver se caracterizem por uma elevada qualidade estética e desempenho técnico.

Essa letargia é facilmente compreendida quando se analisa as apostas do Ministério da Ciência e Ensino Superior, responsável pela distribuição dos fundos para I&D. Há apenas cinco anos existem programas de apoio á investigação na área de Energia. Como se esse facto não demonstrasse um desinteresse enorme pela área, de um orçamento total de cerca de 580 milhões de euros para investimento em Ciência e Tecnologia, o fotovoltaico não chega a receber um milhão. Há até casos de investigadores que têm de concorrer a financiamento para programas de física, quando estão a desenvolver trabalho em energia. Isto acontece não obstante o facto de a Energia ser o primeiro tema do Programa de Redes Temáticas de investigação. Uma breve referência ao caso dinamarquês permite enquadrar melhor esta realidade: a Dinamarca tem um programa de investigação agressivo direccionado para o eólico há mais de 20 anos. Criou-o por ser o vento o único recurso que possuía em abundância, e por ter percebido que era uma área de grande futuro.

Em resultado disso, é hoje o país que melhor explora esta FER, e também um líder na indústria: a Vestas é a líder incontestada no mercado mundial, um caso de enorme sucesso industrial. Em Portugal, a melhor insolação da Europa é uma oportunidade clara a explorar, mas a definição de prioridades e conseqüente acção tardam em aparecer.

Ao nível da **indústria**, Portugal apresenta uma outra mais-valia significativa: várias minas de Trás-os-Montes abasteceram durante muito tempo a indústria electrónica com silício de alta qualidade.

Na actualidade, estão desactivadas, mas deve ser estudada a sua reactivação (o mercado está mais dinâmico e os preços da matéria-prima aumentaram). Nas outras componentes da cadeia de valor, o tecido empresarial nacional é bastante fraco. Não temos produção de *wafers* de silício, nem de células. A montagem de módulos e sistemas é a etapa menos exigente do ponto de vista da tecnologia, das economias de escala e do valor acrescentado. É também aquela que apresenta maior fragmentação, com muitos actores por todo o Mundo. A A. J. Lobo detém uma fábrica de montagem de painéis fotovoltaicos de tecnologia monocristalina e multicristalina em Évora, empregando cerca de 80 pessoas e produzindo cerca de 20 MW. O seu parceiro inicial, a Shell Solar, vendeu a sua posição à alemã SolarWorld em 2006, mas a A. J. Lobo estuda já a hipótese de criar uma marca própria. É actualmente a única fábrica a actuar directamente na cadeia de valor do PV. A esta junta-se a Selm, empresa sediada em Braga, que produz um sistema de *tracking* solar, utilizável em qualquer sistema de aproveitamento solar. Por fim, é de referir as empresas Tudor e Autosil, que produzem acumuladores de energia.

Duas novas iniciativas privadas estão em fase de desenvolvimento: a EarthLife, participada da Enervento, e a Solar Plus, detida pelas empresas Telcabo, Netplan (que tem uma central PV em Valadas, de 100 kW), Eurico Ferreira e TVE-Engenharia e Vale do Tejo, têm ambas projectos para a criação de fábricas de produção integral de módulos solares com capacidade de 5 MW anuais, sendo que a tecnologia do primeiro caso será o CdTe, e no segundo o silício amorfo. A Solar Plus prevê começar a laborar em Setembro.

A produção integral controla uma grande fatia do valor acrescentado, pelo que estas são boas iniciativas que devem ser apoiadas e incentivadas. A estas poderá vir a juntar-se a fábrica de montagem de módulos da Acciona, caso o projecto avance.

Nos serviços, o desenvolvimento do mercado tem vindo a proporcionar algumas oportunidades de negócio, aproveitadas por pequenos distribuidores ou montadores de sistemas, mas também de consultores em ER. A falta de um mercado de microgeração ligada à rede limita muito essas oportunidades, e faz com que este sector não tenha expressão nem visibilidade significativa no mercado.

Muitas empresas oferecem serviços para o fotovoltaico em complemento à sua gama de produtos, nomeadamente as que estão ligadas ao solar térmico, consultoria ambiental, aproveitamento energético, etc. Importa referir o caso de uma empresa que mostra a capacidade portuguesa de inovar e criar soluções competitivas neste mercado: a WS-Energia, que cria e desenvolve novas soluções de optimização do uso dos sistemas solares, como é o caso dos sistemas Heliots, que duplicam o *output* de um painel solar graças à concentração de raios solares por via de espelhos. Podem ainda ser referidas a Martifer Solar, que presta serviços de consultadoria em sistemas solares, a FFSolar, distribuidora de sistemas solares e subsidiária de uma empresa alemã, a Eurosolar, que oferece todos os serviços relacionados com pequenas centrais fotovoltaicas, ou ainda a Ecogen, participada da Galp e EDP para prestação de serviços de energia descentralizada.

No aproveitamento energético, várias empresas nacionais desenvolvem já actividade, aproveitando a oportunidade de negócio gerada pelas tarifas bonificadas. Infelizmente, o foco tem sido apenas esse, o de aproveitar uma rendibilidade do capital investido com risco mínimo e atractiva, havendo pouco retorno desse investimento para o estado Português.

Alguns dos principais actores têm também negócios noutras FER, nomeadamente no eólico. É o caso da Catavento, representante nacional no consórcio que explora a central de Serpa. Investidores estrangeiros têm também investido na geração de electricidade fotovoltaica em Portugal, como é o caso da GE e da PowerLight (Serpa) ou da Acciona, detentora actual da Amper Solar (Moura).

### 5.3.3. Barreiras ao desenvolvimento do sector

Como em qualquer novo mercado, que atravessa uma fase de crescimento e estruturação muito grande, há uma série de falhas que constituem entraves ao seu bom desenvolvimento. A sua resolução atempada pode impulsionar o crescimento, ajudando à saúde do sector. Só conseguindo ultrapassar barreiras poderemos ter em Portugal um mercado fotovoltaico ao nível dos melhores do Mundo, que potencie a indústria do sector e a torne competitiva mundialmente, e que contribua ao mesmo tempo para uma maior sustentabilidade e competitividade do sector energético nacional. De seguida são apresentadas as principais barreiras com que se depara o fotovoltaico actualmente em Portugal.

### 5.3.4. Barreiras ao nível do mercado

- Serem caras: Já foram aprofundados os problemas de custos com que ainda se depara este sector. No entanto, a tendência é de decréscimo acentuado, ao contrário das outras fontes energéticas. No gás, por exemplo, a evolução do custo da matéria-prima tem sido exponencial. Esse facto é tanto mais importante que o custo da matéria-prima numa central de ciclo combinado alcança os 70% do investimento. Caso a evolução do preço do gás se mantenha, a electricidade produzida pelas centrais de ciclo combinado será mais cara que a das eólicas no curto prazo. No caso do fotovoltaico e eólico, das ondas e hídricas, nunca haverá este problema, dado que os combustíveis são gratuitos e inesgotáveis;

- As energias renováveis encarecem o *mix* energético: Os subsídios concedidos pesam nas tarifas eléctricas, e é por isso que há o limite de capacidade de 150 MW para o fotovoltaico.

Mas é preciso ter em conta que o *mix* energético actual é responsável por uma factura anual que atingiu em 2005 os 5% do PIB. Nas barragens produtoras de energia hídrica, 80% do valor acrescentado fica em Portugal. É esse mesmo cenário que se quer alcançar relativamente às outras FER, e que nunca será uma realidade para as outras fontes energéticas. Assim sendo, o preço a pagar para sustentar uma tecnologia que é agora pouco competitiva deve ser plenamente justificado no longo prazo;

- Falta de pessoal técnico treinado, instaladores de confiança, integradores de sistemas com experiência, e serviços de manutenção: o sector ainda está numa fase incipiente, sobretudo no que toca à venda de microsistemas e a todos os serviços de pós-venda associados. As consequências são uma série de falhas evitáveis, perdas de tempo ou mesmo falta de concorrência, que encarecem o valor final do sistema. Este problema só poderá ser resolvido pelo mercado, com o seu amadurecimento e com políticas de incentivo à microgeração (na

Alemanha ou no Japão, a experiência acumulada levou a uma diminuição do preço final em quase 1€/Watt);

- Há falta de promoção e disseminação da informação, pouca sensibilização do cliente doméstico. O apoio dado à microgeração sobretudo deverá ser muito mais efectivo, mas tem de ser precedido de uma nova legislação, e de todo um ambiente que permita aos consumidores domésticos tornarem-se produtores. Só depois, o aumento da informação disponibilizada será o passo óbvio a seguir;

- As opções de financiamento é inadequado, ou mesmo praticamente inexistentes. Na microgeração, o investimento inicial é considerável, pelo que há uma boa oportunidade para novos produtos de financiamento, tendo por exemplo como garantia os cash-flows futuros do investimento. Opções de leasing do equipamento poderiam também ser boas novidades;

- Pouco envolvimento de potenciais actores interessados: com um mercado praticamente paralisado à espera de licenças, grandes empresas de energia, bancos, e até construtores civis (que têm muito a ganhar com a oferta de sistemas BiPV) não olham ainda para o fotovoltaico como área de negócio.

