

# **Eficiência Energética no Edifício Engenharias I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro**

Por

Miguel de Oliveira Duque Chã de Almeida

**Orientador:** Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

**Co-orientador:** Doutor José Boaventura Ribeiro da Cunha

Dissertação submetida à  
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO  
para obtenção do grau de  
MESTRE  
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no  
DR – I série–A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março e no  
Regulamento de Estudos Pós-Graduados da UTAD  
DR, 2.ª série – Deliberação n.º 2391/2007



# **Eficiência Energética no Edifício Engenharias I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro**

Por

Miguel de Oliveira Duque Chã de Almeida

**Orientador:** Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

**Co-orientador:** Doutor José Boaventura Ribeiro da Cunha

Dissertação submetida à  
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO  
para obtenção do grau de  
MESTRE  
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no  
DR – I série–A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março e no  
Regulamento de Estudos Pós-Graduados da UTAD  
DR, 2.ª série – Deliberação n.º 2391/2007



*Orientação Científica :*

**Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos**

Professor Auxiliar c/Agregação da Escola de Ciências e Tecnologia da UTAD do  
Departamento de Engenharias  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Doutor José Boaventura Ribeiro da Cunha**

Professor Auxiliar c/Agregação da Escola de Ciências e Tecnologia da UTAD do  
Departamento de Engenharias  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro



*”Viver é como andar de bicicleta: é preciso estar em constante movimento para manter o equilíbrio.”*

***Albert Einstein***

*”Não arriscar nada é arriscar tudo.”*

***Al Gore***

*Aos meus pais, **Maria de Lurdes e Alberto***



UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO  
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Os membros do Júri recomendam à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro a aceitação da dissertação intitulada “**Eficiência Energética no Edifício Engenharias I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro**” realizada por **Miguel de Oliveira Duque Chã de Almeida** para satisfação parcial dos requisitos do grau de **Mestre**.

28 de Janeiro de 2013

Presidente: **Doutor Salviano Filipe Pinto Soares,**  
Direcção do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores do Departamento de Engenharias da Universidade  
de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vogais do Júri: **Doutor João Paulo Coelho,**  
Professor Adjunto do Departamento de Electrotecnia da Escola  
Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de  
Bragança

**Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos,**  
Professor Auxiliar c/Agregação da Escola de Ciências e Tecnologia  
da UTAD do Departamento de Engenharias da Universidade de  
Trás-os-Montes e Alto Douro

**Doutor José Boaventura Ribeiro da Cunha,**  
Professor Auxiliar c/Agregação da Escola de Ciências e Tecnologia  
da UTAD do Departamento de Engenharias da Universidade de  
Trás-os-Montes e Alto Douro



# Eficiência energética no edifício Engenharias I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

*Miguel de Oliveira Duque Chã de Almeida*

Submetido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

**Resumo** — Pretendeu-se saber o que, no edifício do Engenharias I, localizado no campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), poderia ser realizado de modo a aumentarem-se os seus índices de Eficiência Energética (EE).

Foram identificados, para este estudo, três vetores que poderão descrever os principais alvos a estudar, de modo a encontrarem-se as tão esperadas melhorias e o conseqüente aumento dos índices de eficiência energética no edifício. Numa fase inicial do estudo, foram apresentados os estados de arte dos vetores identificados: climatização, iluminação e energia (solar térmica e fotovoltaica). Numa segunda fase foi necessário aprofundar o conhecimento sobre o modo como o edifício é climatizado, iluminado e alimentado eletricamente. Para este efeito foram realizadas várias visitas técnicas que permitiram, numa terceira fase, a apresentação de soluções que visam melhorar os índices de eficiência do edifício em estudo.

Para a climatização, identificou-se a necessidade de, na central térmica, melhorar o controlo dos circuladores do secundário do coletor, visto ter-se constatado que funcionariam muito dependentes de ação humana. No edifício, a urgente operacionalização do quadro de controlo das UTA's assim como a introdução de equipamentos do tipo cronotermóstatos nos espaços climatizados. Na produção de frio sugeriu-se a substituição, no chiller, de momento inoperacional, do gás R22 pelo R-438A, dando assim resposta ao Protocolo de Montreal.

Apresentaram-se alternativas mais eficientes para a iluminação artificial e natural existente no edifício. A introdução das tecnologias LED assim como os tubos solares, foram aqui também sugeridas.

Para o vetor energia, a instalação de um sistema solar térmico para a produção de AQS no bar foi, neste documento e para os consumos realizados diariamente, demonstrado vantajosa. A tecnologia da bomba de calor, para o mesmo fim, tendo como apoio o sistema solar térmico, foi também neste documento sugerida.

Todos nós temos, invariavelmente, responsabilidades em temas como o da Eficiência Energética e o do Aquecimento Global. Se cada um de nós fizer as escolhas mais adequadas de equipamentos e alterarmos o modo como consumimos a energia, como conduzimos, entre outras ações, podemos baixar as nossas emissões pessoais de carbono para valores que permitam contribuir para um desenvolvimento sustentável.

**Palavras Chave:** Eficiência Energética, Utilização Racional de Energia, Climatização e Iluminação Eficiente, Energia Solar Térmica e Fotovoltaica, Sistemas Off e On-grid, Microprodução e Miniprodução fotovoltaica.

# Energetic efficiency of the Engenharias I building at the University of Trás-os-Montes e Alto Douro

*Miguel de Oliveira Duque Chã de Almeida*

Submitted to the University of Trás-os-Montes and Alto Douro  
in partial fulfillment of the requirements for the degree of  
Master of Science in Electrical Engineering and Computers

**Abstract** — The purpose was to find out what could be done to increase the Energetic Efficiency (EE) levels of the Engenharias I building, located at the campus of the University of Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).

Three vectors were identified for this study, which we believe can lead to improvements, thus increasing the efficiency levels: climatization, lighting and energy (thermal and photovoltaic solar energy). At first, each vector's state of the art was identified. The second step consisted in deepening the knowledge on how the building is climatized, lightened and electronically fed and for that several technical visits were carried out which allowed, on a third step, the presentation of solutions to improve the efficiency levels related with these issues.

For the climatization, we felt the need to improve the control of the circulators of the secondary collector at the thermal central for it was clear that they were too dependent on human control. In the building, it was urgent to put to use the UTA's control board, as well as the introduction of chronothermostat type equipments in the climatized spaces. In the production of cold, it was suggested the replacement of the R22 gas for the R-438A, in the chiller (inoperable at the moment), thus meeting the requirements of the Montreal Protocol.

More efficient alternatives for the artificial and natural lighting of the building were also presented. The introduction of LED technologies as well as solar tubes was also suggested.

For the energy vector, the installation of a thermal solar system for the production of AQS at the bar, in this document and for the current daily consumptions, was

shown to be advantageous. The heat pump technology, for the same purpose, having the support of the thermal solar system, was also suggested.

Taking into consideration the important role that we all invariably have in such themes as Energetic Efficiency and Global Warming, if each and every one of us makes the right choices and change the way we purchase equipments, consume energy, drive our vehicles and so on, we could lower our individual carbon emissions to a sustainable development.

**Key Words:** Energetic Efficiency, Rational Use of Energy, Efficient Lighting and Climatization, Thermal and Photovoltaic Solar Energy, Off and On-grid Systems, Photovoltaic Microproduction and Miniproduction.

# Agradecimentos

---

Um profundo agradecimento ao meu orientador, o Prof. Raul Morais dos Santos, pela global orientação e infinita disponibilidade. Ao Prof. Boaventura Cunha, um muito obrigado também pela revisão final ao documento.

Ao Sr. Nóbrega e Sr. Santos, técnicos de manutenção na UTAD, um agradecimento especial também, pela enorme paciência quando, com enorme paixão, me apresentaram os espaços e equipamentos relevantes ao desenvolvimento deste trabalho.

Para as amigas *facebookianas* Adriana Fascina, Camila Lamarão, Catarina Gil, Catarina Veiga, Rita Ferreira e Mónica Marques, que numa fase inicial do trabalho, através do Facebook, apresentaram e deram a conhecer as suas ideias sobre o tema da eficiência energética, um especial abraço.

À Joana, pelo seu tempo, um especial obrigado. À Rita, pela amizade que nos une, um emocionado agradecimento.

Finalmente, um eterno obrigado aos meus pais, Maria de Lurdes e Alberto.

UTAD,  
Vila Real, 7 de Outubro de 2012

Miguel de Oliveira Duque  
Chã de Almeida



# Índice geral

---

Resumo	xi
<i>Abstract</i>	xiii
Agradecimentos	xv
Índice de tabelas	xxi
Índice de figuras	xxiii
Glossário, acrónimos e abreviaturas	xxvii
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos e motivação . . . . .	5
1.2 Estrutura da dissertação . . . . .	6
1.3 Eficiência energética . . . . .	7
1.4 Panorama e legislação nacional e europeia . . . . .	8
1.5 Conforto térmico e visual . . . . .	22
1.6 Edifícios energeticamente eficientes . . . . .	25
1.7 Tecnologias ativas e passivas de climatização . . . . .	26
1.8 Fontes de energia renovável . . . . .	27
1.9 Sumário . . . . .	29
<b>2 Sistemas de Climatização</b>	<b>31</b>
2.1 O aquecimento ambiente . . . . .	32

2.1.1	Aquecimento com caldeira e radiadores . . . . .	33
2.1.2	Chaminé . . . . .	38
2.1.3	Os circuitos de aquecimento . . . . .	39
2.1.4	Tecnologia de aquecimento com bomba de calor . . . . .	41
2.2	O arrefecimento ambiente . . . . .	44
2.2.1	Arrefecimento evaporativo . . . . .	45
2.3	Tecnologia dos sistemas de ar condicionado . . . . .	47
2.3.1	Sistema tudo ar . . . . .	48
2.3.2	Sistemas ar/água . . . . .	52
2.3.3	Sistemas tudo água . . . . .	56
2.4	Controlo para sistemas HVAC . . . . .	58
2.4.1	Sensores . . . . .	59
2.4.2	Controladores . . . . .	60
2.4.3	Atuadores . . . . .	61
2.5	Sumário . . . . .	63
<b>3</b>	<b>Iluminação</b> . . . . .	<b>65</b>
3.1	Sistema de iluminação natural . . . . .	67
3.1.1	Vãos laterais . . . . .	68
3.2	Sistema de iluminação artificial . . . . .	70
3.2.1	Componentes de um sistema de iluminação . . . . .	71
3.3	Integração de luz natural/artificial . . . . .	80
3.4	Zonas e projeto de iluminação . . . . .	81
3.5	Atividades visuais nas salas de aula . . . . .	83
3.6	Sumário . . . . .	86
<b>4</b>	<b>Energia Solar Térmica e Fotovoltaica</b> . . . . .	<b>87</b>
4.1	Introdução aos sistemas solares térmicos . . . . .	87
4.1.1	Bibliotecas astronómicas e meteorológicas . . . . .	88
4.1.2	A importância da orientação . . . . .	91
4.1.3	Recursos energéticos . . . . .	93
4.1.4	Mudanças climáticas . . . . .	93
4.1.5	Argumentos conhecidos . . . . .	94
4.1.6	Iniciativa pública água quente solar para Portugal . . . . .	95
4.1.7	Medida Solar Térmico 2009 . . . . .	96
4.2	Introdução aos sistemas solares fotovoltaicos . . . . .	98
4.2.1	Sistema isolado, autónomo . . . . .	98
4.2.2	Sistema ligado a uma rede pública . . . . .	100
4.2.3	Efeito fotovoltaico e função da célula solar . . . . .	103
4.2.4	Tipo de célula . . . . .	107

4.2.5	Microprodução e Miniprodução . . . . .	121
4.3	Sumário . . . . .	142
<b>5</b>	<b>Caso de estudo e proposta de solução</b>	<b>145</b>
5.1	Introdução . . . . .	145
5.2	Propostas de aumento de eficiência . . . . .	149
5.2.1	Climatização ambiente . . . . .	150
5.2.2	Iluminação ambiente . . . . .	154
5.2.3	Energia (solar térmica e fotovoltaica) . . . . .	166
5.3	Sumário . . . . .	170
<b>6</b>	<b>Conclusões e trabalho futuro</b>	<b>173</b>
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>177</b>



# Índice de tabelas

---

2.1	Tipos de sistemas tudo ar . . . . .	49
2.2	Tipo de válvulas utilizadas no controlo de sistemas HVAC . . . . .	62
3.1	Temperatura e aparências associadas a lâmpadas . . . . .	72
3.2	Alguns exemplos de lâmpadas (informação Osram) . . . . .	74
4.1	Ângulos . . . . .	92
4.2	Medida Solar Térmico 2009 . . . . .	97
4.3	Eficiências típicas . . . . .	121
4.4	Regimes previstos . . . . .	123
4.5	Cronologia da Microprodução . . . . .	124
4.6	Cronologia da Microprodução (cont.) . . . . .	125
4.7	Características do módulo . . . . .	126
4.8	Características do inversor . . . . .	128
4.9	Algumas características do gerador fotovoltaico . . . . .	133
4.10	Informação da UMP - fixo . . . . .	139
4.11	Informação da UMP - seguidor . . . . .	140
5.1	Resumo iluminação (solução I) . . . . .	170

5.2	Resumo iluminação (solução II)	171
-----	--------------------------------	-----

# Índice de figuras

---

1.1	UTAD, Edifício Engenharias I . . . . .	6
1.2	Fotografia de líderes durante a Conferência . . . . .	10
1.3	Mapa dos países que ratificaram o Protocolo de Quioto . . . . .	12
2.1	Instalação em vaso aberto . . . . .	34
2.2	Queimador . . . . .	36
2.3	Caldeira mural . . . . .	37
2.4	Retorno direto . . . . .	39
2.5	Retorno invertido . . . . .	39
2.6	Monotubo . . . . .	40
2.7	Esquema de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor . . . . .	41
2.8	Bomba de calor ar/ar . . . . .	43
2.9	Bomba de calor ar/água . . . . .	44
2.10	UTA . . . . .	46
3.1	Tipo de vãos e ilustração do coeficiente de forma . . . . .	70
3.2	Curva fotométrica para a luminária 5LP12673A . . . . .	75
3.3	The Westin Palace, Madrid, Espanha . . . . .	81
3.4	Auditório . . . . .	85

4.1	O Sol . . . . .	87
4.2	Radiação Solar global EG . . . . .	89
4.3	Radiação global anual em Portugal . . . . .	91
4.4	Insolação global anual em Portugal . . . . .	92
4.5	Descrição dos ângulos . . . . .	93
4.6	Esquema de princípio de um sistema fotovoltaico isolado . . . . .	100
4.7	Esquema de princípio de um sistema fotovoltaico ligado à RESP . . . . .	101
4.8	Sistema fotovoltaico com ligação à rede, em área urbana MARL, Lisboa - Portugal . . . . .	102
4.9	Sistema fotovoltaico com ligação à rede - central fotovoltaica Hércules (24 Julho 2009) . . . . .	103
4.10	A <i>autocondução</i> numa rede cristalina de silício . . . . .	104
4.11	Célula solar cristalina . . . . .	106
4.12	As camadas de uma célula amorfa . . . . .	114
4.13	As camadas de uma célula CIS . . . . .	116
4.14	As camadas de uma célula CDTE . . . . .	117
4.15	As camadas de uma célula HCI . . . . .	118
4.16	Ilustração típica de uma UMP . . . . .	122
4.17	Inversor SMA SB 3800/V . . . . .	136
4.18	Portinhola PC/P . . . . .	137
4.19	Gráfico de UMP com orientação fixa em Mangualde . . . . .	139
4.20	Gráfico de UMP com orientação seguidor em Viseu . . . . .	140
4.21	Ilustração típica de uma UMNP . . . . .	142
5.1	Uma das três caldeiras que fazem parte da central térmica . . . . .	146
5.2	Uma das unidades de tratamento de ar (UTA) localizada no edifício do Engenharias I . . . . .	147
5.3	Chiller . . . . .	148
5.4	Pormenor da cobertura norte . . . . .	149
5.5	Pormenor de climatização na I1.10 . . . . .	150
5.6	Pormenor lateral de uma UTA . . . . .	151
5.7	Cronotermostato Digital . . . . .	152

5.8	Hall de entrada do edifício Engenharias I . . . . .	154
5.9	Pormenor de iluminação na sala G0.12 . . . . .	155
5.10	Antes, sem as lâmpadas de Alfredo Moser . . . . .	158
5.11	Depois, com as lâmpadas de Alfredo Moser . . . . .	158
5.12	Tubo Solar Chatron - esquema de funcionamento . . . . .	159
5.13	Linhas isográficas após colocação de 8 tubos . . . . .	160
5.14	Pormenor da escadaria do edifício Engenharias I . . . . .	162
5.15	Pormenor da luminária nas escadarias . . . . .	164
5.16	SolTerm: simulação do sistema solar térmico. Pormenor da escolha do coletor solar térmico . . . . .	167
5.17	SolTerm: simulação do sistema solar térmico. Pormenor da análise energética . . . . .	168
5.18	Barramento MT no posto de transformação (PT) . . . . .	169
5.19	Contagem em MT no PT . . . . .	169
6.1	Campanha Zantia (verso do folheto) . . . . .	175



# Glossário, acrónimos e abreviaturas

---

## Lista de acrónimos

<b>Sigla</b>	<b>Expansão</b>
AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente Alternada)
ADENE	Agência para a Energia
Ah	Ampère hora
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AQS	Água Quente Sanitária
AQSpP	Água Quente Solar para Portugal
AR	Anti Reflexo
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BT	Baixa Tensão
BTU	British Thermal Unit
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)

<b>Sigla</b>	<b>Expansão</b>
CBD	Convenção sobre Diversidade Biológica, ou Convenção da Biodiversidade
CCE	Centro para a Conservação da Energia
CdTe	Telureto de Cádmio
Certiel	Associação Certificadora Instalações Eléctricas
CF	Coefficiente de Forma
CFC	Clorofluorocarboneto
CFL	Compact Fluorescent Lamp
CIE	International Commission on Illumination
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
CNUMADA	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
COP	Coefficient Of Performance
CPC	Coletor Parabólico Composto
CR	Corredor
CTS	Condições de Teste Standard
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ECCP	<i>European Climate Change Programme</i> (Programa Europeu para as Alterações Climáticas)
ECT	Escola de Ciência e Tecnologia
EDE	Efeito De Estufa
EE	Eficiência Energética
EFG	Edge-defined Film-Fed Growth
EPDM	Borracha de Etileno-Propileno-Dieno
ER	Energia Renovável
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

<b>Sigla</b>	<b>Expansão</b>
Esc	Escadaria
ESE	Empresas de Serviços Energéticos
EVA	Acetato de Vinil Etileno
FER	Fonte de Energia Renovável
GB	Gabinete
GN	Gás Natural
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GLS	General Lighting Service
HCI	<i>Heterojunction with Intrinsic Thin layer</i> (Heterojunção com uma Camada fina Intrínseca)
HF	<i>High Frequency</i> (Alta Frequência)
HR	Humidade Relativa
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i> (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)
IEC	Comissão Internacional Eletrotécnica
IPT	Investimento Previsto Total
IPU	Investimento Previsto Unitário
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISP	Imposto Sobre os Produtos Petrolíferos
ITO	Óxido de Índio e Estanho
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
KW	Kilowatt
KWh	Kilowatt hora
KWp	Kilowatt pico
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LF	<i>Low Frequency</i> (Baixa Frequência)

<b>Sigla</b>	<b>Expansão</b>
MA	Massa de Ar
MARL	Mercado Abastecedor da Região de Lisboa
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MT	Média Tensão
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
ONU	Organização das Nações Unidas
OPzS	Ortsfeste Panzerplatte Spezial
OPzV	Ortsfeste Panzerplatte Verschlosse
OTC	Óxido Transparente Condutivo
PAT	Poupança Anual Total
PAU	Poupança Anual Unitária
PC	<i>Personal Computer</i> (Computador Pessoal)
PIB	Produto Interno Bruto
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNDES	Plano Nacional de Desenvolvimento Económico e Social
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POE	Programa Operacional de Economia
PR(A)	Período de Recuperação (em anos)
PR(H)	Período de Recuperação (em horas)
PRIME	Programa de Incentivos à Modernização da Economia
PRVUP	Período de Recuperação em função da Vida Útil Prevista (%)
PT	Posto de Transformação
PVC	Cloreto de Polivinila
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

<b>Sigla</b>	<b>Expansão</b>
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SA	Sala de Aula
SAC	Sistemas de Ar Condicionado
SOC	<i>State Of Charge</i> (Estado da Carga)
SRM	Sistema de Registo da Microprodução
SRMini	Sistema de Registo da Miniprodução
UAP	Utilização Anual Prevista (em horas)
UE	União Europeia
UI	Unidades a Instalar
UMNP	Unidade de Miniprodução
UMP	Unidade de Microprodução
UN	United Nations
UNCCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas para o Combate às Alterações Climáticas
URE	Utilização Racional de Energia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
UTAD	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
UV	Ultravioleta
VAV	Volume de Ar Variável
VRLA	Valve Regulated Lead Acid battery
VUP	Vida Útil Prevista (em horas)
Wp	Watt pico





# Introdução

---

Muito antes de se pensar que é grande a ameaça que as nossas reservas de combustíveis fósseis se venham a esgotar ainda durante este século, interessa falar de Eficiência Energética (EE). Aceite-se que a razão não é pois a ameaça mas a temática por si só.

Com o único objetivo de envolver alguns dos meus amigos neste trabalho e usando o Facebook como plataforma, deixei nos murais de 25 deles, no dia 5 de Outubro de 2011, o seguinte:

*“Catarina Gil, escolhi o Facebook como plataforma para realizar um pequeno estudo. Foste uma das 25 personalidades para a realização de um “inquérito” inicial no âmbito da minha dissertação de Mestrado pela UTAD, com tema na área da “Eficiência Energética”. Gostaria, por isso, de ter uma opinião tua sobre o assunto. Como vês este tema na tua vida, na sociedade e no mundo. Responde por aqui ou envia email. Obrigado desde já, abraço.”*

Os felizes contemplados foram escolhidos de entre os meus contactos. São familiares, amigos e conhecidos, localizados no continente Americano do Norte (1), do Sul (4), na Europa (17), África (2) e até mesmo na Ásia (1).

Como se percebe, o texto era iniciado com o nome da pessoa a quem se destinava o pedido de opinião, este que apresentei foi o que deixei no mural da Catarina Gil, a minha irmã. A Catarina, contabilista pelo ISCAA, respondeu-me, por email no dia 23 de Outubro:

*“Para mim a eficiência energética é a arte de poupar a natureza e o dinheiro ao mesmo tempo. Sendo que a eficiência energética é a chave para salvar o nosso planeta. As alterações climáticas são uma das ameaças ambientais mais sérias que o nosso planeta enfrenta. O protocolo de Quioto estabeleceu uma norma a nível global, ou seja, actualmente os países e indústrias, têm que cumprir objectivos exigentes na redução das emissões de dióxido de carbono. As pressões comerciais legislativas na preservação do ambiente, fazem com que exija eficiência energética. Ao atingirem estes objectivos, as empresas melhoram a sua rentabilidade, reduzindo os custos com a energia. Temos a consciência que no futuro a eficiência energética deve ganhar relevância para enfrentar os desafios no sector da energia a curto e médio prazo. Na minha vida tento monitorizar os equipamentos eléctricos, de forma a consciencializar no seu consumo energético, aproveitando os horários mais económicos e ao mesmo tempo que ajusto a iluminação e o aquecimento da minha habitação sem perder o conforto. Na sociedade, concluo que a automatização é um forte contributo para a poupança de água, electricidade e combustíveis, traduzindo-se essa poupança em vantagens económicas e ambientais. Temos assim a automatização, permitindo a poupança de electricidade através de sistemas eficientes, necessárias para a iluminação que adaptam o seu nível, em cada momento, em função da variação solar. Por exemplo, existem sistemas que detectam a presença de movimento em zonas de passagem e só as ilumina quando necessário. Temos também outros exemplos de controlo automático de toldos, estores e cortinas de habitações, que permite aproveitar ao máximo a luz solar. Em termos de climatização são possíveis poupanças significativas com sistemas de regulação que adaptam a temperatura de uma habitação, em função da temperatura exterior, da hora do dia, ou mesmo da presença de pessoas no seu interior. Nos electrodomésticos é importante o controlo de utilização e a programação do seu funcionamento em horários em que a energia é mais económica. Do ponto de vista energético, os edifícios e domicílios devem tornar-se cada vez mais eficientes.*

---

*É o que penso sobre este tema, embora com mais tempo, poderia haver muito mais para dizer.’’*

A Camila Lamarão, amiga Brasileira da área das Ciências Sociais, a 12 de Outubro, responde:

*“Espero que ainda dê tempo de enviar minha opinião para sua pesquisa. Bem eficiência energética. Na minha vida pessoal é um assunto que nunca reflecti muito, na verdade pensar nesse assunto sempre me vem a cabeça a questão da economia de energia, e nesse quesito pessoalmente não sou muito habituada a economizar energia, e por vezes me sinto mal com isso. Na sociedade me revolta por vezes passar pelo centro da cidade de noite e ver centenas de prédios com luzes acesas sem ninguém dentro, acho que as empresas podiam investir em fazer um controle do uso das luzes, afinal já existe muita tecnologia acessível para isso. Os governos também deviam investir mais em energias renováveis, e me incomoda muito o fato do Brasil ter mais construção de barragens como política energética, como estratégia não de eficiência energética, mas de aquecimento da economia. E o mundo vai nessa mesma direcção, ou seja, ao se pensar em políticas energéticas a lógica é a do capital e não a da sustentabilidade. Acho que é isso, beijinhos e boa tese!’’*

Uma outra amiga, Catarina Veiga, da área da Acupuntura, a 11 de Outubro escreve:

*“O que é que eu tenho a dizer sobre eficiência energética? Primeiro que para mim é um conceito desconhecido enquanto disciplina, mas que surge espontaneamente e fruto de algum interesse e observação do meio e das notícias que nos chegam. Compreender que vivemos num planeta de recursos limitados, que esta é a nossa única ”casa”e que há que a poupar e preservar são factos constatáveis e que moldam, à custa do bom senso, alguns comportamentos, como o uso de transportes públicos, a atenção às lâmpadas eléctricas, a compra de comestíveis provenientes de agricultura sustentada e biológica e a escolha de detergentes biodegradáveis. Estes são gestos diários, fruto dessa compreensão de que é urgente racionar a energia e usa-la de forma optimizada. Noutra escala, mais alargada, há aquele universo das energias alternativas, os painéis solares, os moinhos eólicos, a questão das barragens, mas tudo isso me ”transcende”no sentido em que não sinto que, como habitante de uma*

*cidade, tenha alguma interferência directa nesses factos "maiores", que não estão dependentes da minha vontade pessoal. A meio do caminho, está a informação que apesar de não ser óbvia, pode ser procurada e implementada na rotina de uma pessoa empenhada: os consumos dos electrodomésticos, os novos carros híbridos, os planos bi-horários da electricidade e muitos mais, com certeza, que eu, como leiga, ainda não descobri. Espero que este "testemunho" assim muito espontâneo, te sirva para alguma coisa de útil! :) Boa sorte com a tese!´´*

A amiga Mónica Marques, Investigadora na Universidade do Porto para as áreas da Genética e Biotecnologia, em 6 de Outubro, responde:

*“Posso dizer que nunca pensei em "eficiência energética" com estes mesmos termos mas penso nela de outra forma no meu dia-a-dia. É um dado adquirido que consumimos mais deste planeta do que ele é capaz oferecer pondo em causa a sustentabilidade, e ainda temos o agravante que brevemente seremos 7 mil milhões de consumidores. Primeiro eu penso que a distribuição energética não é equitativa não permitindo que países com uma população crescente se desenvolvam (hemisférios sul). Assim sem quaisquer tipos de condições não é possível passar a mensagem de sustentabilidade quando apenas estes pais querem sobreviver. Portanto acho que existe um monopólio da distribuição energética no mundo. Acho que os países desenvolvidos (hemisfério norte) desperdiçam imensa energia, em coisas desnecessárias, quando essa energia podia ser canalizada para países em desenvolvimento, sobe a forma energética ou monetária. Finalmente a ideia principal que queria transmitir é que apesar de consumirmos mais do que o planeta não seremos energeticamente eficientes podemos apreender com este erro e apoiar/ensinar os que estão em desenvolvimento. Acho que a ideia de sustentabilidade, eficiência energética, deveria começar na escolaridade básica, transmitir os conceitos de reciclagem, poupar água luz e gás, diminuir a pegada ambiental entre outros conceitos ambientais importantes. E devia-se educar também os adultos com a mesma finalidade, afinal todos juntos fazemos a diferença. Espero não ter dispersado muitos beijinhos´´*

Como se percebe, a Mónica Marques, foi a primeira a dizer algo, aparentemente, um tema que em nada tem a ver com a área de investigação em que trabalha. Das

25 personalidades convidadas apenas 6 responderam. Apresentei apenas 4 pois duas não formalizaram uma resposta sobre o assunto. A Rita Ferreira, jornalista na TVI, por motivos de gravidez não *tem cabeça neste momento* e, por esse motivo, não se envolveu nesta *fase de inquérito*. E Adriana Facina, mulher Brasileira da área da Antropologia Social, que simplesmente constatou *nada saber sobre o assunto*.

Constata-se que muito já elas sabem sobre o tema. Contudo, fica por perceber o que as restantes personalidades saberão sobre ele. Ficaré sempre em aberto a dúvida: terei apenas que classificar melhor os meus *amigos* nesta plataforma, simplesmente entregar o caso ao *nada sei sobre esse teu assunto mas não tenho coragem para te o dizer*, como acabou por acontecer, muito tranquilamente, com a amiga Adriana Facina, ou outra qualquer possibilidade.

Este trabalho enquadra-se na intenção que a Escola de Ciências e Tecnologia (ECT) da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) em participar na iniciativa *Desafio Eficiência Energética no Ensino Superior*, enquadrado no Plano de Promoção no Consumo (PPEC 2011-2012), financiado pela Entidade Reguladora do Sector Elétrico (ERSE).

O alvo escolhido para este estudo foi o Edifício de Engenharias I, localizado no campus da UTAD, construído em 1989 com cerca de 3492,51  $m^2$  distribuídos em 3 pisos. Com uma atividade predominantemente de aulas, 45%, gabinetes, 25%, laboratórios de investigação, 20% e restauração, 5%.

## 1.1 Objetivos e motivação

O estudo a desenvolver, e que dará corpo a esta dissertação de mestrado, visa, essencialmente, introduzir, e estimular boas práticas de EE promovendo a Utilização Racional de Energia (URE) no edifício alvo, o Engenharias I.

Porém, quando se inicia um documento desta natureza, com estas pretensões, é também importante que este não só sirva para consolidar determinados conceitos que o autor tem em mente, mas também, que se corporize teorias com o objetivo de



**Figura 1.1** – UTAD, Edifício Engenharias I.

que se possa educar, esclarecer e mesmo interessar futuros entusiastas nas matérias aqui apresentadas.

Evidentemente que se espera que o presente documento possa fundamentar a atribuição de grau de mestre ao autor, sendo por isso também objeto de grande motivação para a realização do trabalho desenvolvido.

## 1.2 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos. Um primeiro, introdutório, onde se apresentará algumas das noções mais básicas à volta da temática base deste estudo, a EE e a URE, para isso foram encontrados 3 vetores: a climatização, a iluminação e a energia, esta numa vertente essencialmente solar térmica e fotovoltaica. Num segundo capítulo abordar-se-á de forma exaustiva os sistemas de climatização, num terceiro a iluminação e num quarto, as energias. O quinto capítulo apresentará um conjunto detalhado de soluções possíveis e adaptadas ao edifício do Engenharias I. Concluir-se-á sobre todo este caso de estudo num sexta capítulo. Este último apresenta também o sempre muito trabalho que fica por fazer, o trabalho futuro que

se espera, sempre, para uma realização a curto/médio prazo.

## 1.3 Eficiência energética

A Eficiência Energética (EE) poderá ser definida, de uma maneira muito subjetiva, como a *otimização que podemos fazer no consumo de energia*. Antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz, a energia sofre um percurso, mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é desperdiçada e a outra, a que chega ao utilizador, nem sempre é aproveitada.

Sabe-se que entre 1990 e 2002, o aumento da procura por energia atingiu os 61%, tendo deixado para trás o crescimento da EE, que aumentou apenas 17%. Mas nem tudo é mau. O potencial de Energias Renováveis (ER) em Portugal, por exemplo, é assinalável, com destaque para a energia solar, eólica, hídrica e da biomassa. Embora haja ainda um longo caminho a percorrer, já conseguimos avançar muito nos últimos anos. Em 2003, 36% do consumo bruto de energia elétrica provinha de Fontes de Energia Renováveis (FER). Atualmente, somos o quarto país da União Europeia (UE) com maior percentagem de utilização de ER no consumo total de energia. Sendo a energia absolutamente vital para a economia portuguesa e para o desenvolvimento do país, a aposta na EE e na utilização de FER é cada vez mais a realidade ([EcoEDP-EEER](#)).

A EE pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo de toda a cadeia de transformação e transporte, desde que a energia é transformada até à sua utilização. Pode ser dividido em duas fases: a transformação, a energia existe na Natureza em diferentes formas mas, para ser utilizada, necessita de ser transformada. Durante esta transformação, parte da energia perde-se, originando desperdícios muito prejudiciais para o ambiente. Sabe-se também que parte dessas perdas são, muitas vezes, inevitáveis. Devem-se, essencialmente, por questões físicas. A outra parte é mesmo perdida por mau aproveitamento, na falta de otimização nos processos de transformação. Este desperdício tem vindo a merecer uma crescente preocupação nas empresas do mercado da

energia. Por outro lado, sendo a energia um bem essencial e vital à economia, este tema faz parte da agenda política de vários países e tem vindo a suscitar uma crescente inquietação da comunidade internacional.

Neste contexto, têm-se multiplicado as iniciativas para a promoção da EE. Empresas e governos, por todo o mundo, têm investido fortemente na melhoria dos processos e na pesquisa de novas tecnologias energéticas mais eficientes e amigas do ambiente, bem como no aproveitamento das ER.

Mas não é só na transformação que o desperdício de energia se esgota, na fase de utilização a EE é frequentemente associada ao termo URE, que origina a elaboração de medidas que permitam uma melhor utilização da energia, tanto no sector doméstico, como nos sectores de serviços e indústria. Através da escolha, aquisição e utilização adequada dos equipamentos, é possível alcançar significativas poupanças de energia, manter o conforto térmico e visual e aumentar a produtividade nas atividades dependentes de energia, com vantagens do ponto de vista económico e ambiental. Enquanto a EE, durante um qualquer processo de transformação, depende apenas de um número muito restrito de personagens, na fase da utilização todos nós temos muito a dizer.

## 1.4 Panorama e legislação nacional e europeia

Desde que a Terra se formou, há mais de 4600 milhões de anos, o clima tem conhecido ligeiras alterações. Ao longo do último século, essas variações multiplicaram-se, ultrapassando a fronteira do que é tido como natural. O mundo está a aquecer e nos últimos 140 anos a temperatura da terra aumentou entre cerca de 0,2 a 0,6°C prevendo-se que continue a aumentar entre 1,4 e 5,8°C até 2100. À medida que as temperaturas aumentam, tornam-se evidentes algumas mudanças, tal como o aumento do nível do mar, ameaçando as comunidades e ecossistemas litorais e a ocorrência de catástrofes naturais e a penosa desertificação ([EcoEDP-AC](#)).

Segundo um relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), em

1995, as alterações climáticas são, nada mais, nada menos, que a consequência da intervenção humana no meio ambiente. Com efeito, desde a revolução industrial, a atividade do homem aumentou em cerca de 25% a quantidade de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, sendo a combustão de energias fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e a destruição de florestas, os principais suspeitos para este aumento. Se não forem, por isso, tomadas medidas necessárias para reduzir as emissões de gases que contribuem para o Efeito de Estufa (EDE), o clima tornar-se-á cada vez mais imprevisível, haverá impactos diretos e bastante negativos sobre os ecossistemas terrestres, nos diversos sectores socioeconómicos mundiais, na saúde pública e na qualidade de vida das comunidades.

A camada atmosférica que envolve a Terra é geralmente composta por azoto ( $\text{N}_2$ ), oxigénio ( $\text{O}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Pode conter ainda, em maior ou menor grau, gases que têm efeitos nocivos e, portanto, são considerados poluentes. Se bem que a presença de substâncias tóxicas na atmosfera possa dever-se a fenómenos naturais, é a ação do Homem que mais tem contribuído para este tipo de poluição. São exemplos de fenómenos naturais que emitem constituintes tóxicos para a atmosfera os vulcões, fogos e tempestades de areia. No entanto, a biosfera possui mecanismos que removem, assimilam e reciclam estes poluentes naturais. A influência da atividade humana na concentração anormal de certos elementos químicos na atmosfera resulta essencialmente de veículos motorizados, cuja densidade nas regiões fortemente urbanizadas determina uma elevadíssima poluição atmosférica, mas também provém de combustões industriais e domésticas, agentes antropogénicos, principalmente de combustíveis sólidos (carvão) e líquidos (petróleo e seus derivados, entre outros), que além de produzirem fumos, poeiras e chumbo, emitem também óxidos de carbono,  $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$ , óxidos de enxofre,  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ , óxidos de azoto,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  e ainda diversos compostos orgânicos voláteis,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CHCl}_3$  entre outros.

As substâncias responsáveis pela poluição da atmosfera concentram-se em suspensão na atmosfera em elevadas quantidades. Estas substâncias podem-se encontrar no estado sólido, líquido e gasoso, não fazendo parte da normal composição do ar. A poluição causada por cada um dos poluentes está relacionada com a sua natureza química, com o tempo que permanecem na atmosfera sem serem destruídos, mas

principalmente pela sua concentração, resultando numa maior ou menor contaminação atmosférica, que provoca alterações climáticas.

As alterações do clima que temos vindo a testemunhar são um reflexo do uso ineficiente de energia que, por natureza, é um desafio internacional, que a todos diz respeito. Para dissipar os seus efeitos, a comunidade internacional tem vindo a reunir forças e são vários os exemplos nacionais e internacionais que permitem concretizar uma maior eficiência energética no futuro:

- . A Conferência de Estocolmo (Suécia), realizada entre os dias 5 e 16 de Junho de 1972, organizada pelas Nações Unidas, foi a primeira reunião ambiental global, onde 113 países se reuniram para refletir sobre a relação entre a proteção do ambiente e o desenvolvimento humano.

Deste encontro resultou a Declaração sobre o Ambiente Humano ou Declaração de Estocolmo e a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Na figura 1.2 encontramos o canadiano Maurice Strong, um dos mais destacados líderes mundiais em matéria de ambiente (à esquerda) com o presidente da conferência, Ingemund Bengtsson.



**Figura 1.2** – Fotografia de líderes durante a Conferência.



. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMADA), Cúpula ou Cimeira da Terra, realizou-se entre os dias 3 e 14 de Junho de 1992, no Rio de Janeiro. Teve lugar a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU). As preocupações com o clima e a necessidade de definir uma estratégia conjunta para o proteger, levaram 170 países a adotar a Agenda 21, um plano de ação global, para ser posto em prática por todos os governos, assim como três convenções:

- *Convenção Quadro das Nações Unidas para o Combate às Alterações Climáticas* (UNFCCC);
- *Convenção sobre Diversidade Biológica, ou Convenção da Biodiversidade* (CBD);
- *Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação* (UNCCD).

. Na terceira Convenção do Quadro das Nações Unidas sobre alterações climáticas (COP3), que teve lugar em Quioto (Japão), em Dezembro de 1997, surgiu o Protocolo de Quioto ([informação UN](#)). Um protocolo internacional legalmente vinculativo, que estabelece objetivos para os países industrializados no que concerne às suas emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Dos 160 participantes, 39 países industrializados comprometeram-se a limitar as suas emissões de GEE na atmosfera entre 2008 e 2012 em 5% em relação aos valores de 1990 e, no caso da União Europeia (UE), em 8%, o que pressupõe negociações complexas, já que a economia mundial está fortemente dependente do consumo de combustíveis fósseis e que alguns dos países intervenientes tenham que suportar as reduções mais ou menos acentuadas

do respetivo Produto Interno Bruto (PIB). Entre os 39 países envolvidos, não se encontravam os EUA e a Austrália, embora estivessem presentes alguns dos maiores poluidores do mundo, tal como a China, a Rússia e mesmo a Índia. O Protocolo foi estabelecido em 1997, tendo por base os princípios estabelecidos e assinados em 1992. A 16 de Fevereiro de 2005 tornou-se oficial. Ao assinar o Protocolo de Quioto, a Europa assumiu o compromisso de reduzir as suas emissões de GEE em 8% relativamente a 1990, durante o período de 2008 e 2012. Como a situação geográfica e económico-social dos diversos Estados Membros é diversa, foi celebrado um acordo de objetivo comum e partilha de responsabilidades entre os diferentes Estados. Desta forma, o esforço que é pedido a Portugal não é o mesmo que é pedido à Alemanha ou ao Reino Unido. Ao abrigo do acordo de *partilha de responsabilidades*, Portugal acordou em diminuir as emissões de GEE em 27% nesse período. Mesmo assim, o objetivo está longe de ser alcançado. Em 2003, por exemplo, as emissões nacionais excederam em cerca de 9% o valor acordado no Protocolo de Quioto. Torna-se portanto fundamental que haja um esforço, à escala nacional, para reduzir as emissões de GEE, a fim de cumprir a meta dos 27%.

Na figura 1.3, a cor verde denota países que assinaram e ratificaram o tratado até Fevereiro de 2009<sup>1</sup>.



**Figura 1.3** – Mapa dos países que ratificaram o Protocolo de Quioto.

. Em Março de 2000, a Comissão Europeia lançou o European Climate Change Programme (ECCP), com o intuito de identificar as políticas e medidas mais promissoras

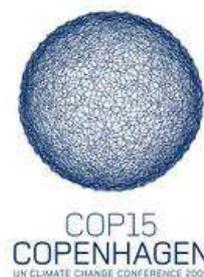
---

<sup>1</sup>Informação Wikipédia: países signatários do Protocolo de Quioto

e mais eficazes, em termos de custos e benefícios, a adotar à escala europeia. Deste trabalho resultaram cerca de trinta e cinco iniciativas legislativas ou de outro tipo, a maior parte das quais se encontra em vias de aplicação. A mais importante e mais inovadora é, provavelmente, a criação de um sistema europeu de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa, que entrou em vigor a 1 de Janeiro de 2005. Outras iniciativas que estão a ser aplicadas no âmbito deste programa procuram, por exemplo, aumentar a parte de mercado das energias renováveis, melhorar o rendimento energético de novas construções ou reduzir o consumo de combustível dos novos automóveis.



- . A Cimeira de Joanesburgo, em 2002, assinalou o 10º aniversário da Cimeira da Terra, tendo como objetivo final reafirmar um compromisso global com vista ao desenvolvimento sustentável. Neste evento, foi acordado o tratamento equilibrado e integrado dos três pilares do Desenvolvimento Sustentável: económico, social e ambiental. Foi definido um plano de ação para o combate à pobreza e para a gestão dos recursos naturais.
- . O Comércio Europeu é um mecanismo de mercado introduzido na Europa para facilitar os Estados Membros a cumprirem os seus compromissos de Quioto. Este mecanismo entrou em vigor a 1 de Janeiro de 2005 e compreende 2 fases: a fase I teve início em Janeiro de 2005 e decorreu até Dezembro de 2007. A fase II iniciou-se em 2008 e terminará em 2012, coincidindo com o período estabelecido nos compromissos do protocolo de Quioto. Em cada período, cada Estado Membro tem um objetivo de emissões que tem de cumprir sob pena de não se conseguir mitigar, como pretendido, os efeitos de Quioto.
- . A Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009, também chamada de Cimeira de Copenhaga (COP15), realizou-se entre os dias 7 e 18 de



Dezembro de 2009. Esta cimeira, organizada pelas Nações Unidas, pretendeu reunir vários líderes mundiais para discutir como reagir à aceleração das mudanças climáticas atuais. É a 15ª conferência realizada e cento e noventa e duas nações foram representadas, tornando-se a maior conferência da ONU sobre mudanças climáticas.

A cimeira teve como principal objetivo a celebração de um acordo internacional global que permitiu substituir o Protocolo de Quioto, reduzindo as emissões de gases poluentes nos países desenvolvidos, limitando o aumento das emissões nos países em desenvolvimento e financiando as ações destinadas a diminuir essas emissões e, conseqüentemente os efeitos das alterações climáticas, pelos países pobres.



. A cimeira de Durban teve início em 28 de Novembro de 2011 e acabou aos abraços. Foram duas semanas de negociações marcadas por impasse. Mesmo à última da hora a anfitriã da cimeira anuncia que há acordo entre os 190 países. O pacto prevê a extinção do protocolo de Quioto que combate o aquecimento global para além de 2012. Abre-se assim caminho a um roteiro em que mesmo os países mais poluidores se comprometem a reduzir os GEE, os gases que provocam a subida da temperatura da terra e conseqüentes alterações climáticas.

A pressão feita pela UE foi determinante para este acordo. Um seu representante disse mesmo: *conseguimos colocar isto no mapa, fazendo com que os principais emissores como os Estados Unidos, a Índia e a China entrem num plano que irá garantir um acordo global abrangente*. Apesar do sucesso, o acordo só será assinado em 2015 e posto em prática em 2020.

O que dizem os cientistas é que até lá já se tem mesmo que inverter as emissões de gases poluentes e de efeito de estufa. Francisco Ferreira, vice-presidente da Quercus, chegou mesmo a comentar, a respeito do eventual sucesso da cimeira *acho que deve ser um entusiasmo muito contido, porque o grau de ambição e a necessidade que nós temos de resolver o problema para garantir que a temperatura não sobe para além daquilo que é aceitável para não termos consequências dramáticas, vai ser muito difícil de conseguir* (Quercus-Durban).



. A Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, batizada de Rio+20, marca os 20 anos da Eco-92, a cúpula sobre meio ambiente realizada no Rio de Janeiro em 1992. Faz parte do ciclo de conferências ambientais da ONU, que teve início em 1972, em Estocolmo, Suécia. Acontecerá entre os dias 13 e 22 de Junho de 2012.

A Rio+20 reunirá, mais uma vez, chefes de Estado e de Governo e entidades da sociedade civil, ONGs, Universidades e Institutos, para rever os principais temas, protocolos, convenções e recomendações que resultaram da Eco-92. Entre eles estão a Declaração do Rio sobre *Meio Ambiente e Desenvolvimento*; a *Agenda 21*; e as *convenções-quadro sobre Mudanças Climáticas, Biodiversidade e Combate à Desertificação*.

Além dessas questões, que voltam a ser debatidas, dois temas centrais foram selecionados. O principal é a transição para a chamada *economia verde*, que propõe a adoção de um novo sistema produtivo, com base na baixa emissão de GEE, na eficiência no

uso dos recursos naturais e na inclusão social.

O segundo tema central é a política global que levará ao desenvolvimento sustentável, ou seja, como os países se vão organizar, em termos de leis, acordos e protocolos, para colocar esse novo modelo socioeconômico em prática.

Outros assuntos irão ter espaço na conferência, entre eles, a energia, a alimentação e agricultura, o emprego e a inclusão social, as cidades sustentáveis, a água, os oceanos e os desastres naturais.

É esperado desta reunião, porém, mais do que um balanço da Eco-92. O resultado final deve ser condensado num documento de cunho político onde todos os países se comprometam a fazer as transformações necessárias rumo à tal economia verde.

. Será num país dominado pelo petróleo, o Qatar, mais precisamente em Doha, que terá lugar a próxima reunião da Convenção das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas.



A 18ª sessão da Conferência das Partes (COP18) da UNFCCC e a 8ª sessão da Conferência das Partes servindo como Reunião das Partes do Protocolo de Quioto (CMP8), terá início a 26 Novembro, finalizando a 7 de Dezembro de 2012.

No quadro da União Europeia e no âmbito do Protocolo de Quioto, destacam-se as medidas fundamentais, em que Portugal também está comprometido. São elas:

. A Diretiva Comunitária 92/75/CE - Etiquetagem Energética, estabelece o quadro legal da etiquetagem energética no espaço europeu, tendo sido transposta para a legislação nacional em Fevereiro de 1994 (DL 41/94, 11 de Março), em Julho de 1998 (DL 214/98, 16 de Julho) e em Fevereiro de 2000 (DL 18/2000, 28 de Fevereiro).

. A Diretiva Comunitária 2001/77/CE - Eletricidade, relativa à promoção da energia elétrica obtida por fontes de energia renováveis (FER). Neste caso, o país compromete-se, até 2010, a conseguir um mínimo de 39% de produção de eletricidade a partir

de FER. Em 2004, a percentagem de energia produzida a partir de FER atingiu os 35%, o que foi justificado tendo em conta o fator de correção que a UE aceita para anos de seca.

. A Diretiva Comunitária 2002/91/CE - Certificação Energética de Edifícios. Impõe aos estados-membros a emissão de Certificados Energéticos a Edifícios para as diversas situações de transação e remodelação de edifícios de habitação, bem como para todos os edifícios de serviços com mais de 1.000 m<sup>2</sup>. Foi transposta para o direito nacional a 4 de Abril de 2006, através do DL n.º78/2006 (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios - SCE), do DL n.º79/2006 (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - RSECE) e do DL n.º80/2006 (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE). A Diretiva da Eficiência Energética nos Edifícios de 16 de Dezembro de 2002 foi criada com o objetivo de aumentar a Eficiência Energética nos Edifícios, potenciar a melhoria da qualidade dos edifícios (quer novos, quer existentes), informar a população, minimizar a dependência externa de energia, reduzir a emissão de GEE e, por conseguinte, contribuir para o cumprimento do Protocolo de Quioto. Os edifícios, responsáveis por 40% dos consumos ao nível Europeu e por 22% em Portugal, passarão obrigatoriamente a ter um Certificado Energético, baseado na revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE).

. A Diretiva Comunitária 2003/96/CE - Biocombustíveis. Para a promoção da utilização de biocombustíveis, que estabelece como meta a substituição até 2010, de 5,75% dos combustíveis rodoviários (gasóleo e gasolina) por biocombustíveis, esta diretiva foi transposta para a ordem jurídica nacional em Março de 2006 (DL n.º62/2006, 21 de Março), tendo sido concedido aos biocombustíveis a isenção (total ou parcial) do Imposto Sobre os Produtos Petrolíferos (ISP).

. A Diretiva Comunitária 2005/32/CE - Conceção ecológica dos produtos que consomem energia. Define os requisitos de conceção ecológica dos produtos que consomem energia e que altera as Diretivas 92/42/CEE do Conselho e 96/57/CE

e 2000/55/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. A conceção ecológica dos produtos constitui um elemento essencial da estratégia comunitária para a política integrada dos produtos. Sendo uma abordagem preventiva, que visa otimizar na fonte o desempenho ambiental dos produtos, ao mesmo tempo que conserva as respetivas características funcionais, apresenta novas e efetivas oportunidades para o fabricante, o consumidor e a sociedade em geral.

. A Diretiva Comunitária 2006/32/CE - Utilização final de energia e aos serviços energéticos públicos e que revoga a Diretiva nº 93/76/CE, do Conselho, e estabelece objetivos e instrumentos que devem ser utilizados para incrementar a relação custo eficácia da melhoria da eficiência na utilização final de energia. Estabelece objetivos indicativos, mecanismos, incentivos e quadros institucionais, financeiros e jurídicos necessários para eliminar as atuais deficiências e obstáculos do mercado que impedem uma utilização final eficiente da energia e cria condições para o desenvolvimento e promoção de um mercado dos serviços energéticos e para o desenvolvimento de outras medidas de melhoria da eficiência energética destinadas aos consumidores finais.

Enquanto isso, em Portugal, corria o ano de 1984, quando foi criado o Centro para a Conservação da Energia (CCE), denunciava a preocupação com a adoção de uma política de utilização racional e eficiente da energia. Em 2000, o CCE sofreu uma reestruturação, dando lugar à Agência para a Energia (AGEN) que, em Dezembro de 2001, se passou a chamar ADENE. Tem como missão o desenvolvimento de atividades de interesse público no âmbito das energias renováveis e da utilização racional da energia, assumindo-se junto dos agentes económicos e dos consumidores como instrumento de intervenção e dinamização de atividades e comportamentos que conduzam à gestão do consumo de energia e ao aproveitamento dos recursos endógenos. Plano Nacional para o Desenvolvimento Económico e Social (PNDES), 2000. Ao nível nacional, foi desenvolvido o Plano Nacional para o Desenvolvimento Económico e Social (2000-2006). Neste documento, o Governo definia os vários objetivos ambientais a serem alcançados no período definido ([EcoEDP-IN](#)).

O Programa Nacional para as Alterações Climáticas foi apresentado para discussão

pública em 2001. Este foi o primeiro programa nacional desenvolvido com o objetivo específico de controlar e reduzir as emissões de GEE, de modo a respeitar os compromissos de Portugal no âmbito do Protocolo de Quioto e da partilha de responsabilidades no seio da UE. Este plano foi pensado para o horizonte temporal 2008-2012 e pretende avaliar as respetivas emissões de GEE, quantificando o esforço de redução necessário para cumprir os compromissos assumidos por Portugal. Nesse sentido, lança uma série de medidas, políticas e instrumentos, com impacte ao nível da redução das emissões de GEE nos vários sectores da economia. No âmbito desta estratégia, o sector da energia afigura-se como um sector chave, dada a relevância do seu contributo em termos de emissões de GEE, seja ao nível da oferta de energia, seja na promoção da utilização racional de energia nos sectores consumidores.

Em Setembro de 2001, o Ministério da Economia lançou o Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Endógenas, com o objetivo de alcançar a meta estipulada pela União Europeia para a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis. Este programa visa modernizar e melhorar a competitividade da economia portuguesa, através de uma intervenção abrangente na problemática da energia, assentando em três grandes eixos de intervenção: diversificação do acesso às formas de energia disponíveis no mercado; promoção da melhoria da eficiência energética, dando particular atenção às oportunidades e meios de otimização da eficiência do lado da procura; promoção da valorização das energias endógenas, nomeadamente a hídrica, a eólica, a biomassa, a solar (térmica e fotovoltaica) e a energia das ondas. O Programa E4 reúne um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias renováveis em Portugal.

Destacam-se medidas de incentivo financeiro à eficiência energética e às energias endógenas, no âmbito do Programa Operacional de Economia (POE), atualmente designado por PRIME - Programa de Incentivos à Modernização da Economia.

Para potenciar o aumento da contribuição da energia solar para o aquecimento de água, foi lançada a Iniciativa Pública AQSpP - Programa Água Quente Solar, promovida pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e com o apoio de várias entidades. Este programa, lançado em 2001, visa promover o recurso a coletores

solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria. O objetivo é instalar 1 000 000  $m^2$  de coletores até 2010, evitando 1% de emissões de GEE. Em 2009, a ADENE, lança a medida solar térmica 2009, visando a eficiência energética, essencialmente o solar térmico.

Em 2001, foi lançado o Programa para a Eficiência Energética em Edifícios - P3E. Este, promovido pela DGGE, tem como objetivo melhorar a eficiência energética dos edifícios em Portugal. Nesse sentido, definiu um conjunto de atividades estratégicas a desenvolver no curto prazo, de forma a moderar a atual tendência de crescimento dos consumos energéticos nos edifícios e, conseqüentemente, o nível das emissões dos GEE inerentes. O P3E é consubstanciado pela aprovação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, assim como pela revisão dos dois regulamentos existentes - o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios) e o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios). Com a criação do Sistema de Certificação Energética, no futuro, todos os novos edifícios terão, à semelhança dos eletrodomésticos, um certificado que caracteriza o seu consumo energético. Será ainda garantida: a correta aplicação das condições de conforto térmico e de higiene requeridas (requisitos exigências) em todas as novas construções; a melhoria da eficiência energética global dos edifícios (não só nos consumos para climatização, mas em todos os consumos de energia existentes); a imposição de regras de eficiência nos sistemas de climatização, que permitam melhorar o seu desempenho energético.

Depois de ter assumido uma série de compromissos no âmbito da Agenda 21, Portugal apresentou um documento intitulado *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável* (ENDS 2002), na preparação da Cimeira Mundial de Joanesburgo. Esta foi revista e atualizada em Julho de 2004, altura em que foi apresentada uma nova proposta para 2005-2015. A definição e a adoção deste documento estratégico, que irá identificar os objetivos a atingir e as medidas/ações a adotar para os alcançar, é um passo necessário para que Portugal possa aproximar-se dos níveis de desenvolvimento dos países mais avançados da União Europeia assegurando, assim, o adequado equilíbrio das dimensões económica, social e ambiental do desenvolvimento.

A Estratégia Nacional para a Energia, aprovada em Outubro de 2005, assenta em princípios básicos, como: garantia da segurança de abastecimento de recursos energéticos; o estímulo à competitividade das empresas do sector da energia e do tecido produtivo português em geral e a garantia da adequação ambiental de todo o processo energético.

O cumprimento destes objetivos levou ao desenvolvimento de um plano de reestruturação do sector energético do país, traduzido em oito grandes linhas de orientação, com medidas que irão ao encontro dos instrumentos legislativos, fiscais e regulamentares adequados:

- Liberalização do mercado da eletricidade, do gás e dos combustíveis;
- Enquadramento estrutural da concorrência nos sectores da eletricidade e do gás natural;
- Reforço das energias renováveis;
- Promoção da eficiência energética;
- Aprovisionamento público “energeticamente eficiente e ambientalmente relevante”;
- Reorganização da fiscalidade e dos sistemas de incentivos do sistema energético;
- Comunicação, sensibilização e avaliação da estratégia nacional para a energia.