### 5.3.5. Barreiras técnicas ou tecnológicas

- A disponibilidade do recurso não é controlável. Há desfasamento entre a produção e o consumo: Mas a sua disponibilidade é também previsível, embora intermitente. Por outro lado, a electricidade é hoje armazenável, por aplicação em processos reversíveis. É o caso da armazenagem recorrendo ao hidrogénio, embora a solução esteja ainda em fase de desenvolvimento e o processo tenha uma eficiência de apenas 20% (o que faz dele uma mera esperança para o futuro, inaplicável em grande escala hoje em dia). No entanto, uma outra solução é muito mais viável e já hoje é utilizada em Portugal: são as centrais hídricas reversíveis, que bombeiam a água de jusante para a albufeira recorrendo a electricidade, e a reprocessam quando a procura alcança picos. Este processo tem uma eficiência de 80% e é ou será utilizado na grande maioria das barragens mais recentes do país. Hoje, praticamente todas as centrais hídricas são projectadas e construídas com sistema de bombagem;

- Escassez de máquinas fotovoltaicas no mercado: uma situação pontual de ajustamento do mercado ao crescimento dos últimos anos, que será resolvida a curto ou médio prazo. Mais que um *handicap*, é uma oportunidade para um país como Portugal, que tem algum atraso em relação aos *first movers* no sector das ER;

- Foi avançada a ideia de que a produção descentralizada traria problemas de gestão da rede, sobretudo ligados ao débito de potência reactiva e à má qualidade dos inversores. Hoje a

tecnologia dos inversores está muito mais avançada, e esses problemas estão praticamente ultrapassados. Há também benefícios significativos em termos de eficiência do transporte. As redes inteligentes integradas numa rede global são apontadas como o futuro da área (ver visão do INESC Porto sobre a matéria);

- Diminuição da eficiência de conversão com calor excessivo: a partir dos 22°C, os painéis vêm a sua eficiência de conversão começar a diminuir. Este é mais um elemento que pesa na avaliação económica de novos projectos, sobretudo em Portugal, onde as temperaturas são superiores durante grande parte do ano. Felizmente, o ganho obtido por uma maior insolação compensa esta perda de eficiência;

- Payback energético: os sistemas fotovoltaicos comportam componentes que requerem muita energia na sua produção. Eram até há pouco tempo necessários cerca de 3 a 4 anos de operação para que o sistema produza tanta energia como aquela que foi gasta na sua produção. No entanto, a situação é hoje diferente, e as emissões de CO<sub>2</sub> durante todo o ciclo de vida de um sistema PV são cerca de 97% menores do que as provocadas por uma central a fuelóleo com mesmo output energético (+- 25 contra 1000 gCO<sub>2</sub> por kWh). Esta evidência tem de ser transmitida ao mercado, de forma a apagar a má imagem provocada por um dado desactualizado;

- Aquecimento da zona onde estão os painéis: em operação, os painéis acumulam calor a nível local. Em grandes centrais fotovoltaicas, a temperatura no local pode chegar a aumentar vários graus. Este é um facto a ter em conta, que pode mesmo ter influências ambientais nos maiores sistemas;

- Corrosão dos materiais: a proximidade com a costa traz problemas ao equipamento, que vai sendo destruído por acção do sal no ar húmido. Instalações próximas do mar vêm o seu tempo de vida útil reduzido para sete a oito anos, o que torna a sua exploração inviável economicamente;

### 5.3.6. Barreiras legais ou burocráticas

- Uma aposta claramente insuficiente em I&D ligada a esta área, bem como a falta de apoios directos a indústrias ligadas ao fotovoltaico, tornam impossível um desenvolvimento sério do sector. Os 150 MW a licenciar representam investimentos na ordem dos 750 milhões de euros, totalmente viabilizados por um investimento ainda maior em tarifas. Até ao momento, o retorno desse dinheiro em postos de trabalho, criação de riqueza e disseminação de conhecimento por exemplo, é residual. Não se percebe por isso como é que a investigação em fotovoltaico tem um financiamento na ordem dos milhares de euros, e não é investido

dinheiro na captação de projectos de fabrico de células, wafers, módulos, painéis ou mesmo elementos do BOS. Bastaria uma aposta na ordem dos 10 milhões de euros anuais para redespertar a investigação nos institutos que têm capacidade para tal;

- As medidas promovidas por organismos públicos são ainda recentes e carecem de confirmação e continuação no médio e longo prazo: como foi visto no início, as razões que justificam estas políticas são de fundo, e é hoje praticamente impensável que venha a haver uma mudança de posição significativa. A necessidade de um modelo de produção energética mais sustentável é cada vez mais real, e o caminho nesse sentido é uma necessidade irreversível;

- Ao nível da legislação, várias questões estão ainda por resolver. Todo o sistema de ligação à rede está desadequado. Há cerca de dois anos que nenhuma autorização de ligação é concedida para pequenos sistemas, e a burocracia é asfixiante. A falta de um procedimento simplificado para licenciamento e instalação, e a necessidade de obter aprovação de várias entidades, levam a custos administrativos exorbitantes e a enormes tempos de espera. Isso faz com que qualquer projecto de pequena envergadura seja totalmente impraticável. O projecto PV3, no qual o governo procurava promover a microgeração, esbarrou na burocracia e em tarifas pouco apelativas. No entanto, o Projecto Renováveis na Hora e a nova legislação que deverá sair em breve poderão simplificar bastante os procedimentos, e relançar a microgeração;

- O tecto de 150 MW é limitador de um sector que se quereria forte e competitivo. Percebendo-se o porquê desse limite, é no entanto necessário definir se é prioritário para o país posicionar-se fortemente no mercado fotovoltaico mundial, não repetindo o erro que cometeu ao atrasar-se no eólico. Uma indústria do fotovoltaico seria dificilmente nascerá de uma aposta tão limitada como 150 MW, sobretudo quando 128 MW destes foram já licenciados sem que qualquer iniciativa industrial significativa estivesse associada (no fundo, esses 128 MW resultam de uma importação a praticamente 100% dos componentes necessários). O sistema de desenvolvimento do mercado trouxe até à data quase somente investidores interessados em aproveitar a rentabilidade proporcionada pelas tarifas, e não empreendedores que dinamizem um mercado de futuro;

- Alguns membros do sector apontam também como entrave a uma aposta mais forte por parte do governo a existência de um *lobby* do sector eólico, cada vez mais forte. De facto, e apesar da energia fotovoltaica não concorrer com a eólica, a verdade é que ambos concorrem pelo mesmo dinheiro do estado: o que é destinado às Energias Renováveis. Assim, mais dinheiro (ou seja mais apoios) para o fotovoltaico significaria menos dinheiro para as eólicas. Esta relação é perigosa, dado que as duas tecnologias estão em estados de desenvolvimento muito diferentes.

O investimento na energia solar deve ser de mais longo prazo, e ter objectivos estruturantes. Assim, seria até desejável separar as duas realidades, e defender os apoios às energias renováveis emergentes (onde se pode incluir o fotovoltaico, as ondas e o solar térmico e termoeléctrico, entre outros) como uma aposta de futuro, e não uma solução para o presente. Desse modo, tornar-se-ia claro que os objectivos a atingir são totalmente diferentes, e que tudo deve ser pensado de modo a garantir o sucesso no longo prazo de toda uma nova área industrial. A energia eólica está numa fase diferente, na qual o objectivo deverá ser mais o de apoiar a produção energética nacional e o cumprimento das metas definidas para o curto prazo.

## 5.4. Diagnóstico da situação nacional

Embora a tecnologia fotovoltaica tenha já várias décadas, e seja aplicada com sucesso num grande leque de situações, a maturidade tecnológica ainda está longe de ser atingida. As evoluções recentes trouxeram os custos de geração energética por esta fonte para níveis cada vez mais próximos dos de outras fontes, que contribuem hoje para a geração de electricidade em grande escala, injectada na rede e consumida diariamente por todos nós. As evoluções previstas para os próximos anos, aquelas que podem ser dadas como quase certas, permitem antever que o PV apresentará custos capazes de competir no mercado da geração eléctrica nos próximos 10 anos, no máximo 15. As perspectivas de crescimento são por isso enormes, tal como a importância futura do mercado. É hoje quase certo que esta tecnologia desempenhará um papel fundamental no panorama de produção energética mundial no médio e longo prazo. Acontecendo isso, o PV confirmará finalmente todo o potencial que há muito lhe era apontado, e o mercado a ele associado valerá muitos biliões de euros.

Na fase que esse mercado actualmente atravessa, os *first movers* (países como a Alemanha e o Japão, e empresas como a Sharp ou a Q-Cells) continuam a crescer e a posicionar-se da melhor maneira para o futuro, e é a vez de entrarem os *followers*. Quem quiser fazer parte deste mercado no futuro e tirar o melhor partido dele deve posicionar-se agora, aproveitando a janela de oportunidade oferecida pelo grande crescimento actualmente verificado (que tem tendência para aumentar), e concentrando esforços nos elementos da cadeia de valor que mais lhe interessam.

Isso aplica-se tanto às empresas do sector como aos países.

Neste cenário, e sabendo que o verdadeiro potencial do PV está no futuro e não no presente, não faz qualquer sentido concentrar agora esforços e recursos na produção energética a partir desta fonte, a não ser que esse seja um meio que permita atingir o fim que se quer: um bom

posicionamento no mercado. É nisso que Portugal se deve concentrar. Deve criar bases sólidas para poder extrair riqueza no futuro, evitando que aconteça o que é costume (um posicionamento errado e tardio, que controla muito pouco valor acrescentado, e que exporta riqueza, por via de importações inevitáveis). Para o fazer, é necessário criar e aplicar desde já uma estratégia coerente e vencedora. É uma proposta para essa estratégia que é apresentada de seguida, construída e fundamentada com base na análise completa do sector que foi feita até aqui. Uma análise SWOT ao país na óptica deste novo sector permite sintetizar a posição nacional (Tabela 8).

A estratégia actual do país assenta essencialmente no objectivo definido pelo governo de produzir 150 MW de energia fotovoltaica em 2010. Esse objectivo será atingido por via da criação de um mercado artificial, induzido por uma tarifa de injeção na rede que garante o retorno do investimento aos promotores, e que se reflecte na tarifa de venda aos consumidores finais. Para estes, o custo da electricidade produzida por esta via será quatro a seis vezes mais elevado do que se viesse de uma central eólica, e 6 a 10 vezes mais elevado do que se fosse produzida por fontes convencionais.

Este grande sobrecusto (com um pequeno impacto na tarifa individual de cada consumidor) não está actualmente a ser devidamente justificado. Com uma indústria e um sector de serviços associados ao fotovoltaico ainda fracos, resultantes apenas de iniciativas privadas pontuais e desapoimadas, as centrais fotovoltaicas licenciadas até à data têm uma taxa de incorporação nacional muito baixa. Esta realidade é mais flagrante nos dois megaprojectos (Serpa e Moura) que juntos representam mais de metade da meta de potência a atingir. O modelo actual de apoio ao fotovoltaico está portanto mal pensado, e está a ser responsável por uma perda de riqueza para o país (os equipamentos vêm quase todos de fora, há pouco emprego associado, e até alguns investidores são estrangeiros).

Tabela 8 - Análise SWOT ao fotovoltaico em Portugal.

Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposição solar</li> <li>- EU líder no mercado</li> <li>- Capacidade em I&amp;D mobilizável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de experiência do mercado</li> <li>- Indústria nacional fraca</li> <li>- Atraso face aos <i>first movers</i></li> </ul>

A estratégia para o sector, tal como está actualmente desenhada, deve ser abandonada. A primeira alternativa, mais simples, passa simplesmente por esquecer esta tecnologia por agora, avançando para ela quando os seus custos justificarem a alternativa por si só (com a devida contabilização das externalidades ambientais e económicas evitadas). Em alternativa, os 150 MW de potência necessários ao cumprimento das metas ambientais podem ser fornecidos por via eólica (apresentam custos quase competitivos com os do *mix* energético,

podem aliviar a variabilidade verificada em anos de pluviosidade anormal, e são uma solução mais rápida de implementar), ou mesmo pela antecipação do reforço de potência das barragens.

No entanto, e a meu ver, esta estratégia constitui um grande erro, uma vez que subestima de forma dramática tudo aquilo que as FER podem trazer de positivo para o país. Os objectivos têm de ser claramente mais ambiciosos, bem delineados, e potenciadores de desenvolvimento. Portugal tem excelentes condições para criar um *cluster* fotovoltaico: a insolação anual, a proximidade ao resto da Europa, a presença de mão-de-obra mobilizável para o sector, a consciencialização ambiental da população, as necessidades de reconversão industrial, todos são elementos que devem ser explorados.

Os grandes projectos previstos para o país, envolvendo grandes empresas mundiais do sector, mostram que há vontade de investir cá. Há que aproveitar essa vontade em benefício próprio. A política nacional em relação ao fotovoltaico tem de fomentar a criação de um novo sector económico, atrair grandes *players* mundiais, potenciar a criação de empresas na área (exportadoras de preferência), mas também o controlo tecnológico, entre outros.

Por via do apoio ao fotovoltaico, Portugal tem a oportunidade de se colocar na primeira linha de um mercado tecnológico que pode vir a mudar a face da produção eléctrica a nível mundial. A acontecer, isso poderá trazer uma enorme riqueza para o país, com um sector industrial vanguardista, com a instalação de fábricas, a criação de postos de trabalho, a exportação de bens, e a promoção da imagem do país no estrangeiro: podemos passar a ser vistos como vanguardistas, ecológicos, desenvolvidos, etc. Podemos também reconverter tecidos empresariais e zonas em risco de desertificação. Por isso, é apresentada de seguida uma proposta de segunda alternativa.

## 5.5. Estratégia para o fotovoltaico

A nova estratégia para o fotovoltaico aqui proposta visa criar todo um novo sector económico no país, que parta da I&D, passe pela indústria e pelos serviços, e acabe na produção energética. O mercado induzido deixa de ser um objectivo, para passar a ser apenas mais um meio de impulsionar o *cluster* fotovoltaico que se quer desenvolver

Figura 76- Vectores de acção da nova estratégia para o fotovoltaico.



### i. Conhecimento:

O conhecimento é um dos vectores chave de qualquer estratégia de criação de um novo *cluster*. Foi já visto que a capacidade nacional de I&D nesta área está altamente desaproveitada, por falta de financiamento sobretudo. Portugal tem de colmatar as lacunas a nível de know-how e de experiência de mercado que tem, até porque numa tecnologia em forte evolução, o controlo do conhecimento é essencial. É preciso adjudicar uma parte do orçamento nacional para I&D a esta área (na parte 6, foi avançado o valor de 10 milhões de euros por ano), criar laboratórios e atrair especialistas mundiais. O instituto que tiver melhor capacidade na área deverá ser responsabilizado por coordenar a pesquisa a nível nacional, e criar uma rede de *networking* internacional, que permita ir buscar know-how a outros países. Nesse aspecto, a parceria firmada recentemente com o MIT poderá ser uma mais-valia. A criação de uma incubadora de empresas num centro de transferência de tecnologia pode ser uma excelente maneira de dinamizar e aproveitar a pesquisa desenvolvida (ver a este respeito o plano da região de Schleswig-Holstein, na Alemanha, que criou uma nova centralidade na área de microtecnologias na pequena cidade de Itzehoe). Ainda mais

importante do que criar e controlar conhecimento, é aproveitá-lo em indústrias e serviços nacionais.

Num outro plano de conhecimento, é preciso criar cursos de formação para todos os níveis da cadeia de valor - desde tecnólogos capazes de inovar, a montadores de sistemas, passando por projectistas de sistemas e edifícios e reparadores. Deverão ser promovidos *workshops* para debater ideias e disseminar o conhecimento e pequenos eventos de consciencialização da população. A incubadora de empresas poderá ser dinamizadora destas iniciativas, mas o envolvimento das universidades e escolas profissionais é também essencial. É totalmente paradoxal e inviável que aconteçam situações como a de hoje, em que se lança um programa de certificação energética dos edifícios e cursos universitários de arquitectura por exemplo não contemplam ainda cadeiras de certificação ambiental, comportamento térmico de edifícios, etc. Isso revela uma total falta de planeamento a médio prazo, que não se pode verificar em iniciativas que se querem de sucesso.

Todas as medidas relacionadas com o aumento do conhecimento na área têm vários efeitos: criam um mercado mais profissional, mais bem preparado, mais competitivo e mais maduro, tudo condições para o seu sucesso futuro e para a sua competitividade internacional. Ajudam à diminuição dos custos dos sistemas, pelo efeito da experiência: designers e instaladores com habilitações e experiência melhoram a sua performance, são mais produtivos e cometem menos erros. No médio e longo prazo, estas medidas permitem também controlar as melhores tecnologias industriais, e captar melhores profissionais, mais e melhores empresas, e por consequência mais negócio. O efeito multiplicativo é portanto enorme.

## ii. Mercado induzido:

Na definição do mercado induzido, é primordial ter em conta a sua principal função, que é a de alimentar o crescimento do *cluster*. Não pode haver indústria nem serviços sem mercado que gere negócios, e a investigação é inconsequente para o país se não puder ser aplicada. No entanto, uma coisa é desde já clara: as grandes centrais fazem apenas sentido se o seu licenciamento for negociado com contrapartidas que incorporem riqueza nacional e iniciativas de dinamização do sector, o que pode ser conseguido pela imposição de condições muito rígidas à atribuição de tarifas bonificadas nesses casos. Só havendo um mercado já maduro, bem desenvolvido, no qual Portugal consegue controlar grande parte do valor acrescentado, é que se poderá pensar em mega centrais que façam sentido.

De resto, toda a estratégia de distribuição de capacidade deverá ser revista. A microgeração deverá ser sempre favorecida, e todos os anos deverá haver licitação de potência. A ideia é criar um mercado sustentado, que gere negócios todos os anos numa escala confortável, permitindo às empresas de serviços e industriais terem uma base de clientes constante e sustentada. O limite de 150 MW deverá ser abolido, sendo substituído pela atribuição de 40 MW anuais (valor estimado para que o mercado tenha uma massa crítica mínima - ver cálculos mais adiante), crescendo a cada ano, até aos 100 MW/ano em 2015 por exemplo. Poderá ser fixado o objectivo de chegar a 2020 com 1 GW de potência instalada.

O sistema tarifário, a par de todo o sistema legal e burocrático, tem de ser revisto. Deve continuar a contemplar uma rendibilidade do capital investido atractiva (8% ao ano é bom para um investimento com risco muito diminuto), mas também uma diminuição todos os anos, que venha reflectir a variação dos preços no mercado, à semelhança do que já acontece na Alemanha. Não pode ser remunerado aos preços de hoje um investimento realizado para o ano, quando a cada ano esse investimento é 6% menor. Esta redução obrigará o mercado a manter o foco na redução de custos, na optimização e na busca de novas ideias e tecnologias. Evitará também situações em que o promotor garante a licença, mas depois atrasa o processo de instalação o mais que pode, de forma a aproveitar a descida do preço dos sistemas. A opção contrária seria a engorda de um sector, no qual os intervenientes tivessem tendência para a imobilidade: não haveria dinamismo no mercado, nem acompanhamento das novas soluções tecnológicas ou das melhores práticas empresariais.

Para que tudo isto funcione, a aceitação no mercado desta nova tecnologia tem de ser potenciada. Um mercado de microgeração forte implica o envolvimento de muitos actores, o que só é conseguido com disseminação de informação, um processo burocrático claro e muito simplificado, e soluções de financiamento adequadas. Hoje, todo esse processo está inactivo, devido ao impasse na microgeração.

### ***Energia:***

Enquanto a tecnologia não for competitiva, pelo menos com as tarifas eléctricas ao consumidor, o *output* energético deverá ser visto pelo estado e por todo o sector como uma mera consequência positiva do seu processo de desenvolvimento. A DGGE, até aqui principal conselheira do governo para a política do sector, deverá ver a sua importância no processo de decisão significativamente reduzida. A REN deverá reunir todas as condições para absorver a electricidade produzida, nomeadamente dos inúmeros sistemas de microgeração, e continuar a reflectir os custos adicionais nas tarifas.

Uma forma de diminuir o impacto desse sobrecusto nas tarifas, e que viria também dar ainda mais visibilidade ao sector, seria a criação de uma tarifa 100% verde regulada. Os seus subscritores pagariam um valor calculado com base num *mix* 100% renovável (ponderado pela

capacidade instalada de cada FER vezes a sua tarifa bonificada), e teriam direito a um certificado, emitido pela REN ou pela *Utility* a quem contratavam o serviço, que poderiam utilizar para promoção. Isso traria para o mercado empresas com necessidade de transmitir uma imagem verde.

### iii. Serviços:

Sendo que Portugal tem desvantagens a nível industrial (poucas e pequenas empresas, não há indústria de semicondutores por exemplo), a componente terciária assume particular relevo: não tem de começar em grande escala para competir, e é muito mais flexível, adaptável a novas realidades (leia-se soluções ou tecnologias). Pode também estar em diversos mercados ao mesmo tempo, explorando complementaridades de tarefas, funções, ou produtos. Exemplo disso seria um distribuidor de sistemas solares, que pode oferecer painéis térmicos, sistemas de Fresnel e PV.

O novo mercado de microgeração permitirá mobilizar o empreendedorismo de pequenos investidores, criar um tecido de pequenas e médias empresas instaladoras de equipamentos, consultoras ambientais, serviços de manutenção, etc. O desenvolvimento gerado por esse mercado de pequena dimensão permitirá ao sector ir criando massa crítica, gerando emprego e incorporando cada vez mais valor acrescentado nacional ao produto, ao mesmo tempo que o torna cada vez mais competitivo. Esta é uma parte da cadeia de valor que o país deve e pode controlar (é de relembrar a influência no custo total que têm as parcelas de instalação e manutenção dos equipamentos, e o planeamento das instalações). Por esta via, o sector poderá mesmo tornar-se exportador.

Para o potenciar, poderão ser criados concursos e programas de incentivos específicos para a criação de PME's na área. As empresas de construção civil deverão ser envolvidas (o sector em Portugal é maduro, e está á procura de novas soluções de investimento). O envolvimento do sector da construção civil é importante, por trazer músculo financeiro e abrir portas à internacionalização do sector (muitas são já as empresas de construção com actividades no estrangeiro). A incubadora de empresas deverá também apoiar e incentivar o espírito empreendedor da população.

Com esta política agressiva, será possível a Portugal controlar a parte de serviços da cadeia de valor, ao mesmo tempo que cria um tecido empresarial de PME's sério na área das ER, potencialmente exportável, e aumenta a massa crítica de todo o sistema. No entanto, nesta área é sobretudo o mercado que manda e cria as oportunidades. Uma aposta forte na microgeração, na disseminação de conhecimento e na promoção de ideias inovadoras,

elementos já aqui referidos, são os principais motores do desenvolvimento dos serviços, e devem também por isso ser elementos-chave da estratégia global. Em reacção, boas empresas de serviços gerarão mais negócios e melhores soluções e acabarão também por puxar pela indústria. Poderá mesmo haver muitos casos em que indústria e serviços se cruzam, com empresas multidisciplinares a actuar em ambas as áreas.

#### iv. Indústria:

A maior fatia do valor acrescentado no sector fotovoltaico está na produção industrial de equipamentos. É parte essencial deste plano criar condições para o desenvolvimento de uma actividade industrial forte neste sector. Seria um erro estar a financiar um mercado de microgeração completo e alimentá-lo com importações.

Foram já referidas algumas pequenas iniciativas pontuais no país. No entanto, e como foi visto, se a montagem de módulos e a integração de sistemas não impõem quaisquer problemas a nível técnico, o mesmo já não se pode dizer das outras etapas da cadeia de valor, nomeadamente desde as *wafers* de silício até às células fotovoltaicas. Aqui, o know-how e a escala de produção são fundamentais, e são controlados pelas empresas mais avançadas do mundo na área. Apesar de termos uma localização periférica (o que normalmente dificulta a deslocalização para cá de empresas exportadoras), esse é um factor que pesa apenas na localização de fábricas de montagem de módulos, tendo pouca importância nas outras etapas da cadeia de valor.

Embora tenha sido visto que nenhuma opção tecnológica seja de descartar, a atenção inicial deverá estar centrada nas opções à base de silício. É nessas que o mercado está mais desenvolvido, e é nessas que temos melhores especialistas. São também as mais adequadas actualmente para sistemas de microgeração, e aquelas que continuarão a dominar o mercado durante muitos anos. Revendo as etapas da cadeia de valor industrial, foi já referido que deve ser estudada a hipótese de reactivar as minas de silício a Norte. Na produção de silício cristalino, o elevado consumo energético do processo, a escala de produção necessária e a complexidade tecnológica do processo são entraves significativos. Mesmo assim, creio ser de equacionar a produção por novos métodos, como a produção de células em fita, pelo que iniciativas nesse sentido serão de encorajar e apoiar. O INETI e a FCUL estão aliás actualmente envolvidos na investigação de novos processos de produção, apoiados pela BP Solar. Outro mercado a ter em conta no desenho do *cluster* PV é o dos BOS: há em Portugal capacidade tecnológica e empresarial nesta área. A Efacec tem excelentes valências ao nível dos inversores, e foi até referido o caso da Selm, que produz sistemas de *Tracking*.

## 6. Caso Estudo - Reabilitação das Fachadas de Conjunto Habitacional

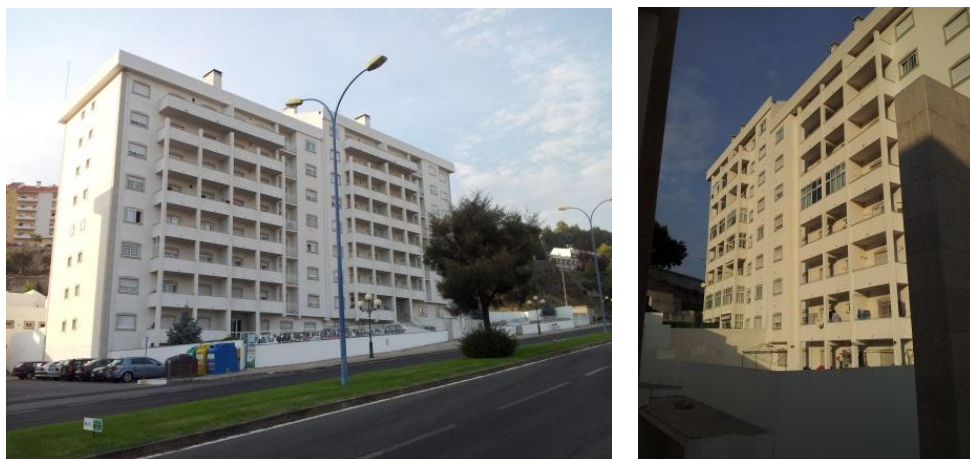
### 6.1. A edificação

A edificação em estudo foi construída nos anos de 1998 a 2000, antes da entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo do Decreto-Lei nº40/90, de 6 de Fevereiro e, por isso a envolvente do edifício tem uma eficiência térmica muito insatisfatória e com necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão.

Atendendo ao elevado número de fogos (32) e uma população residente de cerca de 120 habitantes, escolheu-se este conjunto habitacional como caso de estudo, propondo a reabilitação das suas fachadas com a integração de tecnologia fotovoltaica, para a sua sustentabilidade energética, tendo sempre presente o aspecto arquitectónico bem com a renovação do aspecto visual da edificação.

As soluções e sistemas construtivos, escolhidos para esta caso de estudo, estão disponíveis no mercado e amplamente implantadas. Fez-se a selecção do mais adequado, com a análise previamente das vantagens e inconvenientes de cada solução, tendo em conta as características da edificação existente, os objectivos pretendidos, as prováveis restrições, o tipo de clima e de utilização e a disponibilidade económica.

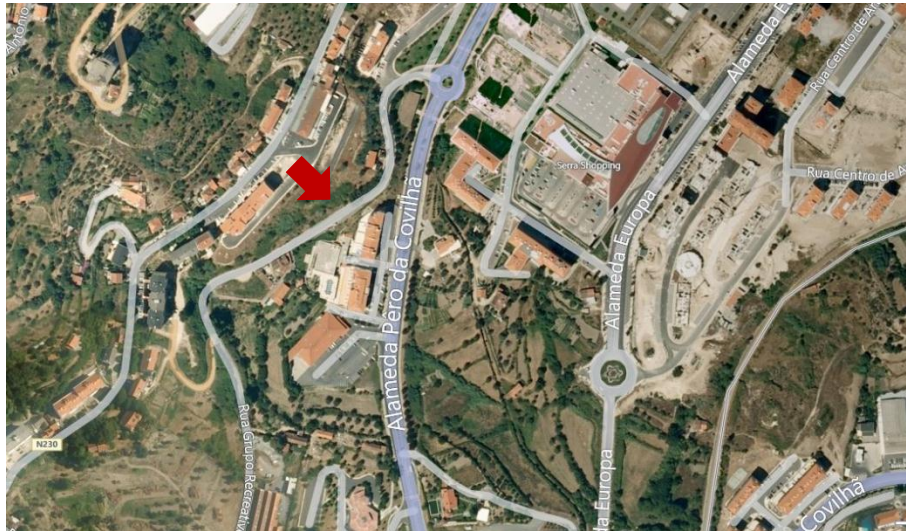
Figura 77 - Aspecto visual da edificação.



## 6.2. Localização e clima

A edificação em estudo situa-se na Alameda Pêro da Covilhã, município da Covilhã. A cidade da Covilhã está situada na vertente sudeste da Serra da Estrela, o núcleo urbano varia entre os 450m e os 800m de altitude.

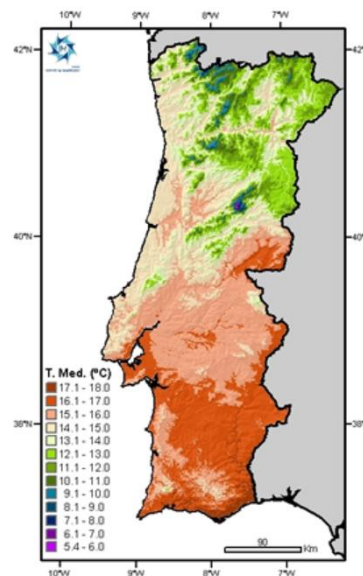
Figura 78- Localização-vista aérea.



(Bing Maps, 2011)

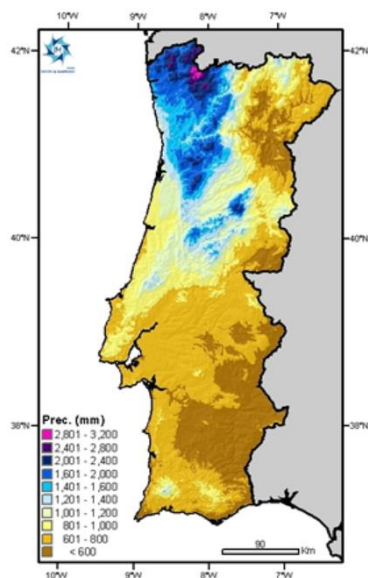
O clima de Portugal sofre três tipos de influência - atlântica, continental e mediterrânica. Como se pode verificar na Figura 6.2 e na Figura 6.3, na região Norte as temperaturas médias são mais baixas e a precipitação mais elevadas do que na região Sul.