No âmbito do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE)-Portugal Eficiência 2015 (2008-2015), que integra as políticas e medidas de eficiência energética a desenvolver, é publicada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio ([EE-LN](#)).

O Programa ECO.AP visa promover a eficiência energética na Administração Pública e tem como objetivo permitir ao Estado a redução da fatura energética em 30% até 2020, nos respetivos serviços e organismos públicos, com a consequente redução de emissões de CO<sub>2</sub>. As economias energéticas serão potenciadas por contratos a realizar entre o Estado e as Empresas de Serviços Energéticos, especialistas em eficiência, previstos no PNAEE.

Este programa, lançado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, tem a ambição de promover a eficiência energética na Administração Pública, nomeadamente através da criação de um Barómetro de Eficiência Energética para os edifícios do Estado e da contratação de Empresas de Serviços Energéticos (ESE), estimulando a economia através da atividade destas empresas ao abrigo de Contratos de Serviços Energéticos, regulados pelo Decreto-Lei n.º 29/2011 ([ADENE-EcoAP-EEAP](#)).

## 1.5 Conforto térmico e visual

Os edifícios, como em qualquer outro produto, devem ser pensados e projetados com o objetivo de proporcionar aos seus utilizadores a satisfação no desempenho das atividades neles desenvolvidas. Essa satisfação deve ser conseguida nas melhores condições económicas, considerando não só os custos iniciais de construção mas também os afetos à exploração e manutenção, ou seja, fixando valores aceitáveis para a relação custo global/qualidade ([EC-CTEH](#)).

Para se poder avaliar a satisfação de exigências de conforto térmico, é indispensável estabelecer valores que quantifiquem os vários fatores que influenciam esse conforto, a partir dos quais será depois possível fixar regras de qualidade para a construção.

São diversos os fatores que afetam o comportamento térmico dos edifícios e existem interdependências entre os parâmetros que os caracterizam, podendo no entanto ser analisados de acordo com o enquadramento nos seguintes aspetos gerais:

- Condições ambientais exteriores (caracterização climática);

- Condições ambientais interiores (conforto termo-higrométrico);
- Características construtivas (tipologia e características da envolvente);
- Características funcionais (utilização dos edifícios e gestão da energia).

O controlo do ambiente interior é condicionado pelo ambiente exterior e por isso é fundamental ter o perfeito conhecimento das características do clima dos locais onde vão ser implantadas as construções. Nos países de clima temperado, o verão e o inverno são as estações que condicionam o desempenho térmico dos edifícios e os parâmetros climáticos mais influentes nesse desempenho são: a temperatura do ar, a radiação solar, o regime e as características do vento e a humidade do ar.

A radiação solar e a sua contribuição para a satisfação das exigências de inverno, com a possibilidade de obtenção de ganhos solares gratuitos, tem vindo ultimamente a merecer uma crescente atenção da parte dos projetistas. Existem atualmente dados sobre a radiação solar incidente em superfícies horizontais e verticais para várias zonas do País e sua variação ao longo do ano, estando prevista a consideração da energia por ela obtida, no RCCTE.

São de extrema importância o regime e as características do vento, benéfico no verão ao possibilitar a ventilação natural, mas prejudicial no inverno, acelerando principalmente as perdas térmicas devidas a infiltrações de ar pelas caixilharias, e a influência da humidade relativa do ar, em especial no inverno, devendo ter-se atenção para evitar os fenómenos de condensações superficiais internas.

Considera-se que um indivíduo está em condições de conforto termo-higrométrico quando não experimenta nenhum tipo de sensação de desconforto de ordem fisiológica, possível de lhe diminuir a sua capacidade para o desempenho das atividades, ou mesmo de lhe pôr em risco a sua saúde. Assim, o corpo humano, mantendo uma temperatura de  $37^{\circ}\text{C}$ , deve estabelecer o correto equilíbrio (neutralidade térmica) nas trocas de calor com o ambiente, processadas por meio de condução, convecção e radiação, variando com os seguintes fatores:

- Individuais, adaptação ao ambiente, tipo de vestuário usado e género de atividade;
- Ambientais, temperatura do ar, humidade do ar, velocidade do ar e temperatura radiante do contorno.

Luz natural suficiente é essencial para condições de trabalho produtivas e criativas. Contudo, o brilho causado pela excessiva e incontrolável luz refletida pelas superfícies envidraçadas, decorações brilhantes e monitores de computadores podem conduzir a problemas de visão e de concentração. A legislação sobre níveis de luminosidade está cada vez mais rigorosa e é um facto conhecido de que o desconforto visual prejudica o trabalho e causa perturbações psicológicas. Corrigir as alterações de luminosidade melhora o nível de realização no local de trabalho.

A motorização e a automatização são fatores essenciais na otimização do conforto visual, pois apenas elas podem em simultâneo. Assegurar uma luminosidade agradável ao longo do dia à medida que os níveis de luz variam hora após hora, estação após estação, devido aos diferentes materiais utilizados no envidraçados e na decoração interior, os protetores solares fixos, viseiras, persianas, não podem assegurar continuamente a sua eficácia. Adaptação às variações da luz natural, os utilizadores têm-se apercebido lentamente dos problemas causados pelas alterações da luz solar, muitas vezes já tarde demais para reagir significativamente.

Os sistemas automatizados respondem muito mais rapidamente. Adaptar-se em qualquer lado, em alguns lugares, por exemplo em átrios e áreas de receção, a proteção solar é difícil de alcançar e pouco frequente. Apenas os sistemas automatizados, controlados por sensores de intensidade de luz, conseguem manter os níveis preestabelecidos de conforto; garantia de conforto, sem esforço, os sistemas de controlo remoto sem fios ou por infravermelhos possibilitam que os utilizadores possam gerir individualmente os seus próprios níveis de conforto sem saírem dos seus lugares e simultaneamente poupar energia.

Nos estabelecimentos comerciais a iluminação assume cerca de 20 a 30% do consumo de eletricidade. Aumentar a iluminação natural é sinónimo de grandes poupanças

pelo que os sistemas de controlo da luz natural podem reduzir em 50 a 80% os custos com a energia gasta em iluminação.

## 1.6 Edifícios energeticamente eficientes

Durante a fase de conceção de um edifício, a adoção de algumas estratégias influencia significativamente o seu desempenho em termos do conforto térmico. Como o consumo energético depende das condições de conforto que os ocupantes querem atingir, se o edifício estiver pouco adaptado ao clima local será necessário maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico pretendido. Contudo, se na conceção de um edifício são utilizadas as estratégias *bioclimáticas* corretas, o edifício fica mais próximo de atingir as condições de conforto térmico e de diminuir os respetivos consumos energéticos para atingir esses fins ([Gonçalves, 2004](#)).

As estratégias a adotar para a criação de edifícios sustentáveis, são um conjunto de regras ou medidas de carácter geral, destinadas a influenciar a forma do edifício, bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adotar num determinado projeto, deverão ser selecionadas tendo em atenção as condições climáticas do local, a função do edifício e, conseqüentemente, o modo de ocupação e operação do mesmo, com o objetivo de promover um bom desempenho em termos de adaptação ao clima.

Deve-se fazer o aproveitamento da massa térmica, através da utilização de sistemas solares passivos, tirando partido da capacidade do betão em termos de armazenagem de calor/energia.

A satisfação das exigências de conforto térmico no interior dos edifícios, assenta em determinados padrões definidos, tendo em conta uma perspetiva de custo-qualidade e a preocupação de redução de consumos energéticos. Pode ser conseguida desde que no projeto dos mesmos, sejam contempladas determinadas disposições construtivas, a maioria das quais aplicadas à envolvente das habitações.

A avaliação da qualidade térmica de projetos de edifícios é a metodologia capaz de

estabelecer o relacionamento entre os valores dos parâmetros térmicos característicos do projeto e os valores de referência fixados de forma a satisfazer as exigências de conforto dos seus utentes.

## 1.7 Tecnologias ativas e passivas de climatização

A noção de ativa ou passiva neste contexto tem muito a ver com a introdução, ou não, de elementos mecânicos no sistema, centralizado ou não, de climatização. Ou seja, toda a construção civil, residencial ou de serviços, que na sua conceção, não possua qualquer elemento mecânico com objetivo único de climatização ambiente ou de Águas Quentes Sanitárias (AQS), podemos afirmar que este edifício não tem qualquer tecnologia ativa de climatização.

Na sua falta entra em cena as possibilidades passivas de climatização. Essas, levar-nos-ão a conceitos que talvez fujam um pouco à orientação inicial deste documento mas, como julgo enriquecê-lo, enumerarei alguns.

Como exemplo de sistemas passivos de climatização e tendo por base a fonte de energia Sol temos os diretos, ou seja, qualquer parede ou janela orientada a Sul (no hemisfério Norte) banhada pela fonte Sol. Em todos os sistemas de ganho direto, as considerações mais importantes com respeito aos ganhos solares são as dimensões e a localização dos envidraçados. Qualquer janela, com vidro transparente, orientada a Sul, ou com pequenos desvios a Este ou a Oeste, que comunique diretamente com um espaço habitado, constitui um captador solar.

Nos sistemas de ganho indireto a radiação solar incide sobre uma massa térmica colocada entre o Sol e o espaço a aquecer. A radiação absorvida pela massa transforma-se em energia térmica que é transferida para o interior do edifício. Já que o espaço a climatizar não recebe diretamente a radiação solar, os sistemas de ganho indireto oferecem mais possibilidade de controlo das oscilações de temperatura, evitando sobreaquecimentos. Os três sistemas base de ganho indireto são: as paredes acumuladoras (paredes de Trombe), as paredes e coberturas de água e o ganho

separado. A diferença principal entre os três sistemas é a localização da massa térmica, no primeiro caso na superfície lateral, no segundo caso na cobertura e no último caso encontra-se por baixo do espaço a climatizar ([Mendonça, 2005](#)).

## 1.8 Fontes de energia renovável

Energias Renováveis são todas aquelas cuja taxa de utilização é inferior à sua taxa de renovação.

São, por isso, fontes inesgotáveis de energia, obtidas a partir da Natureza. O sol, o vento e a água são delas alguns exemplos. Podemos assim destacar:

- a Energia Solar, a energia proveniente do Sol, poder-se-á converter ou em eletricidade ou em calor, exemplo disso são os coletores solares térmicos e painéis fotovoltaicos, para aquecimento ambiente e/ou águas quentes sanitárias ou produção de eletricidade, respetivamente;
- a Energia Eólica, energia proveniente do vento, pode converter-se em eletricidade através de turbinas eólicas;
- a Energia Hídrica, a energia proveniente da água dos rios, das marés e das ondas, pode ser convertida em energia elétrica através da construção de barragens;
- a Energia Geotérmica, energia proveniente do interior da terra. Pode, através do calor, promover o aquecimento ambiente ou de AQS.

Quando se fala de energias renováveis, estamos a referir-nos a um grande número de tecnologias que podem disponibilizar serviços de energia, na forma de eletricidade, aquecimento e arrefecimento e soluções de transporte, de maneira sustentável. As questões que se colocam ao sector das energias renováveis não devem concentrar-se, por exemplo, apenas em saber se o sistema de energia deve ter uma estrutura

centralizada ou descentralizada, ou qual a tecnologia renovável que se imporá no futuro. Todas as soluções e todos os tipos de energias renováveis devem ser considerados como interdependentes, numa perspetiva de diversificação do aprovisionamento energético, da mitigação das alterações climáticas e do desenvolvimento sustentável ([Castro, 2011](#)).

A integração de energias renováveis nos edifícios é um dos desafios do século nesta matéria. Um edifício eficiente permite a incorporação de um sistema que capte a energia e a transforme numa fonte de energia que seja útil no seu interior. A integração dos sistemas de energias renováveis em edifícios é por si só uma garantia de um edifício energeticamente eficiente.

A utilização das energias renováveis, como por exemplo a solar, através de painéis solares térmicos ou fotovoltaicos, para a produção de calor ou de energia elétrica, é uma solução para a qual Portugal pode e está a dar cartas. Dispõe deste recurso em grande abundância. Comparando a disponibilidade de horas de Sol por ano com outros países da União Europeia como por exemplo a Alemanha, Portugal está em muito boa posição.

No entanto, estes devem ser tidos como complementos à arquitetura dos edifícios que não devem descurar o aproveitamento de estratégias de design passivo, como o uso da orientação solar, da ventilação natural, da inércia térmica e do sombreamento, entre outras. No final de 2009, a Energia Fotovoltaica a nível global cumulativo ultrapassou os 21 GW sendo que parques de energia fotovoltaica são comuns na Alemanha, Portugal e em Espanha. Considerando que muitas das iniciativas em energia renovável são em grande escala, muitas, pelo contrário, são aplicadas e adequadas à pequena escala, em espaços e áreas rurais, onde não existe rede elétrica. Globalmente, cerca de três milhões de famílias recebem energia a partir de pequenos sistemas fotovoltaicos ([informação ER](#)).

## 1.9 Sumário

Num capítulo introdutório é de esperar que se enquadre o trabalho, que se apresente o estado de arte da temática que se desenvolverá e se encontra em estudo e, não menos importante, que se muna o leitor de uma base teórica com informação técnica que lhe possa ser útil durante a leitura do documento. E assim aconteceu.

Seguidamente e nos próximos capítulos, tendo sempre presente o *triângulo vetorial* apresentado - a climatização, a iluminação e a energia - apresentar-se-á informação relativamente à influência desses vetores no tema base deste caso de estudo - a EE.

O primeiro vetor a desenvolver será o da climatização. Será apresentada informação sobre os vários tipos de sistemas que comercialmente se encontram disponíveis no mercado atualmente assim como os seus componentes principais.



# 2

## Sistemas de Climatização

---

A climatização constitui um parametro importante na EE de qualquer edificio. Neste capítulo far-se-á uma apresentação de algumas soluções que comercialmente estão disponíveis no mercado.

É habitual ouvir-se, mais frequentemente por cidadãos *norte-europeus*, que Portugal é um país de clima suave. Contudo a verdade é que em algumas regiões de Portugal, as necessidades de aquecimento ou de arrefecimento, das habitações são uma realidade, se calhar hoje ainda mais premente do que há alguns anos atrás, devido, por um lado, às técnicas de construção e, por outro, às maiores exigências de conforto, por parte da população.

Como exemplo refira-se que a arquitetura tradicional das regiões do Sul do país, utilizava materiais e técnicas de construção que dispensavam, praticamente, a necessidade de arrefecimento, ainda que o aquecimento fosse imprescindível, durante o período mais rigoroso do Inverno. Era então que se recorria às lareiras e pouco mais do que isso.

Com as alterações que ocorreram nas técnicas de construção, as habitações são em quase tudo igual, quer no Norte quer no Sul do país.

Cabe aqui referir, que a aplicação correta do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que impõe regras na conceção e na construção da envolvente dos edifícios, conduz, inevitavelmente, a uma redução das necessidades de aquecimento e também de arrefecimento, o que se pode considerar extremamente benéfico do ponto de vista energético.

## 2.1 O aquecimento ambiente

Até há bem pouco tempo era tradicional apenas o aquecimento do ambiente em habitações e pequenos edifícios por meio de radiadores, usando água aquecida numa caldeira, que funcionava quase sempre a lenha ou a gasóleo. Hoje, talvez seja o gás butano, propano ou natural, o combustível mais utilizado nesse tipo de instalações.

Mesmo a solução de aquecimento com radiadores perdeu alguma da implantação, para as instalações de aquecimento por bomba de calor ar/ar ou ar/água, nos casos acima referidos, mesmo sem se poder dizer, estatisticamente, quais as percentagens de cada uma daquelas soluções.

Durante uma época, não muito distante, casos houve onde o aquecimento de alguns daqueles tipos de edifícios, e até mesmo institucionais, foi feito através de convetores elétricos!

Apenas do ponto de vista energético, a solução de aquecimento por meio de resistências elétricas é sem dúvida a pior. Se recordarmos que à produção de energia elétrica estão associados problemas de natureza ambiental, poder-se-ia ou dever-se-ia concluir que o aquecimento ambiente e por extensão o de água, que é também muito divulgado, não deveria ser permitido, utilizando a energia elétrica por efeito de Joule.

Contudo, para além daquela conclusão, há outros fatores que merecem igualmente uma análise. À partida, colocam-se os custos diretos envolvidos, os de investimento nos equipamentos de transformação e os custos de exploração (compra do combustível, áreas ou volumes para aprovisionamento, meios de transporte, etc.), os quais são fortemente condicionados por razões energéticas.

Depois, vêm os aspetos de natureza logística: as redes de distribuição de energia elétrica existem hoje por todo o lado, enquanto as de gás existem apenas nas grandes cidades, em Portugal, já que a realidade noutros países pode ser outra.

Por esse motivo é que em muitas casas se aquece a água para os banhos em termoacumuladores elétricos e o ambiente, durante o Inverno, com convetores elétricos.

Nas secções seguintes descrevem-se as tecnologias mais usuais para aquecimento ambiente.

### 2.1.1 Aquecimento com caldeira e radiadores

Instalações que raramente ultrapassam valores de potência de aquecimento situados entre 30 e 40 kW e que, em geral, constituem uma só denominada zona térmica.

São constituídas por uma caldeira, um conjunto de unidades terminais, quase sempre radiadores de pavimento, uma rede de distribuição de água, um conjunto de acessórios indispensáveis, nos quais se inclui uma bomba de circulação e o controlo necessário para que os diversos equipamentos funcionem regularmente e de modo seguro.

#### Caldeira

Uma classificação das caldeiras mais usadas nas pequenas instalações de aquecimento, pode ser feita segundo o combustível utilizado:

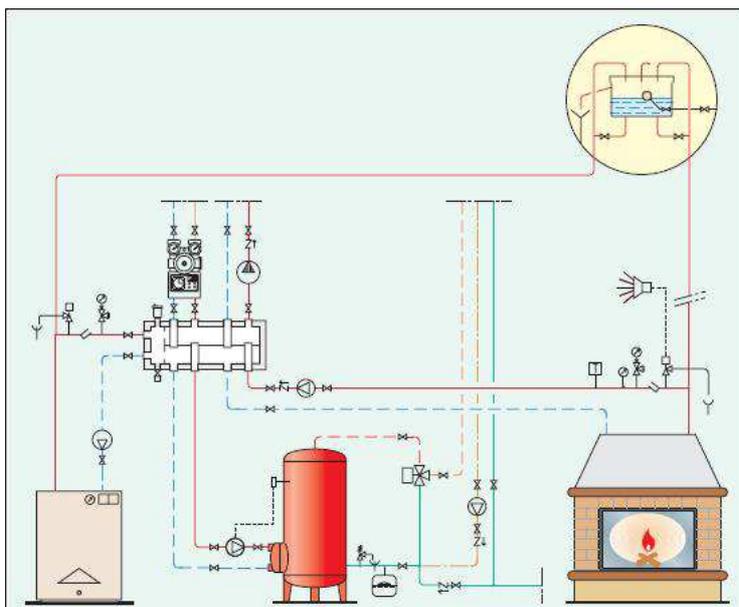
- caldeira para combustíveis sólidos - lenha ou carvão;
- caldeira para combustíveis líquidos - gasóleo nas pequenas instalações;
- caldeira para combustíveis gasosos - gás natural, propano ou butano;
- caldeiras a energia elétrica.

### Caldeiras de combustível sólido

Nas instalações de aquecimento doméstico, as caldeiras de combustível sólido são exclusivamente de alimentação manual. Por essa razão, deve instalar-se o primeiro radiador perto da caldeira, para que durante uma falha de corrente, não ocorra uma elevação de temperatura e de pressão, que destrua a instalação e coloque em perigo as pessoas.

Esse radiador deverá ser de dimensões adequadas para que, com facilidade, dissipe, por circulação natural, o calor gerado na caldeira.

A instalação de depósitos de expansão abertos (figura 2.1) é outra técnica correntemente usada, mais adequados para absorver grandes variações de volume de água, resultantes do aumento de temperatura.



**Figura 2.1** – Instalação em vaso aberto (imagem Caleffi).

Uma anomalia de funcionamento como a que acima se fez referência, pode conduzir inclusive à vaporização da água na caldeira se não houver capacidade para rejeitar o calor nos radiadores. Nessas condições os depósitos de expansão fechados manifestam-se ineficazes.

A principal desvantagem dos vasos de expansão abertos é o contacto que permitem entre a água e o ar, ficando os circuitos mais expostos à corrosão.

A bomba de circulação é quase sempre montada no circuito de retorno, uma vez que funciona com temperatura mais baixa, e também mais constante, não ficando sujeita às variações de carga térmica da caldeira.

A dificuldade de automatizar, rigorosamente, o funcionamento da queima, pelo menos em caldeiras de pequena dimensão, é uma das desvantagens destas instalações, embora elas possam ser providas de um regulador de temperatura que em função da temperatura da água na caldeira, abra ou feche um registo de ar, colocado na base da câmara de combustão.

### Caldeiras a gasóleo

Estas caldeiras têm um queimador, figura 2.2, equipado com uma bomba, a qual tem, geralmente, capacidade para aspirar o combustível desde o depósito, situado a uma certa diferença de cotas e/ou a uma certa distância do equipamento de queima.

Se os limites indicados para a capacidade da bomba do queimador forem ultrapassados, deverá ser instalado um grupo de pressurização. Nas pequenas instalações os reservatórios podem ser enterrados ou apoiados no chão.

Estas caldeiras já incorporam alguns dispositivos de segurança, tais como um termostato e um interruptor colocado na porta, ambos servindo para cortar a corrente elétrica à bomba de combustível do queimador. No circuito de controlo do queimador existe um termostato da caldeira, também designado por *aquastato* e, em alguns casos, um termostato ambiente.

### Caldeira a gás

As caldeiras a gás para aquecimento utilizadas em pequenas instalações, podem ser murais, para montagem numa parede, ou apoiadas, tal como as que se apresentaram



**Figura 2.2** – Queimador (imagem Sanitop).

para os outros combustíveis.

### **Caldeira mural**

Tem um queimador atmosférico e, em geral, incorpora um depósito de expansão fechado, um circulador e ainda uma válvula de segurança. A figura 2.3 ilustra um exemplo.

Podem ser só para aquecimento, ou para aquecimento e para produção de água quente sanitária, podendo esta produção ser instantânea ou por acumulação. Na maioria dos modelos, a prioridade é dada à produção de água quente sanitária.

Os queimadores atmosféricos utilizam a pressão do gás para provocar a aspiração do ar necessário para a combustão e possuem um termopar como dispositivo de segurança. A chama piloto da caldeira, ao incidir no termopar, permite manter aberta a válvula de passagem do gás que alimenta o queimador. No caso da chama se apagar, o termopar deflete e a válvula fecha.

São caldeiras que têm pequena capacidade no circuito interno de água e que funcionam com pressões de 3 bar (e até inferiores) o que as torna adequadas para serem

instaladas em locais onde haja pessoas, desde que cumpridas algumas regras.

Existem em modelos cuja capacidade pode atingir 30kW, com temperaturas da água de 90°C, funcionando com rendimentos de cerca de 90%.



**Figura 2.3** – Caldeira mural (imagem Baxiroca).

As caldeiras são equipamentos que devido ao facto de promoverem a combustão, potencialmente perigosa, devem observar-se algumas regras na sua montagem e funcionamento, nomeadamente no que se refere ao espaço necessário, à sua localização no edifício, à construção de chaminés e aos materiais utilizados.

Relativamente à sua instalação destacam-se as seguintes regras:

- instalação de órgãos de proteção, uma válvula de segurança, uma válvula de retenção na tubagem de alimentação, válvulas de corte para facilitar desmontagem, manómetro e termómetro;
- instalação de um filtro e um sistema de tratamento de água, principalmente se a caldeira se destinar também à produção contínua de água quente;
- a caldeira deverá ser instalada em locais confinados, nem abaixo do nível do solo, situação que se tomaria perigosa, principalmente com combustíveis gasosos;

- deverá ser previsto um espaço suficiente para a caldeira, que facilite a circulação do pessoal para manutenção, ou para uma eventual desmontagem, assim como para a passagem do ar necessário à combustão.<sup>1</sup>

### 2.1.2 Chaminé

Destinam-se à evacuação segura dos gases de combustão e, para que isso aconteça, é necessário que consigam promover a depressão suficiente na câmara de combustão. A altura e a secção são os seus parâmetros críticos.

Em geral, nas pequenas instalações de aquecimento, é suficiente que o extremo superior da chaminé passe acima do ponto mais alto do telhado, ou dos edifícios vizinhos (se a sua proximidade for inferior a 10m) para que a turbulência originada pelo ar exterior não dificulte a tiragem dos gases.

O mesmo não se passará com chaminés de caldeiras de maior porte, para as quais terá que observar-se, para além dos aspetos da tiragem correta sob o ponto de vista da combustão, outros relativos à dispersão segura dos fumos, para que o ambiente em redor não se tome irrespirável.

O método clássico consistia em construir chaminés em tijolo refratário, o que lhes conferia a propriedade dos fumos não perderem calor. Nesses casos o aquecimento da envolvente era reduzido e os fumos não atingiam o ponto de orvalho. Hoje a maior parte das chaminés são construídas com tubos metálicos, os quais devem, pelas razões evocadas, ser isolados.

---

<sup>1</sup>A este propósito convém recordar que o oxigénio ( $O_2$ ) necessário à combustão é cerca de 1/5, em volume, do ar e, por isso, para caldeiras de grande dimensão são precisos caudais de ar muito grandes. A combustão completa de um combustível produz dióxido de carbono,  $CO_2$ , enquanto a combustão incompleta produz monóxido de carbono,  $CO$ . Daí que a combustão mais eficiente é aquela em que a quantidade de ar é a estritamente necessária para queimar todo o combustível, produzindo  $CO_2$ .

### 2.1.3 Os circuitos de aquecimento

Os traçados mais comuns dos circuitos de aquecimento, por água, são os que se representam nos esquemas das figuras 2.4, 2.5 e 2.6 (Uponor, 2011).

Os primeiros traçados, figuras 2.4 e 2.5, constituem o sistema mais tradicional de instalação de radiadores. Neste, os emissores estão montados em paralelo, pelo que a água que chega a cada radiador a partir da caldeira regressa diretamente a ela, neste tipo de instalação a temperatura de entrada em todos os radiadores é praticamente a mesma.

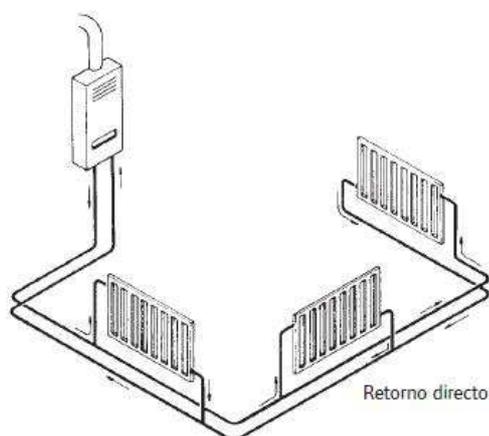


Figura 2.4 – Retorno direto

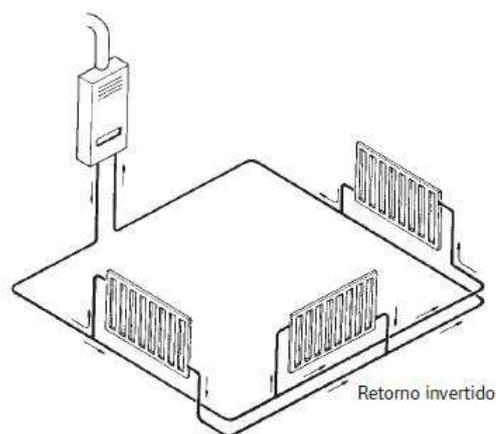


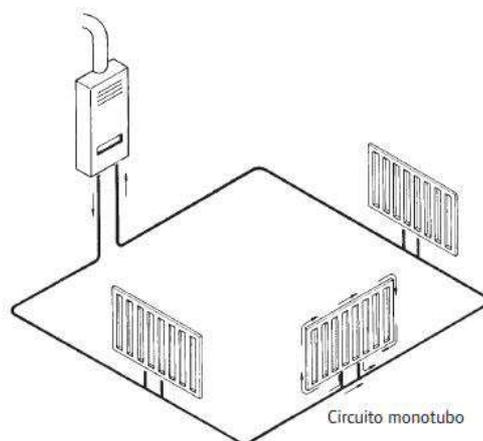
Figura 2.5 – Retorno invertido

Como podemos observar nas figuras 2.4 e 2.5, existem dois tubos principais, um de ida e outro de retorno, onde se vão ligando os diferentes radiadores. Existem duas possibilidades: retorno direto ou invertido. No primeiro, o tubo de retorno parte do radiador mais afastado e vai recolhendo a água dos diferentes radiadores até devolvê-la à caldeira. O trajeto da água é menor para o radiador mais próximo, pelo que a sua perda de carga é menor e existe a necessidade de regular o caudal de modo adequado.