Figura 79 - Precipitação média anual (mm).



(Instituto de Meteorologia, IP Portugal)

Figura 80- Temperatura média anual (°C).



(Instituto de Meteorologia, IP Portugal)

Segundo a classificação de Köppen,<sup>19</sup> a região Norte tem um clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (Csb), enquanto a região sul tem um Inverno também chuvoso, mas com Verão seco e quente (Csa). De acordo com esta classificação, a Covilhã está inserida na metade a norte, sendo que as precipitações são mais escassas no verão. Os Verões apresentam temperaturas moderadamente altas, enquanto os Invernos têm temperaturas baixas. O frio aumenta conforme a altitude, variando de temperaturas amenas nas partes mais baixas a temperaturas negativas e ocorrências de neve, por vezes abundantes, nas áreas mais elevadas.

### 6.3. Forma e orientação solar

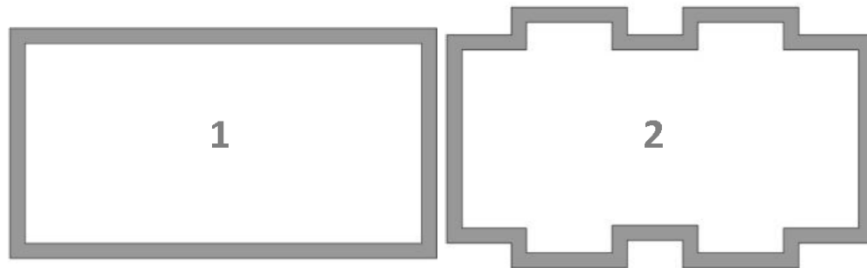
A forma de um edifício é um dos factores que tem influência sobre sua eficiência energética. Para contribuir positivamente para a eficiência energética, este deve ter uma relação Superfície<sup>20</sup>/Volume (S/V) o menor possível, pois quanto menor a área da superfície da envolvente exterior em relação ao volume, menor é a área onde ocorrem os fluxos energéticos entre o interior e o exterior e menores são os fluxos.

<sup>19</sup> Disponível em [www.meteo.pt/pt/areaeducativa/otempo.eoclima/clima.pt/index.html](http://www.meteo.pt/pt/areaeducativa/otempo.eoclima/clima.pt/index.html).

<sup>20</sup> Superfície em contacto com o exterior ou locais interiores não aquecidos.

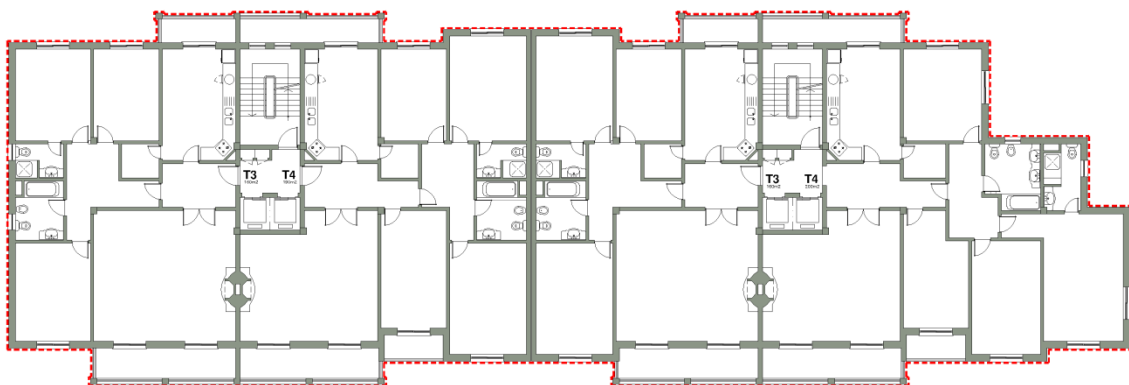
Por exemplo, na Figura 6.4:  $A_1=A_2$  e, tendo em conta que a altura é igual,  $V_1=V_2$ . No entanto,  $S_1 < S_2$ , logo  $S_1/V < S_2/V$ , tendo o primeiro caso um factor de forma preferível ao do segundo.

Figura 81 - Duas áreas equivalentes com factores de forma distintos.



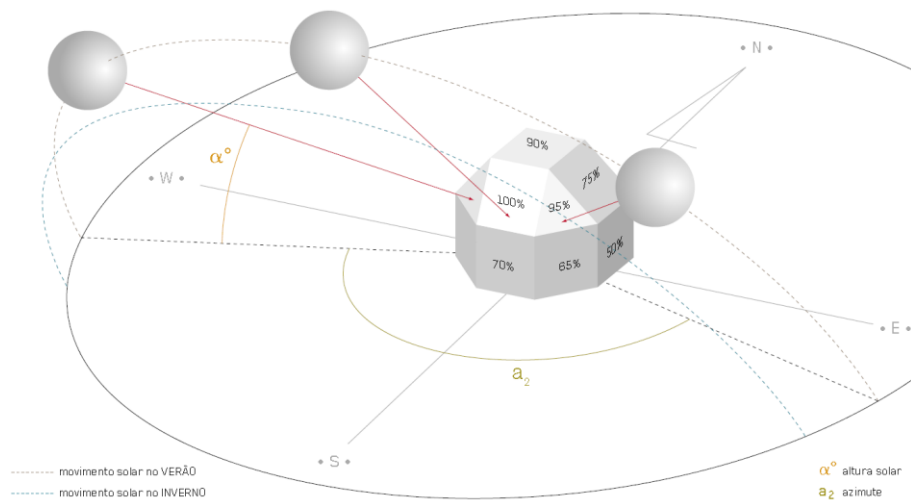
A figura seguinte permite observar, que as fachadas têm uma superfície “recortada”, o que significa que a forma do edifício é um dos factores que tem influência sobre sua eficiência energética. Para contribuir positivamente para a eficiência energética, este deve ter em conta a análise do sombreamento, relativo aos corpos salientes do edifício bem como a edificação circundante.

Figura 82 - Configuração do conjunto habitacional.



O resultado da análise do sombreamento é a silhueta da sombra causada pelo meio circundante no mapa da trajectória solar, (figura 83). O impacto da sombra nos sistemas fotovoltaicos depende essencialmente do número de módulos sombreados, do grau de sombreamento e da distribuição espacial e curso de sombra durante o tempo.

Figura 83 - O desempenho do painel fotovoltaico de acordo com a sua posição em relação ao sol.



O edifício encontra-se implantado a uma cota de altimétrica de 556m, e com uma excelente exposição solar Nascente/Sul. Não existindo sombreamento de edificações contíguas ou envolventes, tendo a sul o Hotel Tryp Dona Maria a 15 metros afastamento, a uma cota muito inferior.

## 6.4. Características a levantar do local da instalação

O primeiro objectivo que devemos ter, quando intervimos no metabolismo energético da cidade é, sem qualquer dúvida, aumentar a eficiência energética do meio edificado e da mobilidade.

Devemos ao desenvolvimento tecnológico a nossa total dependência energética, mas também lhe devemos a oportunidade de recorrermos às energias renováveis para satisfazermos esta nossa dependência.

A energia do sol que incide sobre a cidade é, provavelmente, a principal fonte renovável à qual teremos acesso. E esta energia incide sobre todos os telhados, sobre as fachadas orientadas a Nascente, Sul e Poente, todas as ruas, praças e jardins... é uma energia à qual todos podemos aceder.

Estão em pleno desenvolvimento as tecnologias que nos permitem transformar essa energia do sol em electricidade, e a electricidade é, nos tempos em que vivemos, a forma de energia mais versátil. São as células fotovoltaicas, que nos permitem fazer essa transformação da

energia solar em electricidade, que começam a entrar no vocabulário visual das nossas cidades e que representam certamente uma nova moeda, porque tornam possível o acesso a uma nova riqueza - riqueza que pode pertencer a todos.

Podemos colocar as células fotovoltaicas nas fachadas, sobre aos telhados, sobre toldos e guarda-sois, sobre candeeiros, nas mochilas dos nossos filhos, em T-shirts, em chapéus e em muitos outros equipamentos e utensílios que utilizamos no nosso quotidiano.

Neste contexto colocamos enfoque nas células fotovoltaicas que podemos integrar nas fachadas de edifícios.

As células fotovoltaicas são integradas em elementos construtivos constituídos por vidro e caixilharia de alumínio, e podem servir de sombreamento, de janela ou de elemento decorativo nas fachadas de edifícios. É importante que a área em que estão integradas as células não sofra sombras projectadas, uma vez que é apenas a incidência dos raios solares que desencadeia o processo e resulta numa corrente eléctrica.

É importante adequarmos a electricidade produzida aos usos que nela se vão abastecer... ou seja: não faz sentido tentarmos alimentar uma lâmpada incandescente através de um sistema fotovoltaico porque a quantidade de electricidade produzida é pequena e carece de ser aproveitada por equipamentos extremamente eficientes.

Faz sentido, sim, utilizar esta energia produzida para alimentar ópticas LED (light emitting diode) e outros equipamentos extremamente eficientes, já disponíveis no mercado. Também não faz sentido, um edifício todo de vidro (que passa o inverno a aquecer o todo o resto do ano a arrefecer... a não ser que o vidro seja tão evoluído que tenha um desempenho de parede) ser munido de uma fachada com células fotovoltaicas - o contributo das células é eliminado através do consumo exorbitante do próprio edifício.

Se temos acesso a fontes de energia renováveis precisamos de utilizar a energia resultante em edifícios, em sistemas e em equipamentos extremamente eficientes.

Portugal é um dos países na Europa com mais horas de sol. Logo que tivermos em consideração que o sol é uma fonte de riqueza e nos preparemos para a transformar também em riqueza económica, estaremos entre os países mais ricos da Europa.

### 6.4.1. Análise de potenciais sombreamentos

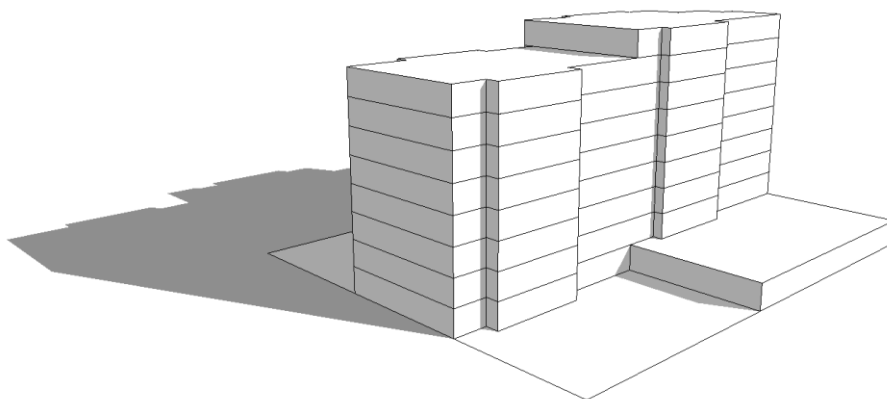
A projecção de sombras sobre um sistema fotovoltaico tem efeito muito maior na produção de energia, do que para o caso dos sistemas solares térmicos e, como tal, terá de ser efectuada, na fase prévia do projecto, uma análise detalhada dos possíveis sombreamentos que poderão ocorrer.

No que diz respeito à classificação do tipo de sombreamentos, existem três tipos distintos:

- Sombreamento temporário: derivado tipicamente da presença da neve, de folhas e sujidade;
- Sombreamento em consequência da localização: compreende todo o sombreamento produzido pela envolvente do edifício;
- Sombreamento produzido pelo edifício: as sombras geradas por este envolvem sombras constantes e, como tal, devem ser considerados.

O resultado da análise do sombreamento é a silhueta da sombra causada pelo meio circundante no mapa da trajectória solar. O impacto da sombra nos sistemas fotovoltaicos depende essencialmente do número de módulos sombreados, do grau de sombreamento e da distribuição espacial e curso de sombra durante o tempo.

Figura 84 - Ângulo horizontal do Sol com a fachada Nascente.



## 6.5. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autónomos

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo tem de ser executado de forma muito criteriosa, uma vez que será necessário estabelecer um custo geral relativamente equilibrado, bem como será necessário estabelecer critérios de dimensionamento adequados. Instalações super dimensionadas levam a custos de instalação muito altos que podem inviabilizar o projecto. Ao contrário, instalações subdimensionadas levam ao descrédito da tecnologia.

O procedimento que deve ser seguido envolve alguns processos de avaliação:

- Avaliação da viabilidade técnica atendendo ao recurso solar disponível no local;
- Avaliação das necessidades energéticas para alimentar as cargas, tendo em conta as opções que conduzem à poupança de energia;
- Desenvolvimento conceptual do sistema;
- Avaliação da radiação solar disponível de forma detalhada;
- Dimensionamento dos principais componentes do sistema;
- Selecção dos componentes;
- Revisão do projecto e do dimensionamento do sistema.

### 6.5.1. Avaliação da viabilidade técnica

Como primeiro passo no processo de instalação de um sistema fotovoltaico, terá de ser realizada uma avaliação da viabilidade técnica do projecto, ou seja, o projecto deverá oferecer garantias de ser economicamente vantajoso.

A avaliação das necessidades energéticas de um sistema constitui um passo importante na fase inicial de um projecto, uma vez que a previsão da energia consumida no sistema fotovoltaico autónomo irá influenciar todo o seu projecto. Convém, portanto, realizar uma análise da utilidade que se vai dar à instalação, como por exemplo, no caso de casas isoladas, deve especificar-se se vai ser utilizada os sete dias da semana ou somente aos fins-de-semana e em que alturas do ano.

Deve também ser ponderada a utilização de possíveis alternativas para a satisfação de consumos de cargas não eléctricas, principalmente aquelas que requerem elevadas quantidades de energia, como é o caso do aquecimento de água, em que será preferível utilizar energia solar térmica. A substituição de equipamentos convencionais por equipamentos que apresentem baixos consumos de energia, como é o caso das lâmpadas devem também ser ponderado, bem como a utilização de cargas alimentadas em CC.

Deve-se proceder a uma listagem onde conste a potência de cada equipamento que vai ser utilizado, bem como uma estimativa do número de horas que esse mesmo equipamento irá estar em funcionamento, para que seja possível efectuar o cálculo da energia consumida pelas cargas. Através da análise detalhada desta listagem, será possível identificar as cargas que mais consomem energia e, como tal, poderá ser efectuado um estudo de possíveis alternativas de as alimentar.

## 6.5.2. Dimensionamento e eficiência dos componentes do sistema

A maioria dos sistemas fotovoltaicos autónomos são concebidos para satisfazer os consumos durante todo o ano, incluindo o mês de menor radiação solar disponível. Desta forma o ângulo da inclinação do painel deve ser o que permite maximizar a radiação incidente no plano do painel, extraíndo assim a máxima potência do painel para o mês em que a radiação solar é mais baixa. No sistema fotovoltaico autónomo, os componentes que fazem parte do sistema são os painéis fotovoltaicos, inversores, baterias, reguladores de carga e cabos, componentes esses que terão de ser dimensionados individualmente.

A eficiência de um sistema fotovoltaico depende de:

- Eficiência dos vários componentes do sistema;
- Interligação e coordenação entre si;
- Tipo de cargas que o sistema pretende alimentar.

O valor nominal do rendimento é fornecido pelo fabricante. Caso não seja fornecido directamente pode ser deduzido a partir da potência de pico e da área do painel. A potência de pico é a máxima potência (MPP) que o painel consegue debitar em condições de teste standard.

$$hp=100*Pp/A$$

hp-rendimento do painel (%)

Pp - potência de pico do painel (kWp)

A - área do painel (m<sup>2</sup>)

O rendimento e a potência de pico devem ser calculadas para as condições STC (standard test conditions) radiância solar de 1kW/m<sup>2</sup> e a uma temperatura de 25°C. As perdas na bateria são devidas essencialmente a dois factores: auto descarga da bateria e nível de tensão demasiado alto, impedindo que o painel esteja no seu ponto de funcionamento de máxima potência. Para corrigir este último tipo de perdas deve proceder-se a um correcto dimensionamento do regulador de carga.

As perdas do inversor dependem da magnitude e das características da carga que está a alimentar.

Para avaliar a eficiência global do sistema são consideradas duas componentes:

Rendimento das fontes de energia considera que o sistema está a funcionar com uma performance de 100% sendo independente da carga. Ou seja, para um determinado sistema, o melhor rendimento é aquele que corresponde apenas ao rendimento dos geradores não considerando qualquer da aparelhagem que complementa o sistema, sendo ignoradas as perdas nas baterias, carregadores, inversores etc. Assim a energia de saída das fontes de energia será:

$$E_{sf} = E_s \cdot h_p \cdot A$$

$E_{sf}$  é a energia de saída da fonte de energia (kW/year)

$E_s$  é a energia solar (kWh/m<sup>2</sup>/ano)

Índice de performance (PR, performance ratio) sendo este o valor percentual que mede o afastamento do desempenho do sistema em relação às condições óptimas de funcionamento. Este Índice dá uma medida da razão entre a energia realmente consumida pelas cargas e a energia que o sistema é capaz de produzir.

Este índice de performance tem valores que dependem do tipo de sistema a alimentar. A energia fornecida à carga será dada por:

$$E_{ss} = PR \cdot E_s \cdot h_p \cdot A$$

$E_{ss}$  é a energia fornecida à carga (kWh/ano)

PR é o Índice de performance

### 6.5.3. A solução/Projecto

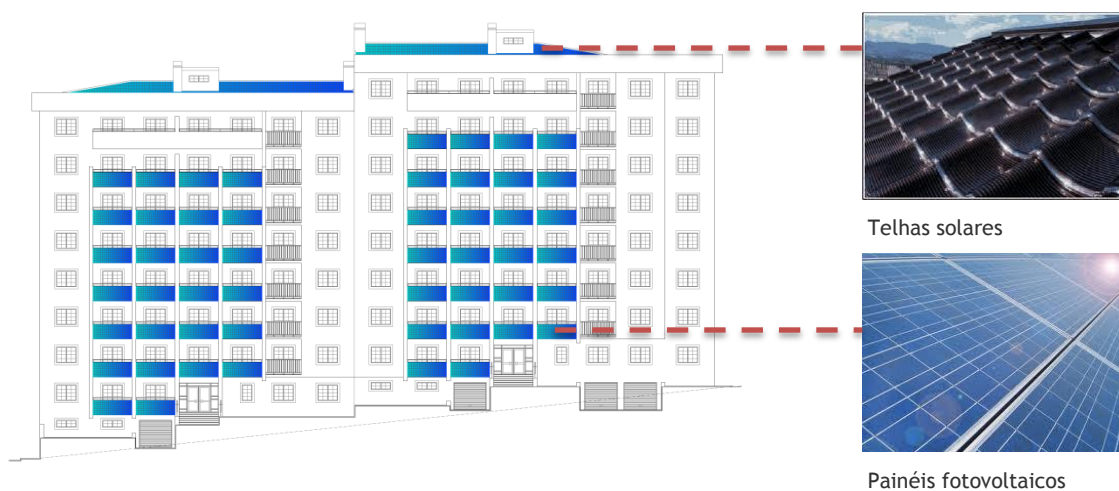
Neste subcapítulo, todas as soluções escolhidas satisfazem os objectivos e requisitos anteriormente descritos. A comparação realizada entre elas refere-se apenas às vantagens que uma solução possa apresentar em relação a outra, que acima foram expostas com mais detalhe no subcapítulo correspondente a cada solução.

No estudo de caso, as soluções escolhidas tiveram como base, a integração da tecnologia fotovoltaica na arquitectura, e não tanto o cálculo energético da solução, se bem que está subjacente a solução proposta, que se pretende sustentável.

As figuras seguintes apresentam as soluções propostas para cada fachada.