Com o retorno invertido, o tubo de retorno parte do radiador mais próximo da caldeira e segue o sentido da alimentação, chegando até à caldeira. Os trajetos de cada radiador são idênticos em comprimento, pelo que não se requer uma regulação

de caudal.

Na figura 2.6, mostra-se um sistema de instalação em que os emissores estão instalados em serie, isto é, o retorno do primeiro radiador faz de ida do segundo, por sua vez o retorno deste faz de ida para o terceiro e assim sucessivamente até voltar a caldeira. Este tipo de circuito recebe o nome de anel.



**Figura 2.6 – Monotubo.**

Tal como nos mostra a figura 2.6, a água entra na válvula *monotubo*, uma parte dessa água é distribuída pelo emissor, enquanto a restante irá diretamente para o retorno, misturando-se com a água de saída do emissor. A água de retorno, a menor temperatura, é aproveitada para alimentar o emissor seguinte do anel.

Neste caso, as temperaturas da água são diferentes em cada emissor. Por isso, os últimos emissores do anel têm que ser ligeiramente sobredimensionados para compensar essa descida de temperatura.

Das soluções apresentadas a mais usada é a primeira, em retorno invertido ou direto.

### 2.1.4 Tecnologia de aquecimento com bomba de calor

É uma técnica mais recente do que o aquecimento com caldeira. Baseia-se segundo um ciclo frigorífico<sup>2</sup> (figura 2.7), mas em que o objetivo pretendido se situa ao nível da fonte quente, ou seja do calor libertado no condensador.

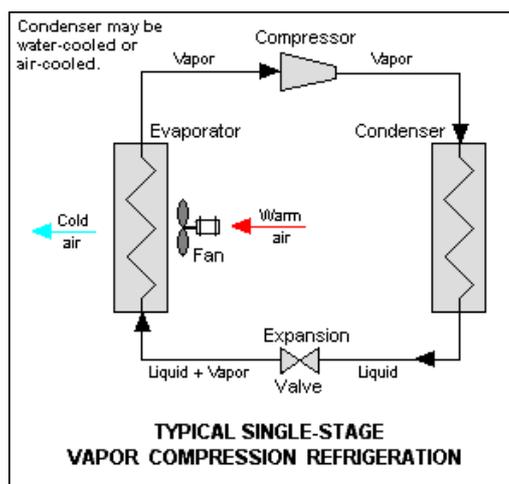


Figura 2.7 – Esquema de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

O ciclo frigorífico pode ser por compressão, ou por absorção, embora as unidades mais pequenas utilizem, quase exclusivamente, o primeiro. As que funcionam segundo o ciclo de compressão, utilizam um compressor mecânico do tipo alternativo, ou rotativo, geralmente hermético em que o compressor e o motor ficam encerrados no mesmo carter.

É portanto, a energia elétrica que sendo fornecida à bomba de calor lhe permite aumentar o fluxo energético que retirado à fonte fria, será fornecido à fonte quente, conforme fórmula seguinte. O parâmetro que serve para caracterizar a bomba de calor do ponto de vista energético é a eficiência,  $E$ , adimensional, que se define através de:

$$E = \frac{Q_c}{P_a} \quad (2.1)$$

<sup>2</sup>Informação Wikipédia, acedida em <http://pt.wikipedia.org>

onde  $Q_c$  é a potência libertada na fonte quente (o local a aquecer ou a água de um circuito de aquecimento) e  $P_a$  a potência absorvida na compressão do fluido que opera no ciclo.

Por vezes aquela razão de potências também se designa por COP, de *Coefficient of Performance*.

### Classificação das bombas de calor

Uma classificação usual das bombas de calor é realizada com base nas fontes utilizadas. As mais conhecidas são:

- ar/ar;
- ar/água;
- água/água;
- terra/ar (ou água).

As mais usadas no aquecimento de espaços residenciais recaem nas primeiras duas.

### Bomba de calor ar/ar

Pode apresentar-se sob diversas formas construtivas:

- unidade compacta, com todos os componentes dentro da mesma caixa, podendo ser ligada a uma rede de condutas, figura 2.8;
- unidade com elementos separados, *split*, com ou sem adaptação a condutas;

- unidade compacta, tipo aparelho de janela.

Todas as formas construtivas dispõem dos mesmos componentes: compressor, quase sempre do tipo hermético, evaporador e condensador, com tubos em cobre e alhetas em alumínio, com um conjunto de acessórios e de automatismos podendo variar de um tamanho para outro da bomba de calor.



**Figura 2.8** – Bomba de calor ar/ar (imagem Carrier).

A bomba de calor ar/ar tem uma característica de funcionamento que, para uma dada temperatura interior, a potência é tanto maior, quanto mais elevada for a temperatura exterior.

Dado que o clima em Portugal, durante a maior parte da estação de aquecimento, apresenta temperaturas do ar significativamente acima de  $0^{\circ}\text{C}$  em quase todas as regiões, torna a utilização das bombas de calor ar/ar mais vantajosas.

O COP deste tipo de bombas de calor é grandemente afetado, logo que a temperatura do ar exterior se aproxima de  $0^{\circ}\text{C}$ , em virtude do gelo que se forma no evaporador, sendo necessário parar o ciclo normal de funcionamento e proceder à descongelação do evaporador.

### Bomba de calor ar/água

Apresenta-se quase sempre sob uma forma compacta, ou seja com o compressor, evaporador, condensador, restantes acessórios e automatismos, dentro do mesmo compartimento, figura 2.9.

Todos os componentes são idênticos aos descritos para a bomba de calor ar-ar, à exceção do condensador (evaporador, durante o ciclo de arrefecimento se a bomba de calor for reversível). Este é um permutador de calor ar/água (daí a designação), geralmente de duplo tubo, em cobre, ou um permutador de placas. Em bombas de calor de pequena dimensão, raramente se utilizam permutadores do tipo *shell and tube*.



**Figura 2.9** – Bomba de calor ar/água (imagem Carrier).

À semelhança da bomba de calor ar/ar, esta apresenta uma característica de funcionamento sensível às variações da temperatura exterior e exatamente no mesmo sentido.

## 2.2 O arrefecimento ambiente

O arrefecimento ambiente, por meios mecânicos, de pequenos edifícios de habitação, tais como vivendas, apartamentos, ou até mesmo partes de edifícios para outras

atividades era, até há pouco tempo, uma técnica pouco utilizada, embora recorresse a tecnologia anterior à da bomba de calor para o aquecimento.

A maioria dos equipamentos mecânicos utilizados para este fim, utiliza um ciclo frigorífico por compressão, independente das fontes, ou do tipo de construção (unidade de janela, com condensador remoto ou unidade compacta com condutas) pelo que a sua constituição é em tudo semelhante à bomba de calor.

A tecnologia dos equipamentos para o arrefecimento ambiente, por ciclo de compressão mecânica, encontra-se atualmente muito evoluída, principalmente nos domínios do controlo e do ruído produzido. A instalação é simples mas nem mesmo assim se observam, muitas vezes, algumas regras fundamentais, das quais se destacam:

- a existência de esgoto de condensados dirigido para um sorvedouro adequado;
- a instalação do condensador em locais adequados, com circulação de ar suficiente para que a *descarga* não perturbe as pessoas, nem altere a estética dos edifícios.

Apresentam-se a seguir técnicas adequadas à tipologia dos edifícios tratados neste capítulo, mais interessantes do ponto de vista energético, muito embora não se encontrem muito divulgadas no nosso país.

### 2.2.1 Arrefecimento evaporativo

O processo de arrefecimento evaporativo pode ser uma possibilidade nas zonas do interior do país, onde o verão é quente e seco e o ar exterior apresenta, em média, valores de temperatura elevada e humidade relativa (HR) baixa.

Tem, nestas condições, capacidade para evaporar a água de um reservatório sobre o qual circula, ou a água distribuída sobre uma superfície atravessada por um fluxo de ar.

Um exemplo de um equipamento de arrefecimento evaporativo é o que se apresenta

na imagem da figura 2.10, descrito mais á frente, comercialmente conhecido como unidade de tratamento de ar (UTA).



**Figura 2.10** – UTA (imagem Carrier).

Os componentes principais do equipamento, para além dos ventiladores de insuflação e de extração, são:

- o recuperador de calor cuja finalidade é a de transferir o calor entre os dois fluxos de ar. Pode ser um permutador de matriz rotativa, tubos de calor, ou outro;
- a bateria de arrefecimento evaporativo, onde o ar extraído do local arrefece e humidifica;
- um dispositivo colocado a seguir à bateria de arrefecimento evaporativo, para fixar gotas de água, que tenham sido arrastadas pelo fluxo de ar, designado vulgarmente por separador de gotas.

Este sistema funciona apenas com ar novo e sem humidificação desse fluxo de ar, o que constitui duas vantagens interessantes, a juntar a uma terceira, não menos importante: o pequeno consumo de energia para funcionar.

Esta técnica afigura-se com grandes potencialidades no caso de edifícios onde a carga térmica de arrefecimento seja dominada pelo efeito da envolvente: ganhos solares e/ou de transmissão.

Contudo, não permite realizar grandes potências de arrefecimento, ou para o fazer necessita de caudais de ar elevados, o que exige condutas de grande dimensão com perdas de carga elevadas. Esta talvez seja a maior desvantagem.

## 2.3 Tecnologia dos sistemas de ar condicionado

Os sistemas que permitem aquecer, ventilar, arrefecer, humidificar ou desumidificar o ar, são designados, genericamente, por Sistemas de Climatização ou por sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, AVAC.<sup>3</sup>

Seja qual for o termo, à definição apresentada resta, porém, acrescentar mais dois aspetos fundamentais nas instalações, para além dos processos termodinâmicos associados às evoluções do ar, acima mencionados: a qualidade do ar, sob os aspetos físico/químico e bacteriológico e também o nível de ruído nas instalações.

São dois parâmetros fundamentais, o primeiro associado à ventilação e filtragem do ar, e o segundo, às instalações e aos equipamentos, principalmente aos que fazem a distribuição do ar nos locais a climatizar.

Uma vez que os sistemas que a seguir se apresentam, permitem realizar todas aquelas especificidades, serão designados por Sistemas de Ar Condicionado (SAC).

Estes são, em geral, aplicados em instalações de grandes dimensões, exigentes no que se relaciona com o conforto, quase sempre em edifícios não residenciais, como é o caso de hotéis, hospitais, ou edifícios administrativos.

É possível idealizar inúmeras soluções de SAC. Muitas vezes a criatividade do projetista, limitada, obviamente, pelos meios disponíveis e por critérios racionais

---

<sup>3</sup>A última designação é muito vulgar na literatura de origem americana - Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC.

(económicos e segurança) e mesmo estéticos, pode levá-lo à conceção de sistemas não catalogados. Atualmente, a preocupação mais importante talvez seja a minimização do consumo de energia.

A classificação mais utilizada baseia-se no fluido utilizado para transferir a energia entre o ar dos locais a climatizar e os equipamentos terminais. Assim ter-se-á:

- sistemas tudo ar;
- sistemas ar/água;
- sistemas tudo água;
- sistemas com expansão direta de um fluido refrigerante.

O ar e a água são, para além das suas propriedades físicas excelentes, fluidos não tóxicos que se encontram facilmente disponíveis e a um reduzido custo. Este último aspeto é importante, porque a utilização de outros fluidos poderá ser gravosa, tanto sob o ponto de vista da segurança como económico – quando se pensar que a ocorrência de fugas acidentais nas instalações, poderá conduzir à sua perda total ou parcial.

A decisão na escolha do sistema não é fácil e muitas das vezes não depende apenas de critérios objetivos, pertencentes ao campo específico das instalações. Para uma escolha mais sustentada, apresentam-se de seguida as características fundamentais, esquemas de funcionamento e da representação das evoluções do ar no diagrama psicrométrico, bem como algumas vantagens e desvantagens de cada um dos sistemas acima listados.

### 2.3.1 Sistema tudo ar

O que identifica os sistemas tudo ar é que eles devem prover todas as necessidades de arrefecimento. As necessidades de aquecimento podem, ou não, ser providas

por esses sistemas. Uma classificação dos sistemas tudo ar é a que se apresenta a seguir, segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE).

Basicamente há duas grandes classes: via simples, quando o aquecimento e o arrefecimento do ar são feitos em série (a mesma rede de condutas distribui o ar frio, ou quente, a todas as unidades terminais); via dupla, quando o aquecimento e o arrefecimento do ar são feitos em paralelo, ou quando o arranjo das baterias de aquecimento e de arrefecimento é um misto série-paralelo.

Nos sistemas de via simples é utilizada uma só conduta para a distribuição do ar até uma zona, ou um local, enquanto nos de via dupla poderá ser utilizada uma conduta, como é o caso dos sistemas multi-zona, ou duas, nos casos de dupla conduta para os casos sejam de volume de ar constante ou variável.

Na tabela seguinte, apresenta-se uma lista de alguns dos sistemas tudo ar, precisamente os mais divulgados e para os quais, de seguida, se fará uma descrição mais detalhada.

**Tabela 2.1** – Tipos de sistemas tudo ar

Via simples	Volume constante Zona simples Reaquecimento terminal Volume de Ar Variável (VAV) VAV com reaquecimento
Via dupla	Volume constante Volume constante com reaquecimento VAV Multi-zona

Uma vez escolhido o sistema tudo ar, algumas das questões que se devem colocar são, entre outras, as seguintes:

- qual a carga térmica do local que influencia o dimensionamento das condutas?  
No caso de o sistema vir a ter conduta simples, a maior das cargas associada à diferença de temperaturas determinará a dimensão das condutas. Dever-se-á também considerar a variação de volume específico do ar para as duas situações extremas, verão e inverno;
- qual a diferença de temperaturas entre o local a climatizar e o ar de insuflação?  
Deve dizer-se que existe alguma liberdade na escolha desta diferença de temperaturas. Se o critério tiver recaído sobre a carga de arrefecimento, como é normal acontecer na maior parte dos projetos de SAC em Portugal, quanto menor for a temperatura de insuflação menores são as dimensões das condutas, e por consequência as dos ventiladores. Contudo, alguns aspetos negativos devem ser referidos: maiores riscos de condensação junto aos locais de descarga do ar; eventual existência de correntes de ar frio localizadas e fraca renovação de ar o que pode ser insuficiente para diluir odores.

Deve também ser referido que para se obterem temperaturas de insuflação mais baixas, são necessárias potências mais elevadas para os equipamentos de produção de frio, podendo não compensar as vantagens que energeticamente adviriam da redução dos caudais de ar.

Qual o tipo de condutas que se deve utilizar: de alta ou de baixa velocidade? De alta, média ou baixa pressão? As condutas de alta velocidade de ar conduzem a dimensões reduzidas, o que implica uma diminuição do espaço necessário, mas as perdas de carga são mais elevadas, assim como maior o ruído e vibrações.

Com este tipo de sistemas consegue-se realizar arrefecimento apenas com ar exterior, normalmente designado por arrefecimento livre (*free-cooling*), sem a bateria de arrefecimento a funcionar.

A seguir apresentam-se algumas vantagens dos sistemas tudo ar:

- adaptam-se facilmente à mudança aquecimento/arrefecimento ou inversa;

- possibilitam o maior aproveitamento da utilização do ar exterior para produzir arrefecimento livre;
- facilitam a integração de sistemas de recuperação de energia, como seja a utilização de recuperadores entre o ar de extração e o ar novo;
- podem permitir um controlo rigoroso e mais fácil da HR;
- total ausência de equipamentos, cabos elétricos, ou tubagem no interior dos espaços o que significa total ausência de manutenção nos locais;
- pela razão acima, a área do chão nos espaços assim climatizados, fica totalmente livre.

Aos sistemas tudo ar, podem genericamente, ser apontadas as seguintes desvantagens:

- necessitam de grande espaço livre na zona superior dos locais climatizados, o que implica maior pé-direito disponível;
- o equilíbrio da distribuição do ar a todos os locais é, por vezes, muito complicado e depende grandemente do tipo de unidades terminais utilizadas. O fecho de uma zona a cargo de uma unidade que sirva simultaneamente outras, desequilibra a rede de distribuição de ar;
- o acesso a todas as unidades terminais, tais como caixas de mistura, ou registros, é um assunto que deve ser previsto no início dos projetos, entre as diversas especialidades envolvidas.

Como exemplo de sistemas tipo *tudo ar* temos:

- conduta simples – zona simples – volume constante;

- conduta simples – reaquecimento terminal;
- conduta simples – VAV;
- sistemas de dupla conduta – volume constante;
- sistemas de dupla conduta – VAV;
- sistemas multi-zona.

### 2.3.2 Sistemas ar/água

Os sistemas ar/água são bem distintos dos sistemas tudo ar porque utilizam dois meios, o ar (normalmente designado por ar primário) e a água, para transferirem calor e por vezes também massa (retirando ou introduzindo vapor de água), com os espaços a climatizar. Para tal é preciso que disponham, para além do equipamento central de produção de *frio* e de *calor*, um ou vários tipos de unidades terminais, que nos casos mais vistos são ventilo-convetores, podendo ainda ser unidades de indução, ou painéis radiantes.

Tal como se verá mais adiante, estes sistemas podem apresentar várias conceções de acordo com o tipo de circuito de distribuição de água que é utilizado. Os mais usados são os de dois tubos e os de quatro tubos, havendo no entanto a possibilidade de o sistema utilizar três tubos, sendo dois de ida e um de retomo.

Em algumas aplicações, o sistema de dois tubos utiliza apenas água fria, sendo o aquecimento feito por meio de resistências elétricas.

Os sistemas ar/água têm um campo de aplicação muito próprio como é o caso de zonas periféricas de edifícios com múltiplas zonas, nos quais não é exigido um controlo rigoroso da humidade relativa, podendo suprir todas as necessidades de arrefecimento, de aquecimento, ou de ambas em simultâneo.

### Descrição e funcionamento do sistema ar/água

A designação de ar primário é feita por contraponto a ar secundário, aquele que em cada espaço é recirculado. Daqui que seja também usual designar o circuito de água, para as unidades terminais, de circuito secundário.

A função do primeiro é a de satisfazer as necessidades de ventilação, servindo no verão para, simultaneamente, assegurar que a HR não seja muito alta dentro dos espaços climatizados e no inverno, para que o ambiente não seja excessivamente seco.

Mas, para que assim seja, é preciso que os caudais sejam os adequados e que as condições de insuflação sejam devidamente controladas. No verão, por exemplo, o ar é insuflado *frio e seco*, este é responsável pela remoção de parte da carga sensível do local e de parte, ou da totalidade, da carga latente. É assim, que o ar primário controla, indiretamente, a humidade relativa.

Se tal não se passar, então as unidades terminais deverão ter capacidade para remover o restante, ou até a totalidade das cargas latentes e, nesses casos, será necessário prever uma rede de tubagem para recolha de condensados.

Embora as unidades terminais possam trabalhar com condensação do ar na bateria de arrefecimento, deve-se referir que algum desses equipamentos, como as unidades de indução, não são preparadas para assim funcionarem.

### Os sistemas de ar primário

No caso das unidades de indução, os sistemas de ar primário podem utilizar retorno de ar e até mesmo serem dimensionados para funcionarem com 100% de ar exterior, desde que apresentem vantagens económicas decorrentes do funcionamento em certas estações do ano.

Poderá haver necessidade de prover a instalação de um humidificador, ou até de baterias de reaquecimento, por zona.

A distribuição do ar primário para as unidades de indução é feita através de redes de condutas de alta velocidade e de alta pressão, de onde podem advir problemas de ruído que não são fáceis de eliminar.

Quando as unidades terminais são ventilo-convetores, pode-se utilizar a mesma solução para a distribuição do ar primário, ou seja aquela em que a mistura entre este e o ar secundário ocorre dentro do próprio equipamento, antes do filtro e da bateria.

No entanto, para os ventilo-convetores e para os painéis radiantes, o ar primário pode ser fornecido separadamente.

### Sistemas de dois tubos

Tal como o nome indica funciona com dois tubos, um de ida e outro de retorno. Cada espaço, numa dada zona térmica de um edifício, dispondo de uma ou mais unidades terminais, pode receber água fria, ou água quente e ainda o ar primário.

Este último, pode ser fornecido a baixa temperatura, durante o Verão e estações intermédias e aquecido no Inverno. No entanto, pode mesmo durante o Inverno ser fornecido frio, se for necessário dispor de uma fonte de arrefecimento para algumas zonas.

A propósito das formas de fazer a distribuição do ar e da água, é importante conhecer à partida as características térmicas do edifício. Duas situações podem ocorrer: ou o edifício necessita de arrefecimento e de aquecimento; ou necessita apenas de arrefecimento, enquanto ocupado, podendo necessitar de aquecimento durante os períodos de não ocupação, como por exemplo durante a noite.

Para a primeira situação é importante determinar, à priori, para que condições exteriores o sistema deverá mudar do regime de arrefecimento para o de aquecimento, ou vice-versa. É costume designar a temperatura do ar exterior, para a qual o arrefecimento não é mais necessário, de temperatura de não arrefecimento - *change-over temperature*.

Pode-se acrescentar que mais correto do que determinar aquela temperatura será determinar a banda de temperaturas para as quais não é mais necessário o arrefecimento. Muitas vezes, se tal precaução não for tomada, podem ocorrer mudanças frequentes entre os ciclos de arrefecimento e de aquecimento, durante certas épocas do ano.

A transição da situação de funcionamento em regime de Verão, para uma intermédia, onde os ganhos de calor exteriores são menores (devido a uma temperatura mais baixa e eventualmente devido também a menores ganhos solares, o que acontece para algumas orientações), deverá ser feita gradualmente, aumentando a temperatura do ar primário, para que os locais com menores ganhos de calor não fiquem sub-arrefecidos.

A segunda situação, dita de *nonchangeover*, ou apenas arrefecimento, diz respeito a edifícios onde muito raramente seja necessário aquecimento. Nesses casos é quase sempre a fachada Sul, desde que disponha de envidraçados, onde os ganhos solares são elevados no Inverno, que necessita de arrefecimento. Por isso, uma solução com o sistema de dois tubos poderá ser a de conceber várias zonas, no que respeita à distribuição da água. Se essa for a solução, então os circuitos de ar primário devem obedecer aos mesmos critérios de distribuição por zona.

A partir de um certo valor da temperatura exterior, o ar primário é aquecido e o seu caudal deverá assegurar as eventuais necessidades de aquecimento, já que no secundário apenas circula água fria.

Em resumo, pode dizer-se que o projeto de um sistema ar/água de dois tubos exige uma avaliação correta do comportamento térmico do edifício, nomeadamente nos seguintes aspetos:

- determinação das zonas térmicas para a distribuição do ar primário. Estas zonas dependem das diferentes exposições/orientações do edifício;
- determinação das diferentes temperaturas de mudança de ciclo de arrefecimento e de aquecimento e vice-versa, para cada zona.

### Sistemas de quatro tubos

Com este sistema, cada unidade terminal dispõe de quatro tubos, dois para a água quente e outros dois para a fria, para além do ar primário.

As unidades terminais podem dispor de duas baterias, sendo uma para aquecimento e a outra para arrefecimento. Outras dispõem apenas de uma que, ou funciona com água quente ou com água fria, caso em que, duas válvulas de três vias são instaladas, uma na entrada e outra na saída da bateria.

A primeira daquelas funciona em sequência e tem a função de deixar entrar água quente, ou fria, enquanto a de saída, tendo igualmente duas posições faz a ligação da bateria com o tubo de retorno adequado.

### Os circuitos de distribuição de água

A água pode ser distribuída em dois circuitos:

- o primário, onde recebe, ou cede, calor para uma fonte - onde existe o *chiller* e a caldeira;
- o secundário onde essa energia é transportada até, ou desde, as unidades terminais. O secundário pode ter um permutador de calor entre ele e o circuito primário, ou mesmo não dispor de qualquer separação física com o primário. Neste último caso, parte da água do primário circulará no secundário.

#### 2.3.3 Sistemas tudo água

A principal diferença para os sistemas ar/água, é que as unidades terminais deverão ter capacidade para nos períodos de arrefecimento removerem tanto as cargas sensíveis como as latentes. Isto torna indispensável a existência de um circuito de recolha dos condensados. Tornam-se assim inadequados alguns tipos de unidades terminais tais

como os painéis radiantes e mesmo as unidades de indução. Os ventilo-convetores são as unidades mais usadas neste tipo de sistemas.

Algumas das alternativas na concepção deste sistema, no que respeita à ventilação, são as seguintes:

- apenas a que resulta das entradas de ar através de janelas, sem qualquer controlo adequado, que não seja a simples atuação das pessoas. No entanto, a existência de ventiladores de extração pode criar uma depressão no interior do edifício e assim o ar exterior infiltrar-se, através de portas ou de janelas. Este processo não é eficiente porque o ar entra quente e húmido no verão, e frio e seco no inverno, podendo mesmo, em alguns casos, conduzir a situações de desconforto;
- abertura nas paredes exteriores, com tomadas de ar para as unidades terminais, as quais nestes casos, deverão ser dimensionadas para tais funções;
- através de uma rede interior de condutas para cada zona.

O sistema tudo água tem como principal vantagem, a facilidade de permitir controlar individualmente a temperatura de cada espaço, mas simultaneamente a desvantagem de não garantir o controlo da humidade relativa.

A filtragem é, em geral, pouco eficiente com este sistema, quando se compara com os sistemas tudo ar.

Duas desvantagens operacionais que podem jogar em desfavor deste sistema, são a necessidade de ocupação de espaço dentro dos locais a climatizar e a existência de manutenção dentro desses espaços.

### **Os circuitos de distribuição de água**

Tal como no sistema ar/água, também podem ser de dois, três ou quatro tubos, sendo o primeiro e o último os mais utilizados.

No caso de ser de dois tubos, o sistema poderá estar preparado para funcionar apenas em arrefecimento ou em aquecimento e arrefecimento, obviamente não simultâneos. No primeiro caso diz-se sem *changeover* enquanto no segundo se diz com *changeover*. Tal como havia sido descrito, nas estações intermédias a mudança de ciclo deve ser cuidadosamente determinada, por forma a evitar ciclos curtos e frequentes.

Uma maneira de ultrapassar este inconveniente é, para alguns edifícios, cujas necessidades de aquecimento não sejam exageradas, dispor de *changeover* e de aquecimento com resistências elétricas nas unidades terminais. Esta solução pode contudo, apresentar-se pouco interessante do ponto de vista energético.

O sistema de quatro tubos permite que qualquer unidade funcione em regime de aquecimento, ou de arrefecimento, em qualquer época do ano, não necessitando por isso, de *changeover*. Contudo, é boa norma providenciar que a utilização simultânea de aquecimento e de arrefecimento não ocorram senão quando for estritamente necessário e que, para além disso, se recorra prioritariamente a fontes de aquecimento resultantes da recuperação de calor, ou outras, gratuitas.

## 2.4 Controlo para sistemas HVAC

Pode dizer-se, de forma simplificada, que os elementos básicos de um sistema de controlo são os seguintes:

- sensor;
- controlador - dispositivo que recebe informação de um, ou vários sensores e envia sinais a um dispositivo controlado, ou atuador, para que ele efetue uma ação corretiva sobre a variável a controlar;
- atuador - equipamentos destinados ao comando (modificação do estado) de válvulas, registos de ar ou de qualquer outro equipamento. Um exemplo de atuador típico é um servomotor elétrico.

Seguidamente descreve-se, para cada um dos elementos de controlo referenciados, algumas das suas características.

### 2.4.1 Sensores

Os sensores mais utilizados nas instalações de climatização são:

- temperatura;
- humidade;
- velocidade;
- pressão;
- concentração de gases, em algumas aplicações.

A seleção do sensor deverá ser feita em função dos requisitos específicos pretendidos para o sistema de controlo, da fonte de energia auxiliar para operar o sistema e da exigência de precisão pretendida. Um sistema de controlo pode operar com tanta precisão quanto a dos sensores que medem a variável controlada.

Na escolha de um sensor deverá ter-se em conta alguns critérios, destacam-se:

- condições ambientais, cada variável ambiental, temperatura, humidade relativa ou outra, deverá ser devidamente analisada para se poder apreciar, rigorosamente, a exigência do controlo. Por exemplo, controlar a temperatura de um escritório não é tão crítico como controlar a temperatura de um processo fabril de fabrico de componentes eletrónicos;
- gama de medida da variável, o sensor deverá apresentar uma gama que seja compatível com a variação esperada para as condições ambientais da variável a controlar;

- compatibilidade dos sinais, o tipo de sinal de saída do sensor deverá ser compatível com o do controlador. Se o não for, deverá usar-se um circuito de acondicionamento que o tome adequado à entrada do controlador;
- repetibilidade, o sensor deverá sempre apresentar a mesma resposta para as mesmas condições, constantes no tempo;
- tempo de resposta, este parâmetro é função do ambiente controlado. Em instalações de climatização, os tempos de resposta são geralmente longos, em virtude de haver quase sempre uma composição de muitos sistemas. Daí que, o *sistema total* responda lentamente a uma ação de controlo.