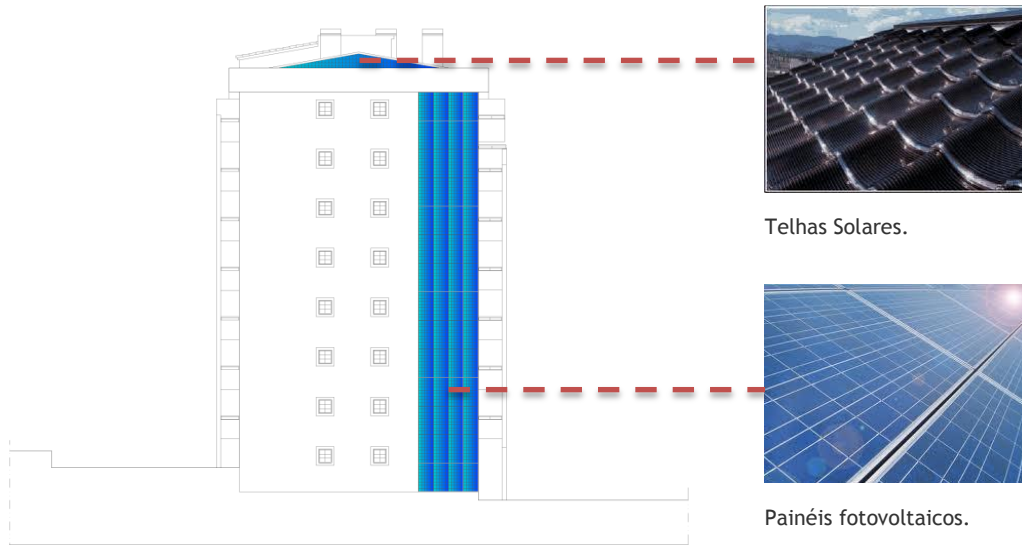
Uma das características da edificação, são as varandas salientes do corpo principal enquadradas numa métrica regular com a estrutura e vãos envidraçados. Estas zonas de pano de alvenaria nus, “diga-se sem revestimento decorativo”, foram as zonas escolhidas para a colocação dos painéis fotovoltaicos, permitindo assim o pleno enquadramento do ponto de vista arquitectónico, quer do ponto de vista visual. Propôs-se também a substituição das telhas cerâmicas pelas fotovoltaicas, tirando assim partido de maior aproveitamento energético, visto que a rentabilidade dos painéis é menor que o habitual, devido ao azimute.

Figura 85 - Alçado Nascente/Solução proposta.



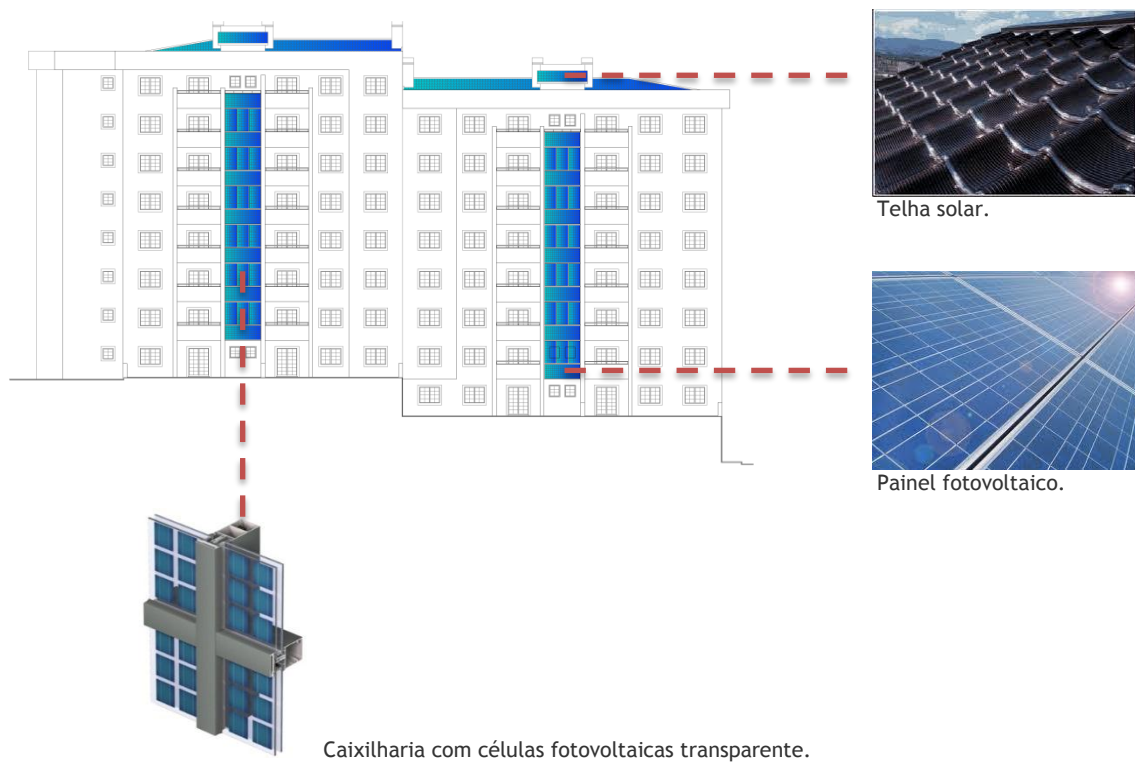
Na fachada Sul de linhas direitas e sem corpos salientes, foram colocados painéis fotovoltaicos, melhorando o desempenho energético da edificação. A sua localização junto ao cunhal deve-se ao melhor aproveitamento solar, Nascente/Sul.

Figura 86 - Alçado Sul/Solução proposta.



Na fachada Poente idêntica à oposta (Nascente), também ela recortada e com corpos salientes, propor-se a colocação de painéis fotovoltaicos nos panos de alvenaria das varandas conjugada com uma caixilharia com células fotovoltaicas translúcidas, permitindo o desempenho energético e a criação de uma zona resguardada para estendal, visto ser uma das lacunas da edificação.

Figura 87 - Alçado Poente/Solução proposta.



O alçado Norte, sendo uma fachada desfavorecida a radiação solar não foi alvo de intervenção no presente estudo.

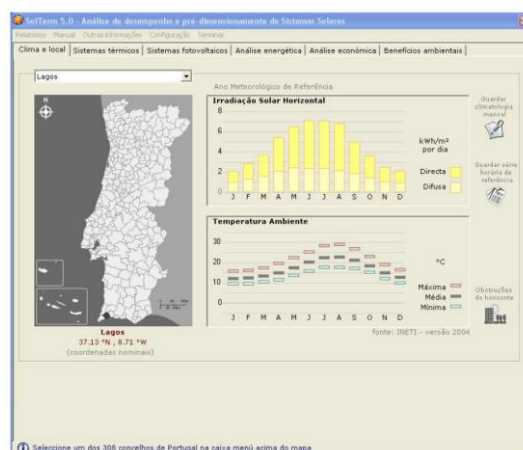
## 6.6. Programas de simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos

Os simuladores de sistemas fotovoltaicos utilizam modelos de fluxo energético que demonstram a interacção dos componentes constituintes do sistema. Os primeiros programas de simulação foram desenvolvidos nos EUA.

No mercado encontra-se uma grande variedade de programas de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos que utilizam diferentes metodologias. Estes programas são de grande importância quando se pretende projectar um sistema fotovoltaico. A maior parte dos programas possuem uma base de dados de radiação solar e, em alguns casos, de temperatura ambiente. Em alguns, existe a possibilidade de importar dados meteorológicos. De seguida apresentam-se alguns dos programas de simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos mais utilizados.

- **Solterm:** é um programa de análise do desempenho de sistemas solares elaborado pelo laboratório do Estado Português na área da Energia e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal.

Figura 88 - Interface do Solterm V5.0



(Manual Solterm V5.0)

- **PV F-CHART:** este programa projecta e analisa sistemas fotovoltaicos, realizando cálculos para determinar o comportamento do sistema, através de métodos desenvolvidos na *University of Wisconsin* tendo em conta as variações da radiação e das cargas.

- **SolSim:** foi desenvolvido na Alemanha e é uma ferramenta para simulação, análise e optimização de sistemas fotovoltaicos ligados à rede e autónomos híbridos. Permite a combinação com geradores eólicos, biomassa e biogás. Não possui base de dados de valores de radiação.

- **RETScreen:** é um programa de análise para projectos de energias renováveis desenvolvido em *Mircosoft Excel*. Este programa engloba as áreas: fotovoltaica, eólica, pequenas centrais hidroeléctricas, aquecimento solar de ar e água, biomassa e bombas geotérmicas. É utilizado para a realização de estudos preliminares. Na área fotovoltaica pode determinar para os três tipos básicos de aplicações (sistemas ligados à rede, sistemas autónomos e bombeamento de águas) os custos de produção de energia e redução de gases emitidos. As configurações de sistemas híbridos simples também podem ser avaliados

- **PVSYST:** Este *software* foi desenvolvido em 1991 pela *Université de Genève* e permite trabalhar com diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial de representação até um sistema detalhado de simulação. Apresenta também uma ferramenta adicional, tridimensional, que tem em conta as limitações do horizonte e de objectos que possam criar sombras sobre os painéis fotovoltaicos.

## 6.7. Impacto ecológico

A tecnologia fotovoltaica é uma excelente opção tecnológica e poderá contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável. Ao contrário dos recursos fósseis, trata-se de uma tecnologia modular que apresenta emissões de gases de efeito de estufa e de poluentes praticamente nulos, assim como apresenta baixos níveis de ruído e não necessitam de uma manutenção exigente.

Apesar de não necessitarem de combustível para o seu funcionamento nem apresentarem emissões prejudiciais, deverão ser avaliadas questões relativas ao consumo de energia durante os processos de fabrico do equipamento, os fluxos de material e as possibilidades de reciclagem dos materiais.

### 6.7.1. Avaliação dos fluxos de energia

Durante os processos industriais de produção de módulos solares, diversas formas de utilização de energia são efectuadas. Para o fornecimento de energia ao sistema eléctrico público, a produção nacional de energia eléctrica consome, sob a forma de carvão, petróleo e de gás natural, cerca de 2,5 vezes a quantidade de energia entregue ao consumo final. Até à utilização final da energia existem vários passos de conversão energética. O processo de fabrico dos módulos fotovoltaicos exige um consumo muito elevado de energia, como se pode observar na figura.

### 6.7.2. Reciclagem de materiais

É possível efectuar a reciclagem dos módulos fotovoltaicos que deixam de ser utilizados devido a falhas e estragos. Os módulos são reciclados e de seguida são re-introduzidos no ciclo do material, especialmente para os casos do vidro e do silício que constituem os módulos.