Portanto, em certos casos, uma resposta rápida não é desejável, já que até pode causar instabilidade ao controlo, devido ao aparecimento de oscilações na resposta do atuador.

### 2.4.2 Controladores

Há, na prática, diversos tipos de controladores, diferentes pelo tipo de energia auxiliar que usam e também pela forma como recebem e enviam os sinais de controlo:

- pneumáticos;
- elétricos;
- eletrónicos;
- digitais;
- híbridos.

### 2.4.3 Atuadores

Os atuadores podem ser classificados quanto à energia utilizada em: mecânicos, pneumáticos e elétricos. Quanto ao modo de atuação em: tudo ou nada, progressivos e reversíveis.

De entre as características dos atuadores, talvez as mais importantes sejam as seguintes:

- regulação precisa do dispositivo de correção, (válvula ou outro);
- posição de segurança em caso de falha de energia.

Na maioria dos casos os atuadores tudo ou nada, requerem energia para mudar o seu estado normal, mas, não necessitam de energia para voltar ao estado inicial, fazendo-o por ação de uma mola. Os reversíveis são constituídos por motores elétricos de dois enrolamentos, podendo rodar num ou noutro sentido, conforme o que é solicitado. Uma característica importante destes atuadores é a que se prende com o seu estado após interrupção da tensão de alimentação. Assim, podem existir dois tipos diferentes, um em que ficam na posição em que se encontravam e outro em que, por razões de segurança, uma mola os faz voltar à posição zero.

Os progressivos são caracterizados por poderem ocupar posições intermédias, mas, em que a sua recuperação até à posição zero é sempre feita por meio de uma mola.

### Válvulas

As válvulas são usadas nos circuitos hidráulicos de muitas instalações de climatização para modificar (aumentar ou diminuir) o caudal que circula nos dispositivos de aquecimento, ou de arrefecimento e, ou, desumidificação do ar.

Uma classificação possível, quanto a vários aspetos, pode ser a que se apresenta na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Tipo de válvulas utilizadas no controlo de sistemas HVAC

construção	corpo: ferro fundido, bronze ou aço
ligações	flangeadas ou roscadas
sistema de atuação	verticais, rotativas ou borboleta
acionamento	elétrico, pneumático ou termostático
aplicação	circuitos de 2, 3 ou 4 vias

Nas instalações de climatização, as válvulas de regulação de caudal mais utilizadas são as de duas e as de três vias. As primeiras apresentam a desvantagem de a regulação de caudal, feita à custa do fecho da válvula, acarretar aumento das perdas de carga.

A utilização de válvulas de duas vias introduz, para pequenas aberturas, uma redução de caudal que, em situações de carga reduzida das instalações, pode ser perigoso para o funcionamento dos *chillers*, ou até mesmo para as bombas, uma vez que poderá não ser suficiente para o seu arrefecimento.

A esse propósito, já o mesmo não acontece com as de três vias, uma vez que garantem, no circuito a montante, um caudal constante.

No entanto, uma desvantagem dos circuitos hidráulicos com grandes comprimentos, onde existam válvulas de três vias, advém do facto de haver grandes caudais em circulação, para uma pequena carga térmica da instalação.

Nesses casos, deve prover-se a instalação com circuitos hidráulicos e sistemas de controlo, que evitem o dispêndio de energia que, desnecessariamente, resulta da situação descrita.

## Registos de ar

Os registos de ar são dispositivos utilizados nas instalações com a finalidade de restringir o caudal em determinadas situações de funcionamento.

São constituídos por um conjunto de lâminas metálicas que se deslocam solidariamente, podendo fazê-lo paralelamente umas às outras, ou então opostamente duas a duas.

Os registos motorizados são aqueles em que o seu movimento é feito automaticamente por meio de um atuador mecânico, elétrico ou pneumático. Os mais usados são os de atuação elétrica e os de atuação pneumática, utilizados nas condutas de insuflação em sistemas VAV, ou nas condutas de retomo, ar novo e extração, na quase totalidade dos restantes sistemas de ar.

## 2.5 Sumário

Neste capítulo foram apresentadas algumas tecnologias relacionadas com o aquecimento e arrefecimento ambiente. É fácil perceber agora que os sistemas do tipo bomba de calor são os mais interessantes pois são os mais eficientes no que ao consumo de energia diz respeito.

Equipamentos associados a COP superior a 1, tornam-se a escolha mais acertada quando o objetivo não só é climatizar como também o de o realizar da forma mais eficiente energeticamente.

Seguidamente abordar-se-á o vetor iluminação. À semelhança do da climatização, constitui um dos grandes grupos consumidores de energia elétrica, quer ao nível doméstico quer industrial.



# 3

## Iluminação

---

*O homem sempre tentou aproximar-se da sua alma, adorando a luz do sol ou da lua. Ao dominar o fogo, acendendo fogueiras, deu-se início à história da iluminação artificial. Até hoje a luz é um símbolo de espiritualidade e misticismo (Fischer).*

A iluminação é um dos aspetos mais importantes na conceção de um qualquer projeto de arquitetura. O tipo de iluminação a instalar irá caracterizar o edifício, permitirá que se destaque, que mostre a sua real personalidade, adequando-se à função para o qual foi construído, nunca o contrário, possibilitando também o exercício das atividades visuais previstas para ele de modo confortável, dinâmico e até mesmo divertido.

Quando se está na presença de um edifício do tipo escolar, onde está em causa as condições de conforto e de trabalho dos futuros atores das nossas instituições, das nossas empresas, os nossos Homens de amanhã, este tema só pode extravasar energia! Por isto, é premente uma análise, ainda que mais superficial, da real fatia que a iluminação ocupa no bolo EE.

No entanto, é também, e cada vez mais, importante considerar a utilização de iluminação natural nos edifícios de uma maneira geral e nos escolares em particular. É relevante tanto para dar uma resposta a questões económicas como pelo fator

estético e até psicológico, visto que a luz natural é a preferida pelo ser humano, de uma maneira geral.

Contudo, deve ter-se sempre em mente e presente que a luz natural é uma *variável* que não está disponível 24 horas do dia, tornando-se, por isso, sempre necessário recorrer a uma fonte de iluminação artificial que a substitua e/ou a complemente.

A integração de sistemas de iluminação natural e artificial é necessária para um melhor aproveitamento de luz natural maximizando a economia de energia, para além de possibilitar a criação de ambientes mais agradáveis aos seus utilizadores.

Aparentemente, o objetivo geral quando se desenvolve um projeto luminotécnico, seja ele habitacional ou industrial, é o de atingir os níveis de iluminação mínimos recomendados, ao mais baixo custo de implementação. Contudo, os projetos de iluminação artificial implementados não têm em consideração normalmente a presença, quando de facto ela existe, da luz natural, que durante algumas horas do dia estão disponíveis aos seus utilizadores, gerando-se *desperdício*.

Digamos que ainda existe, não só para este conceito e na nossa sociedade, a noção de *chapa 4*, tão potencialmente prejudicial aos utilizadores finais do espaço.

A luz artificial pode oferecer, assim como a luz natural, uma variedade de possibilidades no tratamento luminoso de ambientes, principalmente devido ao crescente desenvolvimento tecnológico do setor, tanto ao nível das lâmpadas como das luminárias.

Num projeto luminotécnico, pensado para atuar em conjunto com a iluminação natural disponível, num ambiente de aula, podem-se criar ambientes muito mais agradáveis e estimulantes, com maior qualidade visual aos seus utilizadores.

É objetivo deste capítulo apresentar algumas soluções existentes no mercado, com vista a sustentar uma proposta de iluminação para o edifício em estudo.

## 3.1 Sistema de iluminação natural

Um sistema de iluminação natural é tão importante como qualquer outro num projeto arquitetónico. Realizado de forma sensata, equilibrada e integrada com os outros sistemas, num edifício mais eficiente e de maior qualidade visual para os seus utilizadores.

Contudo, no aproveitamento da iluminação natural e ao permitir-se a entrada de luz solar pelos envidraçados deverá existir o cuidado no controlo dessa mesma luz e torna-se importante controlar não só os ganhos de calor no verão mas também as perdas no inverno.

Deve-se estabelecer, nas primeiras etapas de um projeto, conceitos de iluminação natural, tão necessários para fornecer uma quantidade de luz razoável aos espaços, garantindo-se um bom desempenho visual e contrastes suficientes para o premente conforto térmico mas também visual.

O conceito de iluminação natural num edifício deve envolver a otimização de todos os seus componentes internos e externos, como a área, o volume, as formas, o tipo de materiais, os objetos de decoração previstos para o espaço, as pessoas, as plantas, enfim, tudo o que se possa prever que irá ocupar o espaço e que podem ser beneficiados pelo uso da luz natural. Deve-se, assim, fornecer os níveis de conforto necessários à manutenção da produtividade dos seus utilizadores.

Para desenvolver um sistema de iluminação natural adequado, é preciso compreender como a luz natural penetra nos edifícios, através da sua forma, orientação, ou localização das suas *aberturas*, interagindo com os outros sistemas complementares.

O caminho que a luz realiza até ao interior de um edifício depende basicamente da sua forma e da localização das suas *aberturas*. Estas podem ser expressas essencialmente por vãos que se encontram mais ou menos regulamentados (DL80-2006). Importantes componentes de construção civil, permitem a entrada de luz, ventilação natural e uma visão do meio ambiente exterior.

### 3.1.1 Vãos laterais

Os vãos laterais são *componentes* utilizados nos edifícios, são eles que permitem que o interior comunique com o exterior. Nas áreas próximas do vão, ocorrem níveis mais elevados de *iluminação* que vão diminuindo à medida que nos afastamos dele.

Além de permitir a entrada de luz, os vãos laterais possibilitam a visão do meio exterior e a ventilação natural. O tipo, tamanho, forma, posição e orientação podem influenciar o modo como a luz se distribuí no ambiente.

#### Tipo de vãos

Podem variar de acordo com a sua finalidade. Seja para a obtenção da luz natural, para o contato com o exterior e mesmo para ventilação de um espaço. Num dado ambiente, podem haver vãos que servem apenas para iluminação e outros que cumprem apenas a função de contato visual com o ambiente exterior, podendo assim variar na sua localização, no seu tamanho e na sua forma.

No caso dos vãos encontrados nas escolas, e num ambiente de sala de aula, deve ser-se cauteloso quanto à escolha num momento de projeto, essencialmente devido aos objetivos. A presença de vãos que fornecem luz natural são sempre muito favoráveis, mas o contato visual com o exterior, por exemplo, pode-se tornar numa fonte de distração para os seus utilizadores, não apenas alunos, proporcionando níveis de concentração desfavoráveis ao seu trabalho.

#### Tamanho

Para estabelecer o tamanho dos vãos envidraçados é preciso avaliar a sua área e a sua proporção em relação à área do pavimento em que se encontram (DL80-2006). A área da sua superfície influencia a ventilação e a visão, e a proporção da área afeta a quantidade e qualidade de luz disponível no espaço.

É assumido como usual, a seguinte classificação, entre os profissionais da arquitetura

e da construção, de acordo com a relação existente entre a superfície do vão e a área útil de pavimento que a serve:

- Baixa proporção - [1% ; 5%[
- Média proporção - [5% ; 15%[
- Alta proporção - [15% ; 25%[
- Muito alta proporção - maior que 25%

### Forma do vão

Assumido também como dado adquirido, descreve-se uma definição para a forma de um vão. É sempre preciso estabelecer uma relação entre a sua altura e comprimento, podendo assim apresentar:

- vão horizontal, com Coeficiente de Forma (CF) inferior a 1;
- vão vertical, com CF superior a 1;
- vão quadrado, com CF igual a 1.

Os vãos horizontais fornecem luz nas áreas mais próximas à parede em que estão localizados, com pouca diferença na distribuição da luz, permitindo também uma visão alargada do ambiente exterior. Já os verticais oferecem zonas de iluminação mais afastadas da parede em que estão inseridos, com uma maior variabilidade de iluminação ao longo do dia e, neste caso, com uma mais limitada visão do ambiente exterior.

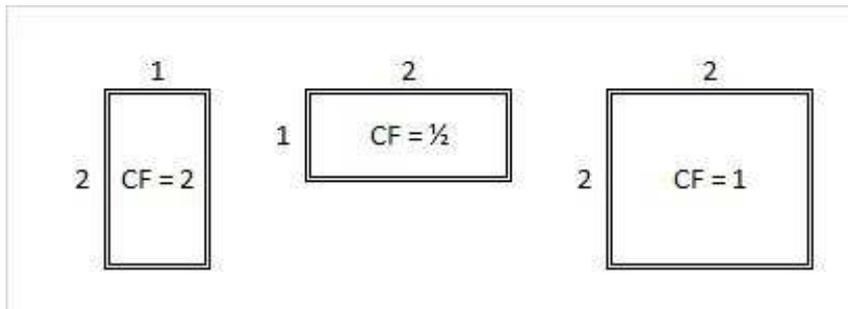


Figura 3.1 – Tipo de vãos e ilustração do coeficiente de forma.

### Orientação

O movimento que o sol realiza durante o dia tem uma grande influência na orientação dos vãos envidraçados, dado que se pode prever os períodos em que um determinado espaço estará ou não iluminado.

Os vãos com orientação Sul, Sudeste e Sudoeste, produzem altos níveis de iluminação, com luminosidades variáveis, elevados ganhos térmicos no verão e médios no inverno.

Os de orientação Este e Oeste, oferecem níveis médios de iluminação. Os níveis de iluminação serão mais elevados no período da manhã para uma orientação Este e mais elevados no período da tarde para a orientação Oeste.

Os vãos com orientação Norte produzem baixos níveis de iluminação. Vãos com esta orientação podem gerar ambientes muito sombrios no inverno, quando a presença da radiação solar direta é a mais solicitada.

## 3.2 Sistema de iluminação artificial

A iluminação artificial é determinante para a qualidade da iluminação interior dos edifícios, principalmente nos períodos da inexistência de luz natural, ou seja, no período noturno essencialmente. Durante o dia, quando a iluminação artificial entra apenas em funcionamento quando a natural disponível não é suficiente, consegue-se economizar energia mantendo-se níveis de iluminação confortáveis.

Não se projeta um edifício pensando-se apenas na disponibilidade de luz natural, como é evidente, mesmo que estejamos a falar num contexto concreto de edifícios que operam essencialmente mais durante o dia, ou seja, quando há luz do sol. Por isso, temos sempre que recorrer a soluções artificiais, assumindo-se como apoio ao projeto luminotécnico de um qualquer edifício, já para não falar de espaços interiores, sem qualquer contato com o exterior.

Os princípios básicos para uma iluminação dita *suplementar* deve basear-se no nível de iluminância necessária exigida para uma dada finalidade, períodos de utilização e a sua relação com a disponibilidade natural. Conhecendo-se estas variáveis é assim possível perceber o que podemos usar de *natural*, o que se pode complementar com soluções *artificiais* e o que vamos precisar de *artificial*, somente.

A iluminação artificial deve ter um nível suficientemente alto para estabelecer um equilíbrio de adaptação entre *as áreas* mais iluminadas do espaço, perto dos vãos, e as artificialmente iluminadas distantes destes.

Na elaboração de um projeto luminotécnico há um conjunto de condicionantes que podem influenciar no consumo de energia da instalação. O primeiro aspeto é atender aos níveis de iluminação exigidos para o desenvolvimento das tarefas visuais, depois a escolha dos componentes do sistema, como tipos de lâmpadas, luminárias e seu posicionamento, quantidade e tipos de controlo.

### 3.2.1 Componentes de um sistema de iluminação

Nesta secção descrevem-se os principais componentes de um sistema de iluminação. Iniciarei pelas lâmpadas.

#### As lâmpadas

As fontes de luz artificial podem ser agrupadas, de uma maneira geral, em dois grupos:

- as de efeito térmico (lâmpada incandescente);
- as de descarga de gás e/ou vapor (lâmpada fluorescente, vapor de mercúrio, sódio, etc.);
- as LED.

Na escolha da lâmpada é necessário ter em consideração alguns fatores como a sua eficiência luminosa, o seu rendimento, a reprodução de cor, a temperatura, a vida útil e, claro está e não menos importante, o seu custo.

As lâmpadas, exceto as coloridas, podem ser divididas em dois grupos, de acordo com sua aparência de cor, *quente* ou *fria*:

**Tabela 3.1** – Temperatura e aparências associadas a lâmpadas

Temperatura	Aparência
menor que 3300 K	Quente, branca ou avermelhada
entre 3300 e 5000 K	Branca
maior que 5000 K	Fria, branca ou azulada

Lâmpadas Incandescentes (GLS), foram as primeiras lâmpadas que se encontraram disponíveis comercialmente. Foi inventada por Thomas Edison<sup>1</sup>, em 1879. O seu princípio era de uma corrente elétrica a passar por uma resistência, filamento fino em carvão, que se aquecia até ficar incandescente. Para que não queimasse o filamento era fechado no interior de uma ampola de vidro, em vácuo. As lâmpadas incandescentes atualmente são baseadas no princípio de Thomas Edison, tendo recebido apenas alguns *retoques* estéticos. Na tabela 3.2 ilustra-se um exemplo.

Este tipo de lâmpadas é muito pouco eficiente, já que a luz produzida é obtida por incandescência (aquecimento) de um material. Ainda assim representam um grande

---

<sup>1</sup>Informação Wikipédia, acedida em 24 de Janeiro de 2012, em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Edison](http://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas_Edison)

mercado. Uma variação bem conhecida destas lâmpadas são as incandescentes de halogénio. Diferentes das incandescentes comuns pela introdução de gases halógenos, que se combinam com as partículas soltas do filamento devido ao aquecimento. São mais eficientes que as incandescentes convencionais, possuem um tamanho reduzido do volume em vácuo, pois a sua temperatura de funcionamento é mais elevada. Produz uma iluminação branca e brilhante de grande intensidade e é até quatro vezes mais durável que a tradicional incandescente.

A lâmpadas de descarga, constituem um grupo bastante vasto e diferenciado. A luz é produzida pela excitação de um gás dentro do tubo de descarga. Todos estes tipos de lâmpadas requerem um mecanismo de controlo através do reator da lâmpada.

As mais conhecidas são as lâmpadas fluorescentes tubulares, clássicas para uma iluminação económica, foram evoluindo com os anos, possibilitando melhores índices de reprodução de cor (tabela 3.2).

Por serem mais económicas foram utilizadas em larga escala ao longo dos anos nos edifícios escolares e não só. As antigas fluorescentes, as T12, a partir da década de 80 evoluíram para as T10, mais finas. De seguida, surgiram as modernas fluorescentes, tubulares, T8, e hoje, é comercializada as tubulares T5, ainda mais finas que as T8 ([informação Osram](#)).

As fluorescentes compactas (CFL), são atualmente já muito populares (tabela 3.2). Podem reduzir em até 80% o consumo em relação à tecnologia de incandescência, além de possuírem vida útil maior. Alguns modelos possuem alguma eletrónica incorporada, proporcionando grande economia e maior durabilidade ([informação Osram](#)).

Mais recentemente, e numa enorme gama comercial, apareceram as lâmpadas tipo *light emitting diode* (LED). Com alta eficiência energética aliada a uma longa vida útil, esta tecnologia, contribui para uma melhor e mais sustentável tecnologia para as nossas habitações e para as nossas empresas (tabela 3.2).

Comparativamente à tecnologia de incandescência, esta permite uma vida útil 25 vezes superior ([informação Osram](#)).

**Tabela 3.2** – Alguns exemplos de lâmpadas ([informação Osram](#))



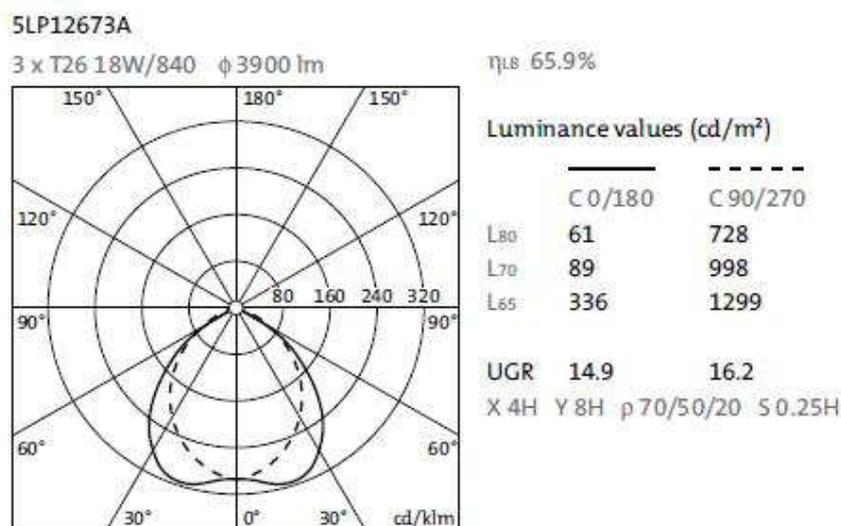
### As luminárias

São compostas por um suporte para a(s) lâmpada(s) e a respetiva fixação. Distribuem o fluxo luminoso numa determinada direção, pré-definida pelo fabricante. O conhecimento da sua fotometria, propriedades e custo são fundamentais para determinar a sua utilização num qualquer projeto luminotécnico.

Quando escolhemos uma luminária, o dado mais importante que deve ter em conta é a maneira como a intensidade luminosa se distribui no ambiente. Cada luminária possui um diagrama polar de intensidade luminosa ou curva fotométrica.

Cada lâmpada e luminária caracterizam-se por uma distribuição específica do fluxo luminoso. Essa distribuição pode ser observada através do seu diagrama polar de

intensidade luminosa (curva fotométrica). Para isso, considera-se a fonte luminosa como um ponto e coloca-se no centro do diagrama. A partir deste ponto, a intensidade luminosa é medida em diferentes direções que variam de 0 a 180° para um plano superior ou para um plano inferior.



**Figura 3.2** – Curva fotométrica para a luminária 5LP12673A ([informação Osram](#)).

Segundo a proporção da direção do fluxo luminoso, para o plano superior ou inferior da luminária, elas classificam-se, segundo a *International Commission on Illumination* (CIE), da seguinte maneira ([informação CIE](#)):

- direta, quando pelo menos 90% do fluxo luminoso está dirigido para o plano inferior. São utilizadas na maior parte dos ambientes escolares pois fornecerem todo o fluxo luminoso na direção da superfície de trabalho. Podem causar encandeamento direto e indireto e são mais apropriadas para uma iluminação localizada;
- semi-direta, quando entre 60 a 90% do fluxo está dirigido para o plano inferior. Podem ser aplicadas em salas de aula, com eficiência energética aceitável, proporcionando uma menor uniformidade nas paredes e maior no teto. Podem diminuir os riscos de encandeamento direto e indireto;

- semi-indireta, quando possuem entre 10 a 40% do fluxo dirigido para o plano inferior. Esse fluxo é obtido pois a luminária apresenta, na sua parte inferior, materiais translúcidos, o que apresenta logo como vantagem o de criar, de modo imediato, contrastes com o teto. A atmosfera visual produzida com este sistema é bastante parecida com o do sistema indireto. O risco de encandeamento é praticamente nulo;
- direta-indireta, quando possuem entre 40 a 60% do fluxo dirigido para o plano inferior. Podem iluminar o teto diretamente e a superfície de trabalho. Os riscos com encandeamento direto são maiores do que com a tecnologia semi-indiretas;
- difusoras, distribuem o fluxo em todas as direções. Este tipo de luminária geralmente é composto por materiais translúcidos difusores na envolvente da lâmpada. Podem causar tanto encandeamento direto como indireto;
- indiretas, o fluxo luminoso é dirigido no máximo em 10% para o plano inferior. Este tipo de luminárias requerem parâmetros de alto *fator refletor*, sobretudo para o teto. As potências das lâmpadas devem ser maximizadas de modo a obter-se iluminâncias confortáveis num plano definido como o de trabalho. Produzem uma iluminação uniforme na superfície de trabalho e é geralmente baixo o risco de encandeamento direto ou indireto.

As luminárias utilizadas nas salas de aulas devem ter sempre em consideração não só as exigências técnicas, as atividades nelas desenvolvidas, os fatores económicos mas também os tão necessários programas de manutenção. Fator este que condiciona, logo à partida, o seu rendimento no futuro. No caso de escolas, por exemplo, uma luminária que não recebe manutenção regularmente, uma simples falta de limpeza, tem o seu rendimento condicionado, comprometendo-a.

O sistema de iluminação artificial dependerá muito da tarefa visual a ser executada, o tipo de luminária empregue, da sua distribuição e mesmo do seu posicionamento.

Os sistemas de iluminação podem também ser definidos pelo seu comportamento em relação a disposição das luminárias, por exemplo em:

- iluminação geral, a utilizada para dar uma iluminação *uniforme*. Coloca-se um número de luminárias numa distribuição *regular, geometricamente* sobre toda a área do teto, resultando assim numa iluminação bastante uniforme no plano horizontal de trabalho. Proporciona condições de visão uniformes para realização de tarefas diferentes com iguais exigências de iluminâncias, como também para iluminação de tarefas iguais, com localização variável ao longo do tempo, ou seja, em função do tempo. Exemplo deste tipo pode ser encontrado em escritórios, lojas e também nas nossas salas de aula;
- iluminação direcionada, a que ocorre quando a luz incide predominantemente numa direção pré-definida, preferida, geralmente através de uma distribuição espacial de luminárias com lâmpadas fluorescentes espelhadas. Esse tipo de iluminação é muito usado nas montras, para criar sombras nos objetos, iluminar superfícies, que por sua vez podem funcionar como fontes de luz secundárias, indiretas. Este tipo de iluminação pode integrar-se com a iluminação geral, sempre que o objetivo seja eliminar o possível efeito monótono de uma iluminação mais *uniforme*;
- iluminação local, a que se obtém quando se ilumina uma área pequena, próxima da tarefa visual, sendo sempre complementada por outros sistemas de iluminação. A iluminação local é pois recomendada quando o trabalho envolve tarefas visuais muito criteriosas e sempre que a forma ou textura exige luz que incida numa direção particular, quando, devido a obstruções, conhecidas mas igualmente necessárias, não atinge uma determinada área.

O ser humano está, cada vez mais, preparado para lidar com diferenças de luz, sejam elas fracas ou fortes. No dia e na noite, zonas iluminadas pelo sol e na sua ausência, um ambiente interior e exterior. Não apreciamos a uniformidade durante muito

tempo. Uma total uniformidade na iluminação, num determinado espaço, cria uma sensação de monotonia, quanto a mim, normalmente indesejável em espaços dedicados a trabalho, por exemplo.

Uma iluminação uniforme pode dificultar o reconhecimento de objetos, as suas reais dimensões e a distância a que se encontram, devido à ausência de sombras. No entanto, o excesso de sombras causado por uma iluminação com fontes direcionais também pode causar desconforto pelo excesso de contrastes. Assim, em alguns casos, devem-se criar misturas com pelo menos dois tipos de iluminação, de modo a alcançarmos uma visualização agradável, equilibrada e dinâmica do que queremos destacar, quando é esse o objetivo.

Uma iluminação geral de uma sala de aula, por exemplo, através das tradicionais lâmpadas fluorescentes tubulares, gera uma iluminação uniforme, podendo provocar nos alunos, que normalmente ficam cerca de três a quatro horas numa mesma sala, a tal sensação de monotonia, nada interessante num ambiente que se pretende dinâmico, animado, benévolo à aquisição de conhecimento.

Como alternativa pode-se sempre integrar, na iluminação geral, fontes de luz direcionais que podem ser ligadas separadamente da fonte de luz principal. Não esquecer, no entanto, que se deve sempre evitar que estas causem sombras na superfície de trabalho. Por isso é muito importante ter-se um conhecimento, o mais profundo que for possível, do *layout* do espaço e da atividade que se pretende desenvolver para assim se poder escolher corretamente não só o posicionamento das luminárias com o tipo de luminária a instalar.

### **Os sistemas de controlo de iluminação**

Um correto controlo de iluminação inclui, em primeiro lugar, todos os dispositivos pelos quais se pode operar o sistema de iluminação. Os interruptores assim como eventualmente autómatos. Em segundo, a estratégia de controlo dessa mesma iluminação, que deve ser decidida no mesmo instante de projeto do sistema de iluminação do edifício. Deve ser apropriado à fonte de luz, aos restantes componentes

do sistema e à disposição das luminárias nos ambientes.

Nas escolas, um sistema de controlo da iluminação artificial deveria ser sempre função da luz natural disponível, mas também da ocupação existente. Um sistema de iluminação baseado neste conceito pode incorporar os seguintes componentes:

- variação da intensidade da fonte luminosa (*dimming*);
- sistemas controlados por um relógio;
- sistemas controlados por célula fotoelétrica;
- sistemas controlados por um detetor de presença (normalmente por infravermelhos);
- painel, tipo *liquid crystal display* (LCD), onde é possível, através de software específico, controlar o estado de funcionamento e *dimming* de um número elevado de luminárias.

Dos objetivos principais de um sistema de controlo de iluminação temos a sua flexibilidade, o conforto para os utilizadores mas acima de tudo a economia. Os componentes mais empregues são:

- . os interruptores simples;
- . foto-sensores;
- . sensores de presença.

Os interruptores simples são os mais utilizados nas escolas, especialmente no parque escolar público que conheço. O tipo mais comum de controlo tipo manual é o de duas posições (ligado / desligado). Pode-se controlar luminárias individuais ou um conjunto delas. Para esse tipo de controlo recomenda-se que, numa mesma *zona de iluminação* e nas áreas que tenham atividades semelhantes, exista um controlo dedicado.

As luminárias *paralelas* aos vãos envidraçados devem também ser alvo de controlo independente de modo a poder-se desligar todo esse grupo quando, durante o dia, a iluminação natural pode ser aproveitada.

Os sensores crepusculares, são dispositivos que utilizam componentes eletrónicos que transformam a luz em sinais elétricos. Geram uma corrente elétrica proporcional, por exemplo, à radiação recebida. O sinal de saída do equipamento é enviado a um relé que ligará ou desligará o sistema de iluminação artificial. Devem ser orientados, no nosso hemisfério, para Norte. Evita-se assim incidência de radiação direta e assim um controlo de luz mais confiável do espaço.

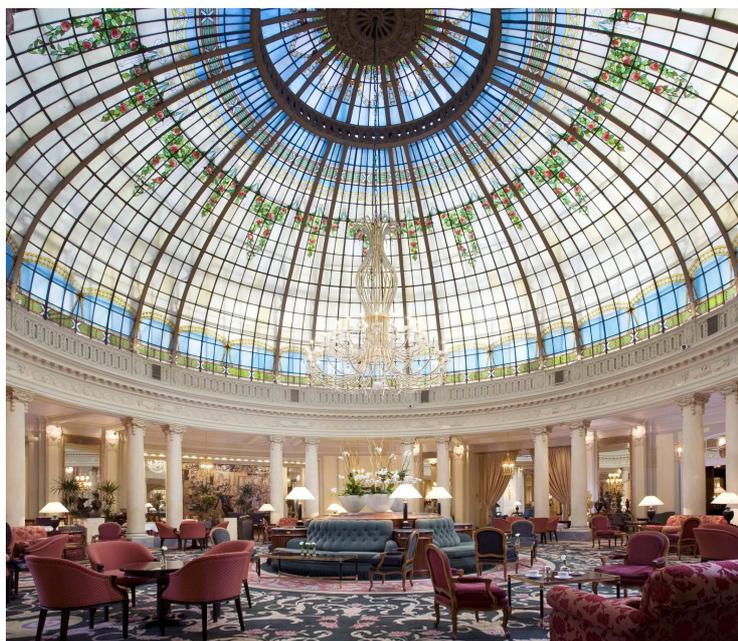
Os sensores de presença são detetores que são sensíveis a movimento e ligam as luminárias em ambientes ocupados e as desligam caso contrário. A grande finalidade é a de reduzir o tempo em que as lâmpadas permanecem acesas sem necessidade. A ocupação é detetada, por exemplo através de infravermelhos. As lâmpadas são desligadas depois de um tempo pré-definido que se inicia quando um qualquer ocupante abandona o espaço controlado, isto é, deixa de produzir movimento.

### 3.3 Integração de luz natural/artificial

Nas últimas décadas observa-se um avanço tecnológico considerável na tecnologia de iluminação (artificial) associado ao desenvolvimento de novos tipos de lâmpadas e luminárias, mais eficientes e de menor custo. Contudo e apesar deste avanço, o alto custo da produção de energia elétrica prevê uma cada vez maior necessidade de se evitar desperdícios pelo que a integração entre a luz natural e artificial se torna num tema premente (figura 3.3).

A integração entre os dois sistemas deve ser realizado com as devidas precauções. Tendo em conta a luz artificial projetada e a disponibilidade de luz natural ambiente encontrada, dever-se-á ter em conta a escolha dos mais indicados componentes que controlarão essa mesma iluminação artificial e natural.

Nas decisões de projeto de integração dos dois sistemas dever-se-á identificar:



**Figura 3.3** – The Westin Palace, Madrid, Espanha (imagem Philips).

- . a luminária que complementar a iluminação natural e que iluminará o ambiente quando a luz natural for insuficiente;
- . a lâmpada mais adequada à luminária, de modo a maximizar a eficiência e também para complementar a luz natural ambiente disponível;
- . o balastro da lâmpada, que seja apropriado para a estratégia de controlo e para o tipo de lâmpada a utilizar;
- . o projeto de controlo da iluminação afeta ao sistema de luz natural e artificial.

### 3.4 Zonas e projeto de iluminação

A iluminação artificial deve ser pensada e projetada no sentido de complementar a iluminação natural e nunca numa perspetiva de a substituir, como é evidente. Para um melhor desempenho da iluminação artificial, o ambiente poderá ser dividido em zonas de iluminação, com níveis de iluminâncias próximos, contudo distintos, para

que a iluminação artificial atenda a cada uma das zonas mas com a possibilidade de se atuar nelas de modo independente.

A identificação das zonas de iluminação, distintas num mesmo ambiente interior, de acordo com os níveis de *iluminação* disponíveis, pode representar áreas de análise, que posteriormente, influenciarão no projeto da iluminação artificial. Dentro de uma zona de iluminação, a razão entre a iluminância máxima e a iluminância mínima deverá ser tida em conta, só assim garantiremos uma relação confortável.

A definição das zonas está relacionada principalmente com a localização dos vãos envidraçados, determinarão a distribuição da luz natural no ambiente interior. No caso das salas de aulas, os vãos laterais são os mais comuns e com orientações muito variadas. Como é evidente este tipo de vãos propicia uma iluminação com índices maiores nas áreas próximas ao vão e valores menores nas áreas mais afastadas.

Quanto maior o número de zonas, melhor será o controlo da iluminação e maior a economia de energia. Porém os custos iniciais com a aplicação do projeto de iluminação artificial para todas as zonas torna-se maior, por isso é necessário estabelecer um equilíbrio entre custos da instalação, da manutenção, do desempenho e da redução de energia para executar o projeto de iluminação.

Durante o projeto deve-se abordar aspetos como o desempenho visual, necessidades visuais do ser humano para a realização de uma tarefa, o conforto emocional e mesmo a estética ambiental (necessidades psicológicas em relação ao ambiente) e, claro, a eficiência do sistema, adequação económica e a integração com outros sistemas e respetiva viabilidade. No desempenho visual deve-se ter em conta as iluminâncias médias, o contraste entre a tarefa e o fundo, o encandeamento direto ou indireto e o objeto. No conforto emocional e estética ambiental dever-se-á ter em atenção a distribuição das iluminâncias e as cores das superfícies, a relação entre a cor e a intensidade das fontes luminosas, o índice de reprodução de cores mais adequado à qualidade do ambiente e as cores dos acabamentos interiores, adequados ao bem-estar dos utilizadores desse espaço. Para a eficiência, a verificação do desempenho dos sistemas de iluminação, a integração entre o sistema de iluminação natural e artificial, as escolhas dos componentes de controlo da iluminação, verificação da

potência instalada pelo tempo de funcionamento. Finalmente os tipos de lâmpadas e luminárias.

A partir de critérios visuais, pré-estabelecidos pelo parque escolar, pode-se traçar objetivos. Estes devem-se assumir como as bases para a obtenção de um ambiente adequado ao conforto visual, para tornar o interior num lugar agradável, dinâmico, fator de estímulo para os nossos sentidos, adequado às necessidades dos utilizadores e das atividades que desenvolverá, flexível em função da adaptação e da multiplicidade de atividades ou mudanças de tarefas no tempo. Finalmente, o consumo de energia elétrica e a sua tão premente minimização.

Os edifícios escolares exigem características específicas de iluminação de acordo com a função de seus ambientes interiores e atividades visuais neles desenvolvidas. Apesar das atividades visuais a desenvolver-se nas salas de aulas serem bastante diversificadas, existem níveis de iluminância mínimos.

Fato que merece uma pesquisa mais detalhada sobre a interdisciplinaridade das atividades visuais executadas numa sala de aula. A leitura, por exemplo e como já referido, pode ser realizada em diferentes planos, além de ocorrer simultaneamente com outras atividades, também importantes, como a atenção a um orador, a leitura do que se apresenta num quadro, a utilização de recursos audiovisuais que, muitas vezes, até requerem níveis específicos de iluminação.

### **3.5 Atividades visuais nas salas de aula**

Nas salas de aula, as diferentes atividades visuais desenvolvidas requerem um tipo e níveis de iluminação diferentes que devem, pelo menos, igualar as necessidades dos utilizadores em relação a ela. Estas atividades podem ser relacionadas e analisadas de acordo com suas prioridades e frequências. Das atividades visuais que ocorrem nas salas de aula vamos de seguida destacar algumas.

A leitura nas salas de aula pode ser desenvolvida em diferentes planos: no plano horizontal sobre uma carteira escolar, num plano vertical, na leitura do quadro negro

e/ou mais recentemente de painéis. As superfícies dos planos visuais podem conter variações dos índices de *fator refletor* devido a diferentes propriedades dos materiais utilizados, como a cor, textura, tipo de papel, etc. Essa atividade geralmente acontece simultaneamente à escrita, à observação e às variações de distâncias entre o observador e o alvo.

A escrita, geralmente ocorre no plano horizontal, na carteira escolar mas também no plano vertical, no quadro. As superfícies, assim como na leitura, também podem apresentar diferentes níveis de *fator refletor*, tanto em relação ao papel como em relação à caneta, lápis ou pincel utilizado para a escrita. Esta atividade pode ser realizada em simultâneo com a leitura.

Das atividades no quadro, a leitura do quadro, constitui um dos principais planos verticais de uma sala de aula. Podem apresentar-se dificuldades na execução das atividades visuais causadas pelos reflexos no plano visual e com os contrastes com as superfícies adjacentes.

Outro aspeto bastante importante é o tamanho e a posição do quadro na sala, pois poderão ocorrer reflexos que atrapalham os alunos, principalmente os que se encontram sentados de costas para o vão. Estes reflexos, gerados tanto a partir de fonte natural como artificial, são um problema que diminui a boa visibilidade para um quadro, originando facilmente desconforto visual. Para minimizar este tipo de reflexos, empregam-se proteções nos vãos e/ou nas luminárias. Contudo, atenção, com a utilização destes sistemas, que contrariam e diminuem os reflexos, podemos estar a prejudicar fortemente a quantidade de luz e assim o ambiente interior na sala.

O desenho é também uma atividade que pode ser desenvolvida no plano horizontal mas também inclinado. As ferramentas utilizadas como papéis, lápis, pincéis, aguarelas, podem também apresentar variações de cor, textura e *fator refletor*. É necessário uma boa acuidade visual para a precisão dos detalhes. A direção da iluminação é especialmente importante quando se observa objetos tridimensionais (reais!). As sombras ajudam a definir as formas dos objetos.

Os materiais audiovisuais como as transparências, os slides e os vídeos são muito utilizados em planos verticais. Podem-se apresentar com grandes variações de *fator refletor*, de cor, e de brilho. Assim como outras atividades visuais desenvolvidas em salas de aula, ocorrem simultaneamente com a leitura e a escrita.

O contraste existente entre a luz da imagem projetada e a luz da sala, deve ser controlado para evitar encandeamento ou fadiga visual. A utilização de iluminação indireta, com níveis mais baixos que uma *iluminação geral*, poderá amenizar este contraste. A utilização de uma iluminação periférica, refletida, pode ser uma excelente alternativa.

As atividades visuais descritas acima, muitas vezes exigem níveis diferenciados de iluminação, por isso um bom projeto luminotécnico pode, além de se preocupar com os índices das referências normativas, ser flexível a variadas atividades visuais, oferecendo-se, assim, um maior conforto aos seus utilizadores em *ambientes novos*.

Em ações de formação e de informação (figura 3.4), constituindo aulas tipo expositivas, temos o alvo visual vertical no orador, este pode encontrar-se em movimento ou não (na maior parte das vezes!).

Desta forma o rosto humano torna-se um alvo, o foco central do nosso campo visual. A sua perceção requer alta quantidade de iluminação de modo a podermos absorver todos os detalhes, assim como os contrastes e cores.



**Figura 3.4** – Auditório (imagem Philips).

## 3.6 Sumário

Este capítulo pretendeu ser, como já vem sendo regra no desenvolvimento de capítulos anteriores, orientador e que no fundo mostrasse, da forma mais objetiva possível, o essencial sobre a iluminação. A definição, o *natural* e o *artificial*, as tecnologias e ainda outras noções que assumi como interessantes trazer a este palco.

A utilização de iluminação natural nas nossas salas de aula oferece-nos ambientes visuais muito agradáveis e estimulantes, além de nos permitir níveis muito adequados de iluminâncias para o desenvolvimento das atividades visuais previstas, o que conseqüentemente gera economia de energia elétrica. Apesar disso, os projetos de iluminação artificiais implementados na maioria das salas de aulas das escolas que conheço, que todos nós conhecemos, não consideram a presença da luz natural. Atuam de forma independente à sua disponibilidade.

Num capítulo específico, dedicado a uma futura implementação de medidas no edifício em estudo, mais à frente, apresentarei uma solução para aproveitamento de iluminação natural assim como alternativas mais eficientes às lâmpadas e balastros atualmente instalados.

O futuro da iluminação passa, a meu ver, essencialmente pelo slogan: *‘(... ) a necessidade de bem se iluminar os nossos espaços, sejam eles de trabalho, de diversão e até mesmo os de descanso, é óbvia. Será, contudo, dada preferência a soluções que necessitem da menor energia possível!*

Sem grandes demoras, analisaremos já a seguir, no capítulo “Energia”, algumas noções relacionadas com a energia solar térmica e fotovoltaica, assim como a sua importância num contexto de EE.

# 4

## Energia Solar Térmica e Fotovoltaica

---

### 4.1 Introdução aos sistemas solares térmicos

A energia solar é a maior fonte de energia disponível na Terra. É indispensável para a existência de vida na Terra, sendo por isso, o ponto de partida para a realização dos processos químicos e biológicos mais conhecidos. Por outro lado, a energia proveniente do Sol é das mais *amigas do ambiente*, podendo ser utilizada de diversas formas.



Figura 4.1 – O Sol.

No centro do Sol ocorre um processo de fusão nuclear, dois núcleos de hidrogénio se fundem com um de hélio, emitindo para o espaço uma grande quantidade de energia. A energia proveniente desta fusão é emitida para o espaço na forma de ondas eletromagnéticas.

Tendo em conta que o Sol se encontra a 143 milhões de quilómetros da Terra, apenas uma pequena fração da energia emitida está disponível. No entanto, a energia fornecida pelo Sol durante um quarto de hora é superior à energia necessária, a nível mundial, durante um ano!

Há três métodos principais para capturar a energia do Sol. O primeiro consiste em expor diretamente ao sol tubos longos cheios de líquido. O líquido nos tubos aquece e, através de um permutador de calor, pode ser usado para aquecer água para chuveiros ou para lavar a roupa. O segundo modo consiste em usar painéis de células fotovoltaicas para transformar os fotões da luz diretamente em eletricidade. Finalmente, há os concentradores solares, que utilizam espelhos para concentrar grandes quantidades de luz solar numa pequena área, aquecendo intensamente fluídos e depois usando a sua energia para levar uma turbina ou um motor Stirling a gerar electricidade. (Goodall, 2008)

Os astrofísicos consideram que o Sol tem aproximadamente 5 biliões de anos. Com uma expectativa de existência de 10 biliões de anos, o Sol pode ser considerado como fonte de energia para os próximos 5 biliões de anos! Assim, de uma perspetiva humana, o Sol apresenta uma disponibilidade ilimitada.

#### 4.1.1 Bibliotecas astronómicas e meteorológicas

A energia emitida pelo Sol para a atmosfera terrestre é praticamente constante. Esta energia irradiada ou intensidade de radiação é descrita como a constante Solar relativa a uma área de  $1m^2$ . Esta constante está sujeita a pequenas alterações, provocadas pela variação da atividade Solar e com a excentricidade da órbita da Terra. Estas variações, que se detetam para a gama dos raios ultravioleta (UV), são inferiores a 5%, não são significativas para aplicações como as tecnologias solares.

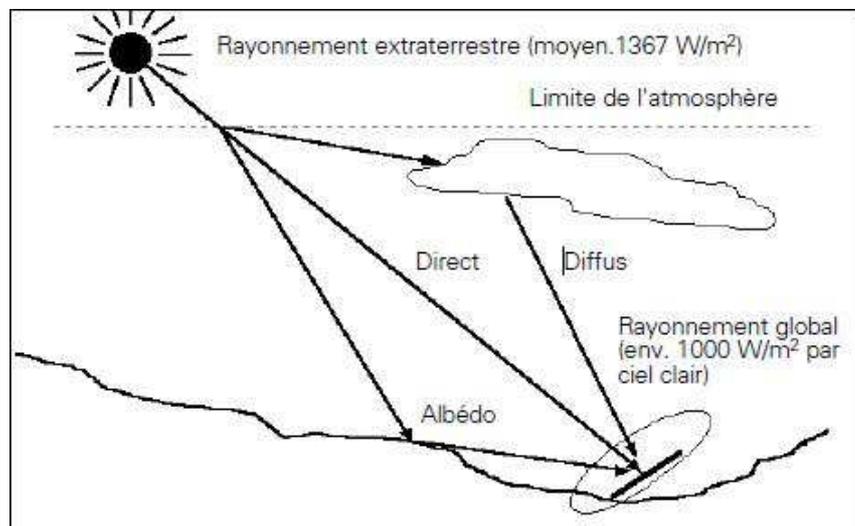
O valor médio da constante solar,  $E_0$ , é de  $1367 \text{ W/m}^2$ .

Tendo apenas por base os dados astronômicos, sabe-se que a energia solar disponível na Terra é muito variável. Para uma localização pré-estabelecida esta variação depende da latitude geográfica, do dia e do ano. Devido à inclinação do eixo da Terra, os dias de verão são *maiores* que os dias de inverno, e as *altitudes* solares são mais elevadas nos meses de verão do que no inverno, isto no hemisfério norte.

A radiação solar tem diversas componentes: a radiação solar direta,  $E_{dir}$ , que atinge a terra sem qualquer mudança de direção, e a radiação difusa,  $E_{dif}$ , que chega aos olhos do observador através da difusão de moléculas de ar e partículas de pó. A radiação difusa inclui também a radiação refletida na superfície terrestre. A soma da radiação difusa e direta equivale à radiação solar global  $E_G$ . (Pacer, 1996)

$$E_G = E_{dir} + E_{dif}$$

Esta equação, caso não sejam referidas outras condições, refere-se à radiação sobre uma superfície horizontal.



**Figura 4.2** – Radiação Solar global EG (Pacer, 1996).

Quando o Sol se localiza *verticalmente*, acima de uma determinada localização, a radiação efetua o caminho mais curto através da atmosfera. Por outro lado, quando o Sol se encontra com um ângulo mais baixo, a radiação percorre um caminho mais

longo, sofrendo a radiação solar uma maior absorção e difusão, e estando disponível uma menor intensidade de radiação.

O fator *Massa de Ar*, (MA), define-se como *a medida do número de vezes que o caminho da luz solar até à superfície da terra corresponde à espessura de uma atmosfera*. Usando esta *definição* com o Sol numa posição vertical,  $\text{fis} = 90^\circ$ , obtém-se um valor de  $\text{MA} = 1$ .

A radiação solar no espaço, sem influência da atmosfera terrestre, é considerada tendo um espectro de  $\text{MA} = 0$ . Ao passar pela atmosfera terrestre a intensidade da radiação é reduzida devido a à reflexão causada pela atmosfera, à absorção através de moléculas na atmosfera,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , à dispersão de Rayleigh, dispersão de moléculas de ar e à dispersão de Mie, difusão de partículas de pó e contaminação do ar<sup>1</sup>.

A nebulosidade ou o *estado do céu* é um segundo fator decisivo, depois das condições astronómicas, a afetar a disponibilidade de radiação solar. A energia irradiada tal como a quantidade de radiação difusa e direta varia com a quantidade de nuvens.

Com base em dados de irradiação difusa e direta, para a cidade de Lisboa, por exemplo, verifica-se que a proporção média da radiação solar difusa é de 40% da radiação global, sendo que nos meses de inverno esta proporção aumenta.

O valor do somatório da média anual da irradiação solar global, valor importante para o dimensionamento de sistemas solares, encontra-se entre aproximadamente 1400  $\text{KWh}/\text{m}^2$  em Vila Real e 1700  $\text{KWh}/\text{m}^2$  em Faro, com um incremento de Norte para Sul. No entanto, a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal, aproveitada por um sistema solar para aquecimento de água, não é significativa.

Durante o ano, a irradiação solar global sofre variações ao longo do dia. Esta variação é sobretudo influenciada pela radiação direta.

Para além da irradiação solar global, o número de horas de luz, a insolação, é também

---

<sup>1</sup>Informação Wikipédia, acedida em 3 de Março de 2012 em <http://pt.wikipedia.org>

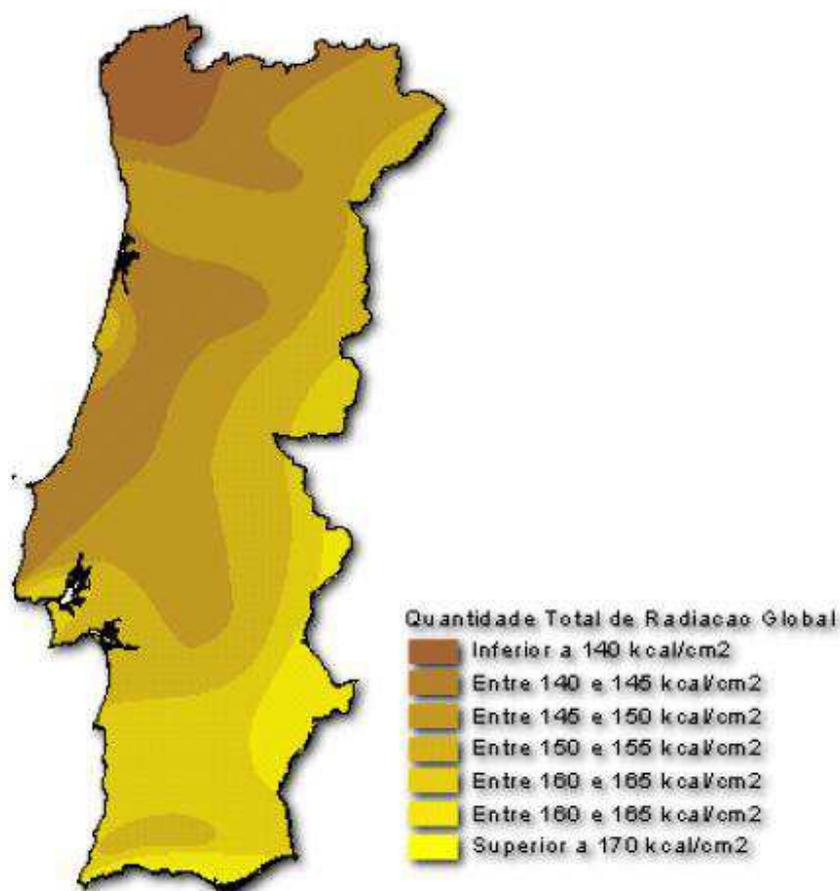


Figura 4.3 – Radiação global anual em Portugal ([informação APA](#)).

frequentemente utilizado para o dimensionamento de sistemas solares. Em Portugal estes valores variam entre 1800 e 3100 horas por ano.

#### 4.1.2 A importância da orientação

Os dados e figuras que se apresentaram até agora referem-se a uma superfície horizontal recetora, por exemplo, um telhado em forma de terraço. Para diferentes ângulos de incidência do Sol ao longo do ano, a uma determinada latitude, existe um valor máximo de radiação produzida que poderá ser obtido se a superfície recetora estiver inclinada com um determinado ângulo. O ângulo de inclinação ótimo, para os meses de Inverno (menor radiação) é maior que no Verão, devido a uma menor

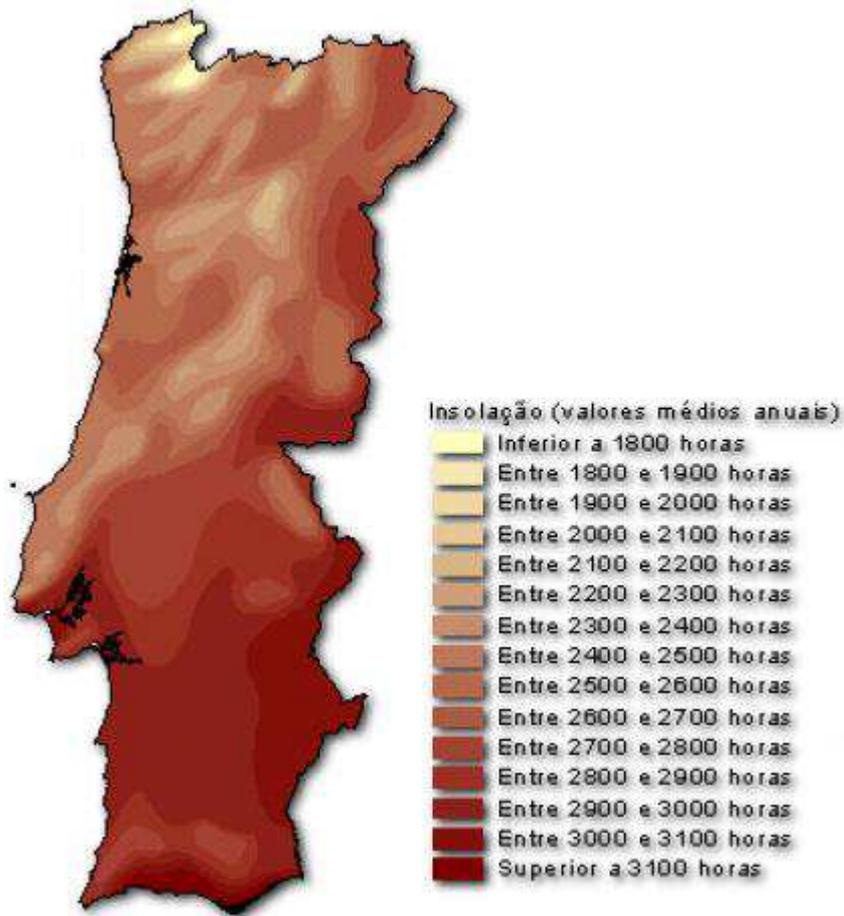


Figura 4.4 – Insolação global anual em Portugal ([informação APA](#)).

altura solar.

Tabela 4.1 – Ângulos

Altura Solar	HS	Horizonte = $0^\circ$	Zénite = $90^\circ$	
Azimute Solar	AZ	Sul = $0^\circ$	Este = $-90^\circ$	Oeste = $+90^\circ$
Ângulo de incidência Solar	alfa	perpendicular = $0^\circ$	outro	
Inclinação da superfície	beta	Horizontal = $0^\circ$	Vertical = $90^\circ$	

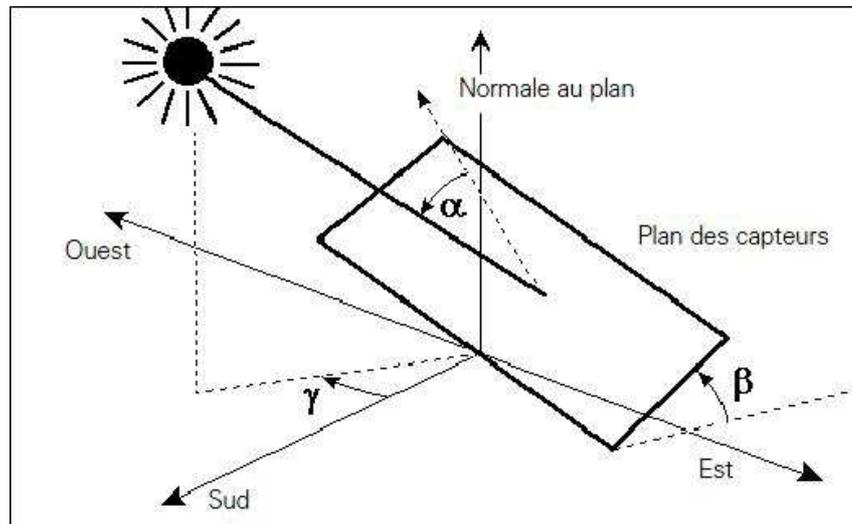


Figura 4.5 – Descrição dos ângulos (Pacer, 1996).