## 7. Conclusões

A evolução da tecnologia fotovoltaica pode-se catalogar em três distintas gerações. Sendo a primeira geração caracterizada pelas células de silício cristalino, que dominam o mercado fotovoltaico mundial actual (cerca de 90%). As células de segunda geração são as células de película fina, encabeçadas pelas células de silício amorfo, e que têm vindo a sofrer um forte interesse por parte dos produtores, especialmente devido à necessidade de redução de utilização do silício e também devido ao facto de serem mais leves e portanto poderem constituir sistemas fotovoltaicos integrados em fachadas. As células de terceira geração são as células que se encontram ainda em fase laboratorial, em que se pretende criar novos conceitos de células, especialmente no que diz respeito a aumentos significativos de eficiência de conversão por parte das células fotovoltaicas.

É de esperar que com o progressivo crescimento da tecnologia fotovoltaica e obtenção de uma competitividade perante as outras fontes de energia convencionais, bem como da produção massiva de módulos, os custos associados venham a decrescer significativamente.

O mercado fotovoltaico Europeu é encabeçado pela Alemanha. A Itália e a Espanha constituem uma segunda linha no mercado fotovoltaico. Portugal, juntamente com a Espanha e a Grécia situam-se numa terceira linha, o que de facto é estranho e incoerente, na medida em que nestes países existem condições de radiação solar muito boas, bem como políticas de apoio favoráveis.

Desde 1999, o governo Alemão tem seguido uma estratégia consistente de lançamento da energia fotovoltaica no mercado. Pelo efeito de impulso do mercado, foram accionados enormes investimentos de mais de um bilião de euros em novas fábricas de energia fotovoltaica. Desenvolveu-se uma indústria de energia fotovoltaica e milhares de novos empregos têm vindo a ser criados. Em paralelo, as investigações e o desenvolvimento foram intensificados e a tecnologia e o conhecimento têm sido desenvolvidos. A Alemanha conquistou a segunda posição, atrás do Japão, dentre todos os mercados de energia fotovoltaica do mundo com a implementação do programa 100.000 Telhados, sendo que, mais recentemente, conseguiu ultrapassar o Japão.

Portugal apresenta portanto metas bem ambiciosas no que diz respeito à capacidade de potência fotovoltaica. Além das boas condições de exploração do fotovoltaico, há uma necessidade de se criarem condições de auto-suficiência energética, uma vez que Portugal depende fortemente da importação de energia do estrangeiro, e consome muita energia derivada de combustíveis fósseis.

A aposta do fotovoltaico em Portugal apresenta quatro tipos de benefícios muito importantes nos dias de hoje: benefícios sócio-económicos, ecológicos e ambientais, energéticos e arquitecturais.

Vendo o percurso do mercado fotovoltaico em geral desde o seu início, e tendo em conta o que se espera venha a acontecer nos próximos anos, podemos resumir a sua evolução a quatro momentos bem definidos no tempo:

- **1960 - 1980:** fase das primeiras aplicações comerciais, apenas em nichos de mercado muito específicos. É a época das células solares espaciais, e as três maiores potências económicas da altura são actores quase exclusivos: os Estados Unidos, pelo seu programa espacial dos Estados Unidos, a Alemanha, onde a Siemens foi precursora, e o Japão;

- **1980 - 2000:** fase de investigação e desenvolvimento, impulsionada pelas grandes crises petrolíferas. Os três actores principais mantêm-se: os EUA lançam programas de apoio a sistemas autónomos nos anos 80, e o Japão segue o exemplo a meio da década de 90, com a primeira política industrial de fundo e o programa dos 70000 telhados (300MW). A Alemanha começa por lançar uma iniciativa piloto de 1000 telhados (7MW), e implementa depois, em finais do século, a primeira tarifa bonificada para sistemas fotovoltaicos. No âmbito dessa iniciativa foi até hoje instalada uma potência superior a 1000MW;

- **2000 - 2020:** a fase actual é de transição, estão a ser criadas as bases para a competitividade em todos os segmentos de mercado. Novos países, entre os quais a maioria dos estados europeus, têm lançado iniciativas de apoio de forma a tornar a instalação de painéis economicamente viável. Há sinais cada vez mais fortes de que as condições de competitividade dos sistemas fotovoltaicos possam ser atingidas antes de 2020.

- **2020 - 2040:** será a fase em que a tecnologia parte à conquista do mercado mundial, já como alternativa real às tecnologias convencionais de produção eléctrica. A partir dessa altura é difícil prever até onde irá o uso dos sistemas fotovoltaicos, mas há previsões que apontam para que em 2100, 70% da electricidade mundial seja produzida a partir do sol.

## 8. Referências Bibliográficas

- K.Scharmer and J.Greif, “The European Solar Radiaton Atlas”, École des Mines de Paris, 2000
- Josué Lima Morais, “Sistemas Fotovoltaicos: da teoria à prática”, 2009.
- “Energia Fotovoltaica Manual sobre tecnologias, projecto e instalação”, manual desenvolvido no projecto GREENPRO entre Fevereiro de 2002 e Janeiro de 2004.
- Susana Sofia Alves Freitas, “Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos”, Relatório de projecto de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Novembro de 2008.
- Rui M.G. Castro, “Introdução à Energia Fotovoltaica”, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Maio de 2008.
- “REACT Renewable Energy Action - The 100.000 Roofs Programme”, Altener 2002
- “The German PV Solar Power Financing Schemes Reflected on the German PV Market”, 3rd World Conference on PV Energy, Osaka, Japan, 2003.
- Emanuel Dâmaso Rodrigues Brinquete Proença, “A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal - Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Agosto de 2007.
- Filipe Fernandes dos Santos, “Utilização de Energia Fotovoltaica para a Eficiência Energética de uma Moradia”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Janeiro de 2011.
- Francisco José Abrunhosa Dias, “Soluções técnicas para o projecto de edifícios de habitação incorporando produção própria de energia”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Janeiro de 2009.
- Mariana Couto Brito, “Reabilitação de Fachadas e o seu Contributo Energético”, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Outubro 2010.
- Santos, C. A., & Matias, L. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC.
- Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em <http://www.apambiente.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.
- Wines, J. (2008). Green Architecture. Cologne: TASCHEN GmbH
- Troque de Energia. Disponível em <http://troquedeenergia.com/>. Último acesso em Outubro de 2011
- Jumanji Solar. Disponível em <http://www.jumanjisolar.com/>. Último acesso em Outubro de 2011.
- Futur Solutions - Sistemas Eléctricos. Disponível em <http://www.fotursolutions.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.
- ENERGLOBO - Energias Renováveis. Disponível em <http://www.energlobo.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.
- Renováveis na Hora. Disponível em <http://www.renovaveisnahaora.pt/>. Último acesso em Outubro e Setembro de 2011.

Solar Project - Soluções de Energia Solar. Disponível em <http://www.solarproject.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.

SAPA. (2011). BIPV modules, cells, package / What are Building Integrated Photovoltaics / sapa solar bipv, de BIPV cells - pv modules, BIPV projects, Building integrated photovoltaics by Sapa Solar: <http://www.sapa-solar.com>. Último acesso em Outubro e Setembro de 2011.

IEA - Photovoltaic Power Systems Programme. Disponível em <http://www.iea-pvps.org/>. Último acesso em Outubro de 2011.

EPIA - European Photovoltaic Industry Association. Disponível em <http://www.epia.org/>. Último acesso em Setembro de 2011

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. Disponível em <http://www.dgge.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.

SPES - Sociedade Portuguesa de Energia Solar. Disponível em <http://www.spes.pt/>. Último acesso em Outubro de 2011

Portal das Energias Renováveis. Disponível em <http://www.energiasrenovaveis.com/>. Último acesso em Outubro de 2011

APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis. Disponível em <http://www.apren.pt/>. Último acesso em Outubro de 2011

My Solar Power. Disponível em <http://www.mysolar.com.au/>. Último acesso em Outubro de 2011.

BP Solar. Disponível em <http://www.bpsolar.com/>. Último acesso em Setembro de 2011.

EDP Renováveis. Disponível em <http://www.edprenovaveis.com/>. Último acesso em Outubro de 20110.

ADENE - Agência para a Energia. Disponível em <http://www.adene.pt/ADENE.Portal/>. Último acesso em Outubro de 2011.

MEID - Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Disponível em <http://www.legislacao.min-economia.pt/>. Último acesso em Outubro de 2011.

SMA Solar Technology. Disponível em <http://www.sma.de/>. Último acesso em Setembro de 2011.

FF Solar Sistemas de Energia Alternativas. Disponível em <http://www.ffiSolar.com/>. Último acesso em Setembro de 2011.

EDP Distribuição. Disponível em <http://www.edpdistribuicao.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.

LORENTZ Solar Pumps, Solar Trackers, PV Modules, Solar Parks. Disponível em <http://www.lorenz.de/>. Último acesso em Outubro de 2011.

SUNPOWER Corporation. Disponível em <http://us.sunpowercorp.com/>. Último acesso em Setembro de 2011.

Schletter GmbH - Solar Montage systeme. Disponível em <http://www.schletter.de/>. Último acesso em Outubro de 2011.

SINERSOL Energias Alternativas. Disponível em <http://www.sinersol.pt/>. Último acesso em Setembro de 2011.

Microgeração de Energia. Disponível em <http://www.microgeracaodeenergia.com/>. Último acesso em Setembro de 2011.

SolTerm 5.0”, manual informativo do software SolTerm 5.0 desenvolvido no Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Informação, Fevereiro de 2007

PV F-CHART: FV Systems Analysis. Disponível em <http://www.fchart.com/pvfchart/>. Último acesso em Outubro de 2011.

SolSim: Luzchem Solar Simulator. Disponível em <http://www.luzchem.com/>. Último acesso em Outubro de 2011.

RETSreen Internacional: Empowering Cleaner Energy Decisions. Disponível em <http://www.retscreen.net/ang/home.php>. Último acesso em Outubro de 2011.

PVSYST: Software for photovoltaic Systems. Disponível em: <http://www.pvsyst.com/>. Último acesso em Outubro de 2011.

PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System. Disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. Último acesso em Outubro de 2011.

INETI. (2006). Edifício SOLAR XXI, Um edifício energeticamente eficiente em Portugal . Lisboa.

## **9. Anexos**

### **9.1. Peças Desenhadas/Projecto**