### 4.1.3 Recursos energéticos

As fontes de combustíveis fósseis disponíveis, tais como o carvão, petróleo, gás natural e urânio, são explorados a taxas cada vez maiores, para fazer face às necessidades energéticas do nosso planeta. Devido ao limite do *stock*, este processo vai, inevitavelmente, levar-nos a um beco sem saída. Uma abordagem a esta problemática é pelo aumento da eficiência energética, da racionalização na utilização da energia e na utilização de fontes de energia renováveis como o sol, o vento e a água.

O Sol disponibiliza por ano múltiplos da energia consumida *pelo mundo*, um múltiplo de todas as reservas de combustíveis fósseis conhecidas,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh / ano, ou seja, 1500 milhões de bilhões de kWh / ano. Dez mil vezes maior do que o necessário neste momento. Para além disso a radiação proveniente do Sol tem ainda 5 bilhões de anos de vida!

### 4.1.4 Mudanças climáticas

A utilização crescente de recursos energéticos, nomeadamente os de origem fóssil, apresenta impactos no clima e no meio ambiente. Sofre-se mudanças e prejuízos

irreversíveis que aumentam com uma utilização desmedida.

Este problema deve-se à emissão de substâncias perigosas, tais como o dióxido de enxofre, monóxido de nitrogénio e dióxido de carbono. O dióxido de enxofre e o monóxido de nitrogénio são substâncias, que contribuem para o aparecimento de chuvas ácidas, enquanto o dióxido de carbono contribui para o aumento do efeito de estufa, que é responsável pelo aquecimento da atmosfera terrestre. Neste momento a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumenta a taxas cada vez mais elevadas.

#### 4.1.5 Argumentos conhecidos

Em Portugal a utilização de coletores solares já não se encontra numa fase de arranque. As condições excecionais de disponibilidade do recurso energético e da tecnologia que apresenta o mesmo nível de outros países europeus, tem vindo a convencer os Portugueses.

Contudo, verifica-se que o mercado atual ainda é pequeno e que as empresas que trabalham no sector são, de um modo geral, pequenas e médias companhias, com capacidades financeiras limitadas. Sente-se, ainda, uma necessidade de formação de pessoal especializado em quantidade e qualidade de modo a desenvolver este mercado. O potencial é contudo enorme!

Cada metro quadrado de superfície de coletores solares que se instala contribui para a proteção do clima:

- . os proprietários destes sistemas não têm que esperar por decisões políticas ou mudanças globais. Transmitem uma imagem positiva aos mais jovens;
- . os sistemas solares são um sinal de um nível de responsabilidade elevado, uma consciência e empenho em relação à proteção ambiental;
- . os proprietários de sistemas solares tornam-se menos dependentes do aumento dos preços de energia;
- . os operadores de sistemas solares beneficiam de vantagens em taxas e financiamento

do governo;

- . os sistemas solares térmicos para abastecimento de água quente são tecnicamente desenvolvidos e tem um tempo de vida superior a 15 anos;
- . um sistema solar standard, numa tipologia *forçada* ou em *termossifão*, instalado nas latitudes Portuguesas, pode fornecer energia suficiente para cobrir em praticamente 100% a energia necessária para uma família ter Água Quente Sanitária (AQS) entre os meses de Maio e Setembro;
- . a instalação de sistemas solares para aquecimento de água de piscinas é económico e pode ser amortizado rapidamente;
- . os sistemas solares requerem pouca manutenção e a energia produzida está constantemente disponível;
- . a tecnologia solar cria emprego na produção, instalação e serviços de manutenção;
- . com a diminuição crescente das reservas de energia de origem fóssil, estamos perante um esforço para a distribuição relativa. Os que começam a usar sistemas de energia solar no tempo certo, contribuem significativamente para diminuir guerras, cujo objetivo passa pelo controlo de recursos energéticos.

#### 4.1.6 Iniciativa pública água quente solar para Portugal

Embora Portugal seja um dos países da Europa com maior incidência de radiação solar, cerca de 3 mil horas de Sol por ano, em algumas regiões, verifica-se que o mercado nacional de sistemas solares térmicos para o aquecimento de água, tem uma dimensão muito inferior à de outros países. ([informação AQSpP](#))

No final do ano de 2001 foi lançado o programa Eficiência Energética e Energias Endógenas, Programa E4, que reuniu um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias renováveis em Portugal, delas a promoção do recurso a coletores solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria, a Iniciativa Pública Água Quente Solar para

Portugal, IP-AQSpP.

O objetivo específico do programa AQSpP foi a da criação de um mercado sustentável de coletores solares para o aquecimento de água, com ênfase na vertente *Garantia da Qualidade*, de cerca de 150.000  $m^2$  de coletores por ano, que poderiam conduzir a uma meta na ordem de 1 milhão de  $m^2$  de coletores instalados e operacionais até 2010.

#### 4.1.7 Medida Solar Térmico 2009

Bem mais tarde surgiu outra, a iniciativa Pública Medida Solar Térmico - MST 2009 e 2010 ([informação MST2009](#)). A agência para a energia (ADENE) estabeleceu com instituições bancárias um protocolo que pretendeu facilitar a adesão de candidaturas aos apoios no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), visando a eficiência energética, nomeadamente na área do solar térmico, envolvente passiva e iluminação de edifícios.

Estabelecido com o Banco Popular, Barclays, Banco Espírito Santo, banco BPI, Caixa Geral de Depósitos, Crédito Agrícola, Millennium bcp, Montepio e Santander Totta, esta medida previu condições especiais de financiamento, a disponibilização do serviço para preparação de projetos, candidatura e execução, assim como pontos de contacto, a funcionar junto das agências das instituições financeiras em benefício do público-alvo, para a execução, com ou sem financiamento, das operações.

Esta iniciativa, enquadrou-se na Estratégia Nacional para a Energia 2020 que, sob a denominação *Novas Energias* e a marca *Re.New.Able*, previu um conjunto de eixos estratégicos nos quais se incluiu a eficiência energética.

A compra dos equipamentos, ao abrigo da Medida Solar Térmico 2009, incluía 6 anos de manutenção. Todos os clientes particulares que adquiriram sistemas ao abrigo deste programa, iriam receber uma carta alertando os seus proprietários para a manutenção do seu sistema solar.

Foi um programa de incentivo à utilização de energias renováveis com grande adesão.

A possibilidade de colocação de encomendas, para particulares, e pedidos de estudo, para Instituições Particulares de Solidariedade Social (IPSS) e Associações Desportivas de Utilidade Pública (ADUP), terminou em 31 de Dezembro de 2009. Foram instalados 50.158 sistemas de energia solar térmica, das 55 marcas aderentes, representando uma área de 197.730  $m^2$  de coletores solares.

Na tabela seguinte ([informação MST2009](#)), apresenta-se o resultado do programa. Curioso verificar que distritos como Aveiro e Coimbra tiveram um número de instalações muito próximo das do Porto e mesmo das de Lisboa.

**Tabela 4.2 – Medida Solar Térmico 2009**

Particulares	Nºinstalações	IPSS/ADUP	Nºinstalações
Aveiro	4447	Aveiro	43
Beja	1768	Beja	20
Braga	2273	Braga	49
Bragança	594	Bragança	21
Castelo Branco	2149	Castelo Branco	30
Coimbra	4294	Coimbra	57
Évora	1913	Évora	19
Faro	3135	Faro	19
Guarda	904	Guarda	18
Leiria	3071	Leiria	49
Lisboa	5376	Lisboa	76
Porto	4455	Porto	42
Santarém	4025	Santarém	40
Setúbal	3846	Setúbal	18
Viana do Castelo	942	Viana do Castelo	7
Vila Real	388	Vila Real	27
Viseu	1584	Viseu	20

## 4.2 Introdução aos sistemas solares fotovoltaicos

Podemos essencialmente encontrar sistemas fotovoltaicos em dois esquemas distintos. Os ligados à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) e os *isolados*. Uma vez que a energia produzida não corresponde, na maior parte das vezes, à procura instantânea de energia de um qualquer consumidor, torna-se obrigatório determinar um *armazenamento*, o conhecido banco de baterias. No caso dos sistemas ligados à RESP, a EDP Distribuição por exemplo, a rede funciona como um acumulador de energia elétrica!

Nalguns países, como é o caso da Alemanha, a maioria dos sistemas fotovoltaicos encontram-se, de facto, ligados à RESP. A totalidade da energia produzida é injetada diretamente na rede. Sobre isto, repare-se que se prevê, neste país, que no ano 2050 todos os seus sistemas fotovoltaicos possam ser responsáveis por um valor próximo dos 35% da energia elétrica fornecida!

Sinto, julgando que também é por todos reconhecido, que nos próximos anos, os sistemas fotovoltaicos vão ser maciçamente instalados em todo Mundo. Os sistemas isolados, assumirão um papel de grande relevo, principalmente nos vulgarmente designados *países em vias de desenvolvimento*. Toda esta máquina industrial, que venha a instalar-se ou a trabalhar para estes países, vai ter a hipótese de ter em mãos um gigantesco desafio no desenvolvimento e implementação desta tecnologia.

Mais à frente, conto dedicar algum *tempo* deste documento, à Microprodução e também à mais recente Miniprodução de energia elétrica, em Portugal.

### 4.2.1 Sistema isolado, autónomo

Os sistemas isolados constituíram, desde logo pela sua *simplicidade*, o primeiro campo de batalha desta tecnologia. A aplicação deste tipo de sistemas encontra-se mais onde o fornecimento de energia, através de uma rede pública não existe, seja por razões de ordem técnica ou mesmo económica. Nestes casos, os sistemas fotovoltaicos

isolados podem constituir uma alternativa com uma componente económica de muito elevado interesse, a meu ver.

Este cenário vem ao encontro do grande potencial de implementação dos sistemas isolados nos países em vias de desenvolvimento, onde se encontram grandes áreas que permanecem sem fornecimento de energia elétrica através de uma rede pública tal como a conhecemos. As sucessivas evoluções tecnológicas e a diminuição dos custos de produção nos países industrializados, vão poder também contribuir para a generalização deste tipo de instalação.

No campo das pequenas aplicações solares de fornecimento de energia elétrica, também podemos observar consideráveis avanços em pequenos equipamentos. Exemplos disso existem aos pontapés em calculadoras, relógios, carregadores de pilhas, lanternas e até rádios!

Na prática, os sistemas isolados necessitam de acumular energia, para compensar as diferenças existentes no tempo entre a produção de energia e a sua procura. As baterias recarregáveis são consideradas muito apropriadas como acumuladores de energia. Em geral, a utilização de acumuladores obriga a que se torne indispensável a utilização de um regulador de carga, adequado, que faça a gestão do processo de carga por forma a proteger e garantir uma elevada fiabilidade e um maior tempo de vida útil desses acumuladores.

Assim sendo, um sistema isolado típico prevê os seguintes componentes:

- . módulo(s) fotovoltaico(s)
- . regulador de carga
- . bateria(s)

Estes e outros componentes serão tratados de uma forma mais aprofundada mais tarde...

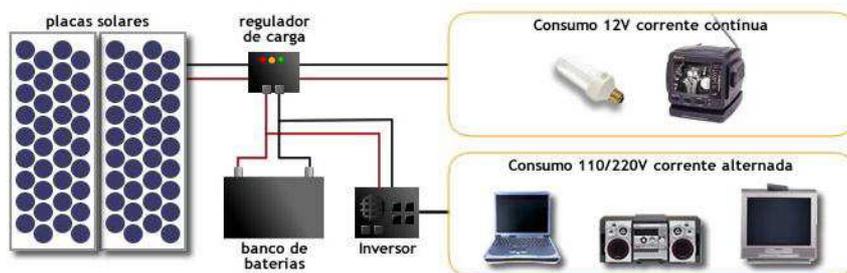


Figura 4.6 – Esquema de princípio de um sistema fotovoltaico isolado (imagem Heliodinâmica).

### 4.2.2 Sistema ligado a uma rede pública

Na Alemanha de *Angela Merkel*, os sistemas fotovoltaicos ligados a uma rede pública, foram instalados na sua maioria, após a abertura de programas que previram subsídios governamentais, nomeadamente o *1000 telhados*, que ocorreu entre os anos de 1991 e 1995. Uma evolução deste originou o dos *cem mil*, em 1999, o *Decreto das Fontes de Energia Renovável*, o EEG1/4/2000. Assim, lançou-se no mercado, um conjunto de programas que dinamizaram o sector e que acabaram por *ecoar* no resto do Mundo.

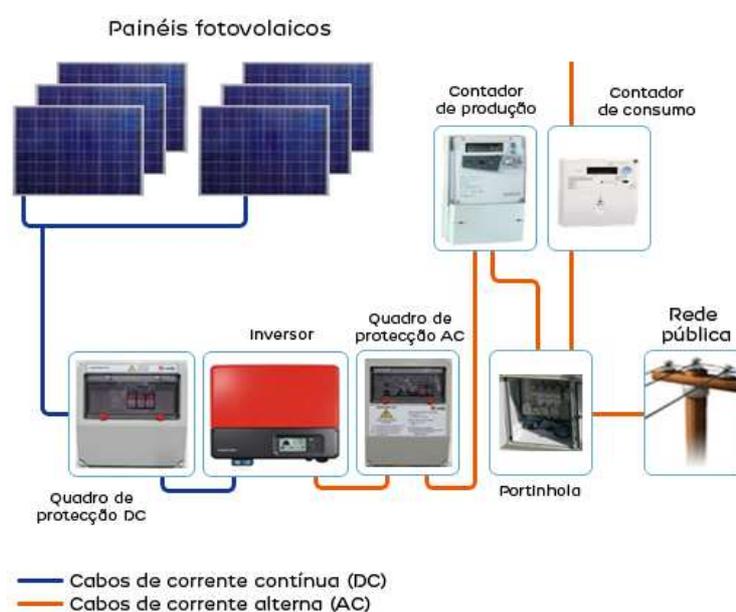
Em Portugal, muito provavelmente, graças ao *eco*, foi lançado um programa chamado *Renováveis na Hora*, que ganhou uma forma musculada devido à publicação do Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro. A realidade Portuguesa, neste domínio, ganhou assim um rosto mais rosadinho! Até ao momento, só no que diz respeito ao solar fotovoltaico, já foram instalados em Portugal, graças a este programa, 42367,03 KW de potência. ([informação RenovaveisnaHora](#))

Podemos identificar, num sistema fotovoltaico com ligação a uma rede pública, os seguintes equipamentos:

- módulo fotovoltaico;
- cabo DC;
- dispositivos de proteção DC;

- interruptor de corte principal DC;
- inversor;
- cabo AC;
- dispositivos de proteção AC;
- equipamento de medida, um contador de energia elétrica.

Os principais componentes serão descritos num momento mais à frente. A figura 4.7 que apresento a seguir é esclarecedora.



**Figura 4.7** – Esquema de princípio de um sistema fotovoltaico ligado à RESP (imagem EDP).

Antigamente, o local mais escolhido para a instalação do grupo de módulos, era no telhado dos edifícios. Mais tarde, a integração dos sistemas fotovoltaicos em diferentes tipos de edifícios, tem vindo a ganhar o espaço merecido.

Um outro tipo de projeto, também em franca expansão, é o dos grandes projetos fotovoltaicos que são construídos à superfície do solo, originando grandes centrais fotovoltaicas ligadas a uma rede pública. Este tipo de projeto fotovoltaico tem vindo a ser promovido por empresas operadoras do sector elétrico.

É prova de um sistema ligado à RESP a figura 4.8, seguinte.



**Figura 4.8** – Sistema fotovoltaico com ligação à rede, em área urbana MARL, Lisboa - Portugal (imagem MARL).

Uma das grandes instalações de referência em Portugal e que já tive oportunidade de visitar, fica localizada na freguesia de Brinches, concelho de Serpa, numa das zonas mais ensolaradas da Europa. Podemos aí encontrar a central fotovoltaica Hércules<sup>2</sup> (figura 4.9). Com uma área total de 64ha, é coberta por 52 mil painéis fotovoltaicos, com a potência de 11 MWp. Os módulos encontram-se 2 metros acima no solo, permitindo assim, que o terreno continue a servir para o pastoreio. Este projeto tem a capacidade para fornecer energia elétrica a 8000 lares e evitará a emissão de cerca de 19 mil toneladas de dióxido de carbono por ano. A sua construção foi iniciada em Maio de 2006 e a inauguração a 28 de Março de 2007. As empresas proprietárias deste parque são a GE Energy Financial Services, a Powerlight Corporation e a portuguesa Catavento.

---

<sup>2</sup>Informação Wikipédia, acedida em 1 de Fevereiro de 2012 em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_solar\\_em\\_Portugal](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar_em_Portugal)



**Figura 4.9** – Sistema fotovoltaico com ligação à rede - central fotovoltaica Hércules (24 Julho 2009).

### 4.2.3 Efeito fotovoltaico e função da célula solar

A palavra fotovoltaica significa<sup>3</sup> sistema *capaz de converter a luz diretamente em energia elétrica por intermédio do efeito fotovoltaico*. Neste processo são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, GaAs, telureto de cádmio, CdTe, entre outros. A célula de silício cristalina, no entanto, é a mais comum.

Estima-se que, atualmente, 95% de todas as células existentes no mundo são de silício, por este apresentar uma disponibilidade quase ilimitada. O silício não existe como um elemento químico, existe apenas associado à areia de sílica.

Para que se consiga a maior pureza possível numa célula solar, são necessárias sucessivas etapas na sua produção, através de procedimentos essencialmente químicos. Até aos dias de hoje, os fabricantes de células solares têm obtido, na sua maior parte, o material purificado do desperdício da indústria eletrónica de semicondutores.

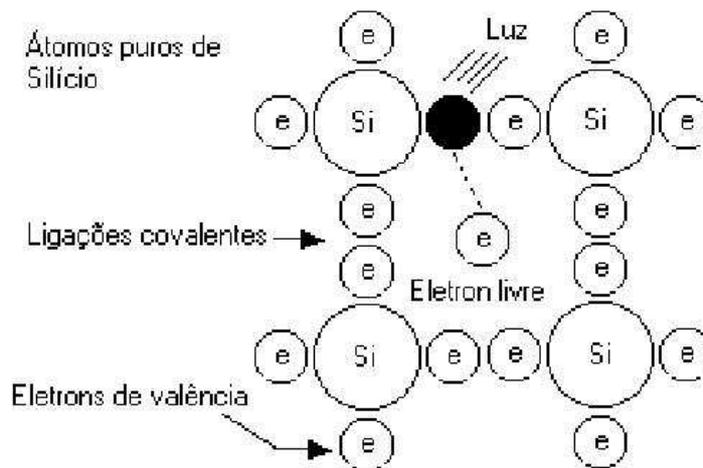
---

<sup>3</sup>Informação Wikipédia, acedida em 1 de Fevereiro de 2012 em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaica>

## Princípios funcionais

Na figura 4.10 está ilustrado o *princípio de funcionamento* de uma célula solar de cristal de silício. Os átomos de silício formam um *retículo* cristalino estável. Cada átomo de silício detém quatro elétrons de valência na sua camada periférica. Para atingir uma configuração estável de elétrons, dois elétrons de átomos vizinhos formam um par de ligações de elétrons. Através do estabelecimento desta ligação com quatro átomos de silício vizinhos, obtém-se a configuração do gás inerte estável de seis elétrons.

Com a influência da luz ou do calor, a coesão dos elétrons pode ser posta em causa. O elétron pode então mover-se livremente, deixando uma lacuna atrás de si, no tal *retículo* cristalino. Este processo é habitualmente designado por *autocondução*.



**Figura 4.10** – A *autocondução* numa rede cristalina de silício (Bernardo, 2008).

No entanto, a *autocondução* não pode ser utilizada para gerar energia. Para que o material de silício funcione como um *gerador*, o *retículo* cristalino é propositadamente *contaminado* com os chamados átomos impuros. Estes átomos possuem um elétron a mais, no caso do fósforo, ou um elétron a menos, no caso do boro, do que o silício na camada externa de valência.

Por este motivo, os átomos impuros causam *defeitos* no interior do *retículo* cristalino.

Se a ele for adicionado fósforo, impureza do tipo n, fica um eletrão a mais por cada átomo de fósforo introduzido. Este eletrão pode mover-se livremente dentro do cristal e por isso transportar carga elétrica. Com o boro, impureza do tipo p, fica uma lacuna, por cada átomo de boro introduzido.

Os eletrões dos átomos vizinhos de silício podem preencher este *buraco*, resultando na produção de uma nova lacuna noutra lugar. O mecanismo condutor que resulta da presença dos átomos impuros, é chamado de *condução extrínseca*. Contudo, se virmos individualmente o material de impureza do tipo p ou n, as cargas livres não têm uma direção definida durante o seu movimento.

Se juntarmos as camadas dos semicondutores n e p impuros, produziremos uma região de transição tipo *pn*. Isto leva à difusão de eletrões a mais do semicondutor n para o semicondutor p, nessa junção. Cria-se assim uma nova área com poucos portadores de carga, designada por *barreira de potencial*. Na área do tipo n da região de transição, os átomos dopantes positivos são remetidos para trás, acontecendo de modo semelhante com os negativos na área do tipo p. É criado um campo elétrico que se mantém contrário ao movimento dos portadores de carga. Por esta razão a difusão não se mantém infinitamente.

Se um semicondutor *pn*, uma célula solar, é exposta à luz solar, os fotões são absorvidos pelos eletrões. As ligações entre eletrões são quebradas com este fornecimento de energia. Os eletrões livres são conduzidos através do campo elétrico para a área do tipo n. As lacunas assim criadas seguem na direção contrária, para a área do tipo p. Todo este processo é designado por *efeito fotovoltaico*.

A difusão dos portadores de carga até aos contatos elétricos, produz uma tensão na fronteira da célula solar. Se não estiver ligada a nenhuma carga, é obtido a tensão em circuito aberto da célula solar. Se o circuito elétrico estiver fechado, a *eletricidade* pode então fluir!

### Estrutura e função de uma célula de silício cristalino

A célula solar clássica, de silício cristalino, é composta por duas camadas de silício *contaminadas* de diferentes impurezas. A camada orientada para o Sol está contaminada negativamente, com fósforo, a camada inferior está contaminada positivamente, com boro. É produzido um campo elétrico na junção das duas camadas, que conduz à separação das cargas, elétrons e lacunas, libertadas pela luz solar, como atrás já descrito.

No intuito de gerar eletricidade a partir da célula solar, são impressos contatos metálicos na sua parte frontal e posterior. É possível conseguir uma camada de contato em toda a extensão da célula, com a aplicação de uma folha de alumínio ou de prata na parte posterior. No entanto, a parte frontal deverá ser tão translúcida quanto possível. Aqui os contatos são essencialmente aplicados na forma de uma grelha, fina, ou numa estrutura tipo árvore. A reflexão da luz pode ser reduzida com a introdução de uma camada mais fina, camada anti-reflexo, na parte frontal da célula solar, feita de nitreto de silício ou de dióxido de titânio.

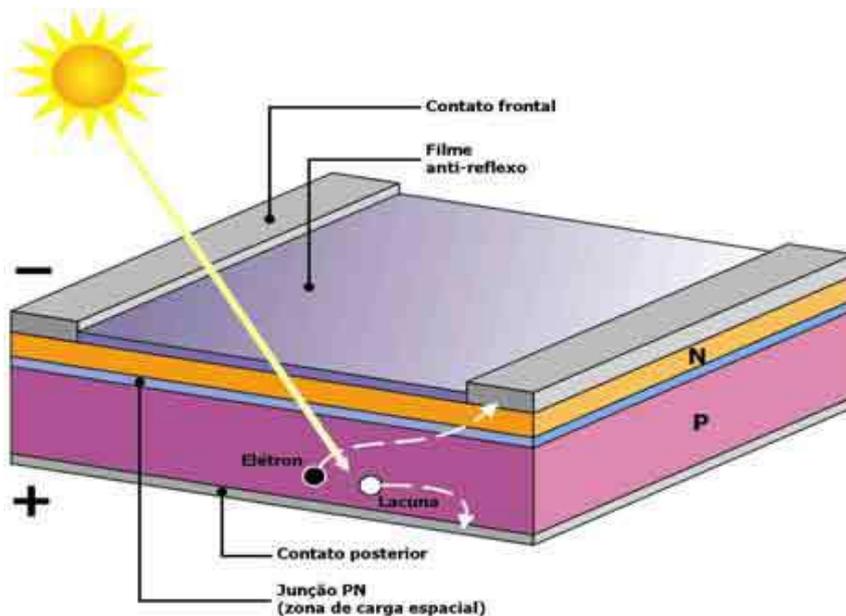


Figura 4.11 – Célula solar cristalina (imagem PUCRS).

A radiação provoca a separação dos portadores de carga e o aparecimento de uma

corrente, caso exista um aparelho que a consuma. As perdas ocasionadas pela recombinação, pela reflexão e pelo sombreamento entre os contatos frontais, ocorrem na célula.

#### 4.2.4 Tipo de célula

##### Célula de silício cristalino

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

Para se obter silício, numa primeira fase é necessário separar o oxigénio não desejado do dióxido de silício. Para o conseguir, a areia de sílica é aquecida e fundida num cadinho<sup>4</sup>, junto com pó de carvão. Durante este processo é criado o silício de natureza metalúrgica, com uma pureza de 98%.

No entanto, os 2% restantes são demasiado importantes para aplicações do tipo eletrónicas. Por este motivo, o silício em estado bruto é ainda purificado através de um processo químico. É cuidadosamente depositado num forno com ácido clorídrico, HCl. Como resultado são produzidos os químicos hidrogénio, H, e triclorosilano,  $HCl_3Si$ , um líquido que ferve a 31°C. Este último é destilado em várias e sucessivas etapas, durante as quais é reduzida a percentagem de impurezas em cada estágio de destilação. Quando se consegue a percentagem de pureza necessária, o triclorosilano é reduzido a silício com a ajuda do hidrogénio a 1000°C. Este silício de elevada qualidade pode agora ser processado de diferentes modos, por exemplo para produzir células monocristalinas ou células policristalinas.

##### Células de silício monocristalino

O processo de Czochralski<sup>5</sup>, foi estabelecido para produzir silício monocristalino

---

<sup>4</sup>Informação Wikipédia: cadinho ou *crisol* é um recipiente em forma de pote, normalmente com características refratárias, resistente a altas temperaturas, onde se fundem materiais a altas temperaturas. O ourives e o alquimista usam-no há muitos séculos para purificar o ouro, daí ter também significado figurado.

<sup>5</sup>Informação Wikipédia: Czochralski process.



para aplicações terrestres. Durante este processo, o núcleo do cristal com uma orientação definida, é imerso num banho de silício fundido, ponto de fusão de  $1420^{\circ}\text{C}$ , e retirado do banho enquanto roda lentamente. Deste modo, podem ser produzidos cristais únicos redondos com um diâmetro de 30cm e vários metros de largura. Os cristais únicos redondos são *estriados* em barras semiquadradas e depois cortados em espessas lâminas de 0,3mm, formando pastilhas, muitas vezes designadas por *wafer*. Durante o processo de extração dos cristais únicos e do corte das pastilhas, perde-se uma grande parte do silício em forma de pó de serragem. A partir das pastilhas já com impurezas positivas, a fina camada com impurezas negativas é produzida com difusão de fósforo, a temperaturas entre os  $800$  e os  $1200^{\circ}\text{C}$ . Depois de unir a camada de contato posterior, as pastilhas são equipadas com pistas elétricas e com uma camada Anti-Reflexo (AR) na parte frontal.

O processo de zona flutuante consiste noutra processo de produção de silício monocristalino, sendo utilizado para a produção de células solares de maior pureza e de maior eficiência. No entanto, o material bruto necessário para alcançar esta pureza, uma barra de silício cristalino de extrema pureza, é muito cara. É reduzida através de uma espiral e fundida do fundo até à parte superior com a ajuda de um campo de altas frequências. A partir do núcleo de silício monocristalino, é produzido silício monocristalino no topo da barra, à medida que esta arrefece. O material impuro fica, de preferência, no banho de fusão. A eficiência encontra-se entre os 15 e os 18%, no caso do silício de *Czochralski*.

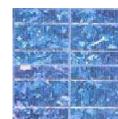
São produzidas células redondas, semiquadradas ou quadradas, dependendo da quantidade que é retirada do cristal único. As células redondas são mais baratas do que as semiquadradas ou as quadradas, uma vez que se perde menos material durante a sua produção. No entanto, raramente são utilizadas em módulos standards devido à sua exploração ineficaz do espaço. Para módulos especiais, utilizados em sistemas de integração em edifícios, para os quais é desejável algum grau de transparência, ou

para sistemas solares domésticos, as células redondas constituem uma boa alternativa.

Têm maioritariamente  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  mas também podem ter  $12,5 \times 12,5 \text{ cm}^2$  e mesmo 10, 12,5 ou mesmo 15cm de diâmetro. A sua espessura ronda os 0,3mm numa estrutura homogénea. Numa gama de cor azul-escuro para preto, com AR e cinza, sem.

Fabricantes deste tipo de células podemos enumerar alguns desde: Sanyo, LG, Suntech, CNPV, S-energy, Bosch, BP Solar, Helios, Isofoton, Sharp e Shell Solar.

### **Células de silício policristalino**



O processo de produção mais comum para o silício policristalino, é o de fundição de lingotes. O silício em estado bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de  $1500^\circ\text{C}$  e depois arrefecido na direção da base do cadinho, a uma temperatura aproximada de  $800^\circ\text{C}$ . São assim criados os blocos de silício de  $40 \times 40 \text{ cm}^2$  com uma altura de 30cm. Os blocos são inicialmente serrados em barras e depois em pastilhas com uma espessura de 0,3mm.

Durante esse processo, perdem-se partes do silício na forma de pó de serragem. Depois da introdução de impurezas de fósforo, a camada posterior de contato é unida à pastilha. Por último, os contatos elétricos são fixos no lado frontal juntamente com uma camada de AR.

A sua eficiência encontra-se entre os 13 e os 15%, a sua forma é normalmente quadrada, com uma área de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $12,5 \times 12,5 \text{ cm}^2$  ou mesmo de  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , espessura de 0,3mm. Durante a fundição do bloco, formam-se cristais com várias orientações. Os cristais individuais podem ser facilmente vistos na superfície, padrão estrutural semelhante a cristais de gelo, devido ao efeito criado pela diferente reflexão da luz. De cor azul, com AR e cinza prateada, sem AR.

Dos principais fabricantes destaco a LG, CNPV, Kyocera, S-energy, BP Solar, Sharp, Suntech e Shell Solar.

### **Células de silício laminadas e células de silício cristalino de película fina**

Aproximadamente metade do silício em bruto é perdida na forma de pó de serragem, com a aplicação do processo tradicional de produção das pastilhas de silício cristalino. Para além disso, por razões mecânicas, a pastilha cortada requer uma espessura de cerca de 0,3mm.

Para reduzir as elevadas perdas de material e aumentar a sua exploração, foram desenvolvidos diferentes tipos de procedimentos de laminagem de faixas, que permitem produzir lâminas diretamente a partir do banho de fusão do silício. Já detêm a espessura da futura pastilha, precisando apenas que a sua superfície lisa seja cortada em peças com a ajuda de raios laser.

### **Células de silício policristalino EFG**

O processo EFG, de *Edge-defined Film-Fed Growth*, foi utilizado na produção industrial em série, durante muitos anos. Um corpo de forma octogonal, feito em grafite, é imerso no banho de silício e retirado de seguida. O resultado são tubos octogonais com 5,6m de comprimento, uma largura lateral de 10cm e uma espessura média de parede de 0,28mm. As pastilhas prontas para serem usadas são cortadas dos oito lados do octógono.

Deste modo, perde-se menos de 10% do material. Após a contaminação do material com fósforo e a união da camada de contato posterior, as pastilhas são equipadas com contatos elétricos no lado frontal e com uma camada de AR. Apesar do silício EFG ser policristalino, apresenta um pequeno número de fronteiras entre núcleos e reduzidos defeitos no cristal. Por este motivo, as células assemelham-se mais a uma célula monocristalina tanto na sua aparência como na sua qualidade elétrica.

Para produzir uma célula ainda mais fina com uma maior rapidez na laminagem, serão, no futuro, produzidos tubos arredondados em vez de octogonais. No entanto, esta técnica de produção continua ainda em fase experimental.

A sua eficácia ronda os 14%, a sua forma é quadrada ou retangular, com áreas de  $10 \times 15 \text{ cm}^2$  ou de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . Uma espessura de 0,28 cm, em média. Durante

o processo EFG, são obtidos cristais expandidos, mas apenas podem ser vistos de perto. A superfície da célula é ligeiramente irregular. De cor azul, quando com AR.

O principal fabricante é a RWE SCHOTT Solar.

### **Células de faixa de filamentos de silício policristalino**

No processo de laminagem de faixas, dois filamentos de carbono ou de quartzo, designados de lâminas, aquecidos a altas temperaturas, são extraídos de um cadinho liso com silício fundido. O silício líquido forma uma pele entre as lâminas e cristaliza em faixas de lâminas de 8cm de largura. Neste processo contínuo de laminagem, as lâminas são desenroladas de uma bobina. O silício, em estado bruto, é vertido permanentemente no cadinho, enquanto a faixa que está a aumentar constantemente é cortada em fatias retangulares no seu extremo.

A sua eficiência ronda os 12%, a sua forma é retangular, com uma área de  $8 \times 15 \text{cm}^2$ . A estrutura é igual a EFG. Com espessura de 0,3mm e cor azul, quando com AR e cinza prata, quando sem AR.

O principal fabricante é a Evergreen Solar.

### **Célula de película fina**

Desde a década de 90, o desenvolvimento dos processos de película fina para fabricar células solares, tornaram-se de importância crescente. Neste caso, os semicondutores são aplicados em finas camadas num substrato, na maioria dos casos é vidro. Os métodos utilizados incluem disposição por vaporização, processos de disposição catódica e banhos eletrolíticos. O silício amorfo, o disseleneto de cobre e índio, CIS, e o telureto de cádmio, CdTe, são utilizados como materiais semicondutores.

Devido à elevada absorção luminosa destes materiais, uma camada com uma espessura menor que 0,001mm é, teoricamente, suficiente para converter a luz solar. Estes materiais são mais tolerantes à contaminação de átomos estranhos.

Comparando com as temperaturas de fabrico das células de silício cristalino, que

vão até 1500°C, as células de película fina apenas requerem temperaturas na casa dos 200°C a 500°C. Os menores consumos de materiais e de energia, assim como a elevada capacidade de automatização da produção em larga escala, oferece um potencial considerável para a redução dos custos de produção, quando comparada com a tecnologia de produção do silício cristalino.

As células de película fina não estão restringidas no seu formato aos tamanhos standard das pastilhas, como acontece no caso das células cristalinas. Teoricamente, o substrato pode ser cortado em vários tamanhos e revestido com material semicondutor. Contudo, uma vez que na interligação interna apenas podem ser ligadas em série células com medidas semelhantes, a área elétrica eficaz vem determinada pela maior área retangular possível dentro de uma forma assimétrica. A área exterior a este retângulo não é ativa do ponto de vista elétrico, mas não pode ser distinguida visualmente da área ativa.

Uma característica das células de película fina, que as diferencia das células cristalinas, é o tipo de interligação. Enquanto as células cristalinas estão soldadas de célula para célula, as células de película fina estão interligadas monoliticamente. As células são separadas eletricamente e interligadas em etapas estruturais, que têm lugar entre as fases de fabrico individual das camadas celulares. Isto cria finas ranhuras transparentes entre as células individuais.

No intuito de atingir a maior produção energética possível, as ranhuras são tão finas quanto possível e dificilmente visíveis a olho nu. Contudo, podem ser utilizadas como um elemento de desenho e especificamente alargadas. Quanto maior é a ranhura entre as células, maior é a transparência. O efeito ótico semitransparente pode também ser criado, acrescentando ranhuras perpendiculares às tiras celulares.

O contato elétrico é criado na parte posterior por um revestimento metálico opaco. Na parte frontal orientada para o sol, esta função é desempenhada por uma camada de metal óxido, fortemente transparente e condutivo, designada por camada OTC, Óxido Transparente Condutivo. Os materiais tipicamente *OTC* incluem o óxido de zinco,  $ZnO$ , óxido de estanho,  $SnO_2$  e o óxido de índio dopado com estanho, ITO.

Na tecnologia de película fina, os termos usados para as células e módulo de tecnologia cristalina, precisam de ser complementados com outro termo, o módulo monolítico. Neste caso, uma célula consiste numa longa e estreita fita de material semiconductor, depositada sobre um substrato de vidro.

Assim, o módulo em bruto, designa uma folha de vidro completamente revestida com várias fitas de células ligadas em série. Quando este é encapsulado com um material composto, tipo Acetato de Vinil Etileno (EVA), protegido por uma segunda folha de vidro, passa a designar-se por módulo.

Apesar de ter em termos relativos uma baixa eficiência, a energia produzida pode, sob certas condições, ser bastante considerável.

As células de película fina têm um melhor aproveitamento para baixos níveis de radiação e para radiações do tipo difusa. Além disso, o coeficiente de temperatura é mais favorável, isto é, a deterioração do desempenho para elevadas temperaturas é menor da que se verifica com outras tecnologias.

Outra vantagem da película fina resulta da sua forma celular, longa e fita estreita, conferindo-lhe uma menor sensibilidade aos efeitos de sombreamento. No caso de um módulo cristalino, uma folha de árvore pode cobrir completamente a célula cristalina. No caso do módulo de película fina, essa folha poderá cobrir várias células ao mesmo tempo, ficando no entanto apenas uma pequena área de cada uma destas células efetivamente sombreada.

### **Células de silício amorfo**



O silício amorfo, sem forma, não forma uma estrutura regular de cristal, mas uma rede irregular. Como resultado, ocorrem ligações livres que absorvem hidrogénio até à sua saturação. Este silício amorfo hidrogenado, a-Si:H, é criado num reator plasmático, através de vaporização de Silano Gasoso,  $SiH_4$ . Este processo requer

temperaturas relativamente baixas, entre os 200°C e os 250°C.

A contaminação é levada a cabo pela mistura de gases que contêm o correspondente material contaminante, por exemplo,  $B_2H_6$  para a dopagem do tipo p e  $PH_3$  para a dopagem do tipo n.

Dada a reduzida extensão da difusão do material a-Si:H contaminado, os portadores de carga livre da junção direta pn não conseguem sobreviver por forma a contribuir para a produção de energia elétrica. Assim, uma camada *i* intrínseca, não contaminada, é aplicada entre as camadas contaminadas tipo n e tipo p, aumentando a longevidade do portador de carga.

É este o local onde a absorção da luz e a produção da carga ocorre efetivamente. As camadas tipo p e tipo n criam apenas o campo elétrico que separa os portadores de carga libertos. Se as células forem depositadas na parte superior do vidro, como acontece na figura 4.12, então cria-se a característica estrutura *p-i-n*.

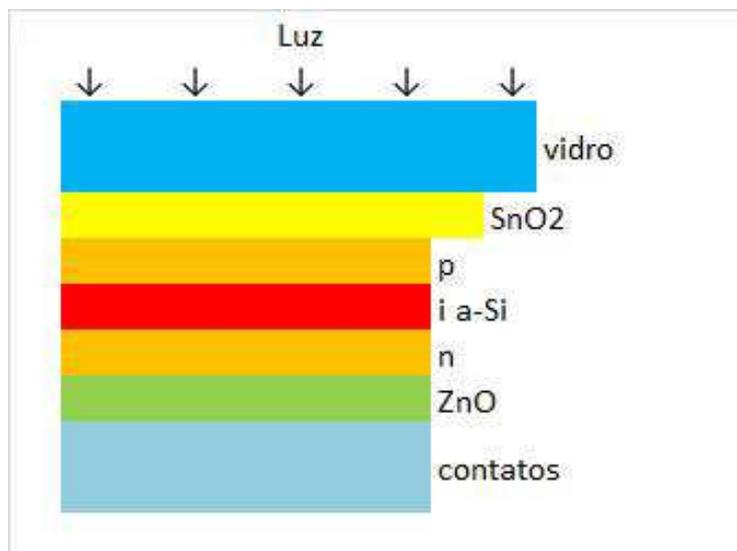


Figura 4.12 – As camadas de uma célula amorfa (Pereira, 2011).

Em alternativa, podem também ser depositadas numa sequência inversa “n-i-p” na parte posterior. Isto permite que sejam criados módulos solares flexíveis sobre qualquer tipo de substrato, sobre chapas de metal ou de plástico.

A maior desvantagem das células amorfas, consiste na sua baixa eficiência. Esta eficiência diminui logo nos primeiros 6 a 12 meses de funcionamento efetivo, devido à degradação induzida pela luz, o conhecido efeito *Staebler-Wronski*, até nivelar num valor estável.

As células solares multijunções foram desenvolvidas para contrariar este problema. São sobrepostas nas células duas estruturas “p-i-n” e, com células triplas, três estruturas “p-i-n”. Cada célula individual pode ser otimizada para uma diferente banda de cor do espectro solar, conseguindo-se assim aumentar a eficiência total.

De acrescentar que, com células em pilha, o efeito do envelhecimento do material é também reduzido, uma vez que as camadas *i* individuais são mais finas e, portanto, menos suscetíveis de se degradarem com a luz.

A sua eficiência encontra-se na casa dos 5 e 8%, a sua forma é livre, a sua área mais standard é de  $0,77 \times 2,44 m^2$  e pode chegar a  $2 \times 3 m^2$ . A sua espessura encontra-se entre o 1 e os 3mm para o substrato, plástico, metal ou vidro não solidificado, com um revestimento de silício amorfo de aproximadamente 0,001mm. A sua estrutura é homogénea, a sua cor é castanha avermelhada a preto.

Dos principais fabricantes, deste tipo de células, destaco a Sanyo, Schott Solar, Suntech e Uni-Solar.

#### Células de Disseleneto de Cobre e Índio, CIS

O semiconductor das células CIS é o disseleneto de cobre e índio. Este forma muitas vezes uma liga com o gálio, Ga, ou o enxofre, S. Quando se fabrica a célula, o substrato de vidro é inicialmente revestido com uma camada fina de molibdénio, Mo, como contato reverso, utilizando o processo de disposição catódica. A camada absorvente CIS do tipo p, pode ser fabricada através da vaporização simultânea dos elementos cobre, índio e selénio numa câmara de vácuo, a temperaturas de 500°C. Outra hipótese consiste no depósito dos elementos individuais de forma consecutiva, camada após camada. O óxido de zinco,  $ZnO$ , contaminado com alumínio,  $ZnO:Al$ , é utilizado como contato frontal transparente, camada transparente. Este material

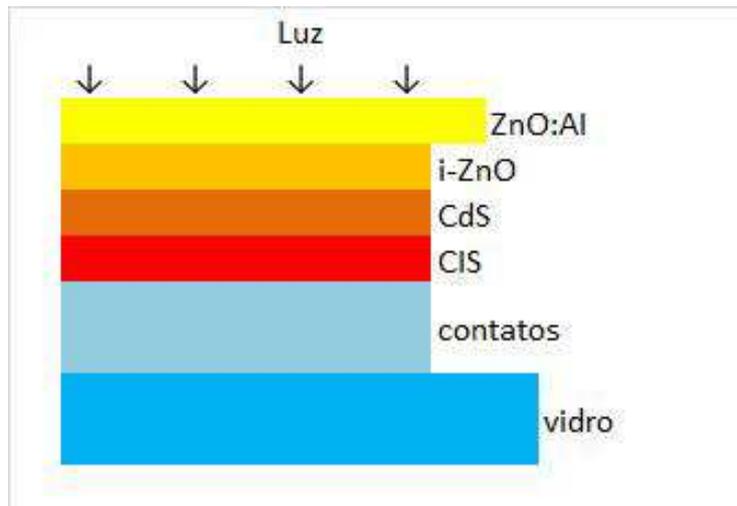


Figura 4.13 – As camadas de uma célula CIS (Pereira, 2011).

dopado negativamente, do tipo n, é disposto com uma camada intermédia “i  $ZnO$ ”. Uma camada tampão de sulfato de cádmio, do tipo n, é utilizada para reduzir as perdas ocasionadas pela combinação inadequada dos retículos cristalinos das camadas CIS e  $ZnO$ .

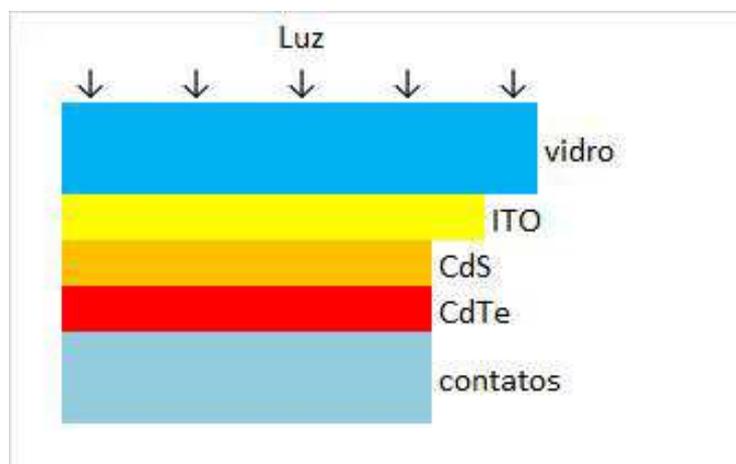
Ao contrário do silício amorfo, as células CIS não são suscetíveis de se degradarem com a indução da luz. Contudo, apresentam problemas de estabilidade nos ambientes quentes e húmidos, pelo que deve ser garantida uma boa selagem contra a humidade.

O módulo CIS constitui, atualmente, a mais eficiente de todas as tecnologias de película fina. É expectável que os custos de produção, ao avançar-se para uma produção em massa, venham a ser consideravelmente mais baixos que o do silício cristalino. Existe ainda a necessidade de maiores progressos na substituição da camada tampão CdS, por um composto sem cádmio. O potencial perigo que surge com o conteúdo de selénio é considerado negligenciável, devido à sua baixa proporção.

A sua eficiência encontra-se na casa dos 7,5 a 9,5%. A sua forma é livre, a área é de  $1,2 \times 0,6m^2$ . A sua espessura é de cerca de 3 mm para o substrato, vidro não solidificado, com um revestimento de 0,003 mm. A sua estrutura é homogénea e de cor preta.

Dos principais fabricantes de células destaco a Avancis e Shell Solar.

Células de Telureto de Cádmio, CdTe



**Figura 4.14** – As camadas de uma célula CDTE (Pereira, 2011).

As células CdTe são fabricadas sobre um substrato de vidro, com uma camada de condutor transparente, normalmente ITO, como contato frontal. É revestido com uma camada transparente, CdS, do tipo n, que é tão fina quanto possível, antes de ser revestido com a camada absorvente, CdTe, do tipo p. São utilizados processos simples de fabrico como a impressão em tela, a disposição galvânica ou a pirólise pulverizada.

Módulos de maiores dimensões e com maiores eficiências, podem ser fabricados, recorrendo a processos de deposição por vaporização, em que os materiais de deposição e o substrato são mantidos juntos. No processo em vácuo, as camadas de CdS e de CdTe, são depositadas a temperaturas aproximadas de 700°C. A camada dupla de CdS - CdTe é ativada quando entra numa atmosfera que contém cloro. O CdS funciona como uma camada transparente. Absorve uma pequena proporção da luz visível na parte azul do espectro e permite que a restante radiação passe para a camada de CdTe ativo. O contato metálico reverso é então revestido utilizando um processo de deposição catódica. Se houver lugar a um controlo fiável da tecnologia de deposição, particularmente na zona posterior, então não haverá uma degradação dos módulos CdTe.

Tal como para a produção de CIS, esta tecnologia também tem um potencial considerável para a redução de custos numa produção em massa. No entanto, a toxicidade do cádmio pode constituir um problema, que pode afetar a aceitação dos módulos e assim a sua capacidade de criar um impacto positivo num mercado cada vez mais *verde*.

O CdTe é um composto não tóxico de elevada estabilidade. Este composto pode contudo apresentar um risco para o ambiente e para a saúde na sua condição de gás. O estado físico gasoso apenas ocorre durante o processo de fabrico das células, em centros de produção com ambientes controlados.

A sua eficiência encontra-se entre os 6 e os 9%, a sua forma é livre e a sua espessura ronda os 3mm de substrato material, vidro não solidificado, com 0,008 mm de revestimento. A sua área é de 1,2 x 0,6m<sup>2</sup>. Com estrutura homogénea e de cor verde-escura a preto.

Dos principais fabricantes destaco a Antec, First Solar e a Matsushita Electric.

### Célula HCl, a célula híbrida!

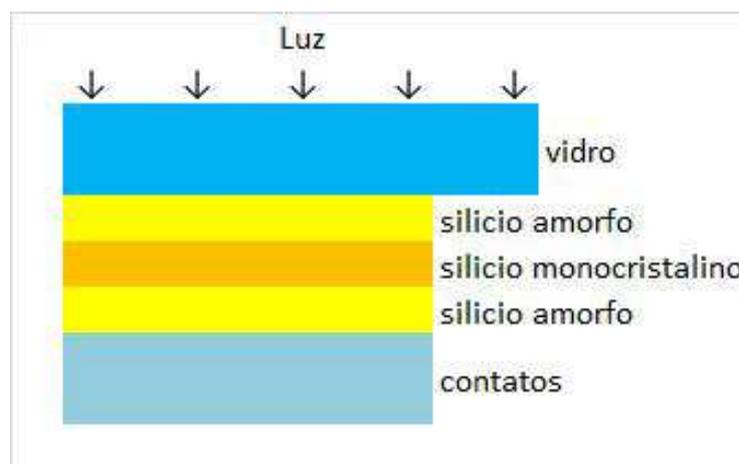


Figura 4.15 – As camadas de uma célula HCl (Pereira, 2011).

A célula HCl, resulta da combinação da clássica célula solar cristalina, com uma célula de película fina.

Em inglês HIT, em português HCI, de *Heterojunção com uma Camada fina Intrínseca*, refere-se à estrutura destas células solares híbridas. Consiste em silício cristalino e amorfo, associado a uma película fina adicional não contaminada, camada fina intrínseca. Uma pastilha monocristalina forma o núcleo da célula HCI e é revestida em ambos os lados por uma camada fina de silício amorfo, *a-Si*. Como camada intermédia, uma camada ultrafina *i*, intrínseca de silício, sem impurezas, liga a pastilha cristalina com cada uma das camadas de silício amorfo. Uma camada *a-Si* dopada com impurezas do tipo p, é depositada no lado frontal, que forma a junção pn com a pastilha monocristalina com impurezas do tipo n.

Enquanto nas células convencionais de silício, o mesmo material semiconductor é contaminado de forma diferente no intuito de criar uma junção pn, nas células HCI ocorre entre os dois semicondutores estruturalmente diferentes. Esta junção é conhecida por heterojunção. A camada amorfa “p-i” e a pastilha de impurezas do tipo n, cria uma estrutura “p-i-n” semelhante às células amorfas de película fina. A parte posterior da pastilha é revestida com silício amorfo intensivamente contaminada, para prevenir a recombinação dos portadores de carga livre no eléctrodo posterior. Na superfície da célula, o revestimento antireflexo e a textura da pastilha contribuem para diminuir as perdas por reflexão.

Não há degradação da eficiência devido ao fenómeno de envelhecimento por indução da luz, como é característico nas células amorfas de película fina. Comparadas com as células cristalinas, a célula HCI distingue-se pela maior produção de energia a elevadas temperaturas.

Neste caso, por cada incremento da unidade de temperatura em Grau Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), há uma queda de eficiência de 0,33%, em comparação com os 0,45% sentidos pelo silício cristalino. A célula HCI poupa energia e material no seu fabrico. A temperatura necessária para a deposição é de *apenas*  $200^{\circ}\text{C}$ . Isto significa que as pastilhas são expostas a um menor esforço térmico e podem ser reduzidas para uma espessura de aproximadamente 0,2mm.

A sua eficiência ronda os 17,3%, a sua forma é quadrada numa área de 10,4cm x 10,4cm. A sua espessura ronda os 0,2mm numa estrutura homogénea, de cor azul

escura a praticamente preto.

Esta tecnologia foi desenvolvida pela Sanyo Electric, futuramente Panasonic!

## Comportamento

Para os sistemas solares fotovoltaicos com ligação a uma rede pública, habitualmente são utilizadas mais as células de silício monocristalino e policristalino. A menor eficiência do silício policristalino é compensada pelas vantagens que oferece em termos do preço final, menores devido aos menores custos no processo de fabrico.

Os módulos de silício amorfo têm sido maioritariamente utilizados em aplicações de lazer, tipo pequenas aplicações, campismo, barcos, etc.. Recentemente, os resultados de longo prazo conseguidos com testes, demonstraram que as reservas referentes à sua estabilidade e ao seu comportamento ao longo do tempo, eram infundadas, pelo que os módulos amorfos poderão tornar-se cada vez mais comuns em grandes sistemas.

Os módulos HCI alcançam níveis mais elevados de eficiência entre todos os comercialmente disponíveis. Os módulos de película fina CIS e CdTe alcançaram a fase de produção em série e têm vindo a ser utilizados em várias centrais de referência.

Os chamados semicondutores III-V, como o arsenieto de gálio, GaAs, que consiste em elementos do grupo III e do grupo V da tabela periódica, permitem a produção de células de elevada eficiência. Não são competitivas. Por este motivo, são utilizadas apenas no espaço e para sistemas de concentração, normalmente combinadas com compostos adicionais III-V, em células sobrepostas. Estas células duplas e triplas são interessantes objetos de investigação, num esforço que visa estabelecer novos records de eficiência.

Típicos valores para a eficiência dos módulos, estão sumariamente apresentados na tabela seguinte, organizados de forma decrescente do seu valor de eficiência em laboratório.

**Tabela 4.3** – Eficiências típicas

Material	Eficiência laboratório	Eficiência produção
monocristalino	24,7%	18,0%
HCI	20,1%	17,3%
policristalino	19,8%	15,0%
EFG	19,7%	14,0%
película fina	19,2%	9,5%
CIS, CIGS	18,8%	14,0%
CdTe	16,4%	10,0%
amorfo	13,0%	10,5%

#### 4.2.5 Microprodução e Miniprodução

Tem três anos e é a mais recente oportunidade que foi dada a um qualquer consumidor de energia elétrica, com contrato válido com um distribuidor de energia elétrica, de se tornar, socialmente, produtor de energia elétrica, falo de Microprodução. Uma mudança gigantesca, atômica, no paradigma dos assuntos sociológicos.

O Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro, com as alterações introduzidas mais tarde pelo Decreto-Lei 118-A/2010 de 25 de Outubro, define as condições e os requisitos gerais para a instalação de uma unidade de Microprodução, UMP, em Portugal.

O requisito base é a existência de um contrato de compra de eletricidade em baixa tensão. A totalidade da energia produzida pode ser vendida à rede de acordo com os regimes remuneratórios existentes, são eles o regime geral e o bonificado.

A legislação prevê dois regimes remuneratórios para o valor da potência produzida por uma UMP pelo Microprodutor e entregue à RESP. ([DL363-2007](#)) e ([DL118A-2010](#))

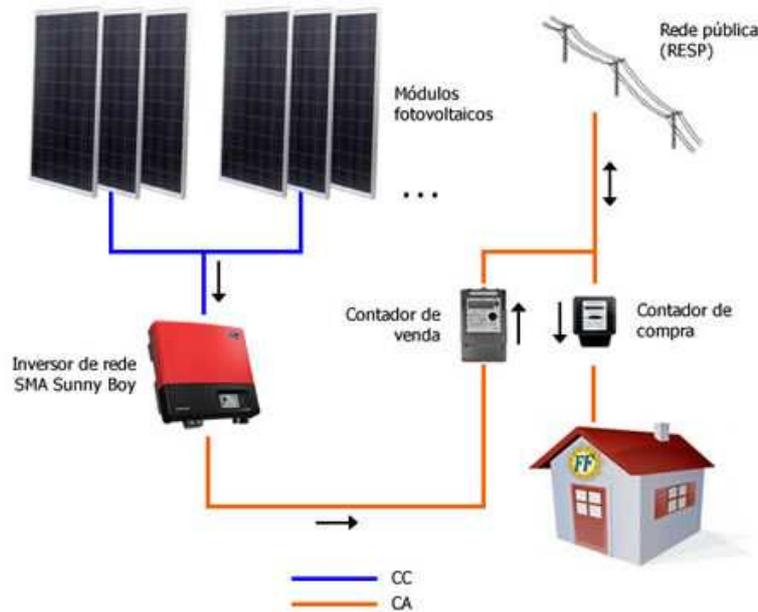


Figura 4.16 – Ilustração típica de uma UMP (imagem FF Solar).

Para registos realizados em 2012, o regime bonificado, prevê uma tarifa de 0,326€/KWh nos primeiros 8 anos de potência entregue à RESP e de 0,185€/KWh para os restantes sete.

Quando se iniciou o programa, em 2009, a tarifa bonificada tinha o valor 0,65€ por cada KWh que passava pelo contador. Só por curiosidade, o parâmetro *2.80*, nestes equipamentos, permite saber o total de potência exportada pelo gerador e que a RESP *aceitou*.

Tabela 4.4 – Regimes previstos

	Regime Geral	Regime Bonificado
Potência	Instalações até 5,75KW	Habitacionais: instalações até 3,68KW  Condomínios: instalações até 11,04KW
Tarifa	O valor de venda é igual ao de compra.	Contrato com uma duração de 15 anos.  Remuneração realizada com base na tarifa de referência que vigorar à data de atribuição do certificado de exploração da unidade de microprodução.
Condições de acesso	Sem exigências.	Habitacionais: instalação de 2m2 de coletor solar térmico ou uma caldeira a biomassa com produção idêntica.  Condomínios: aplicação de medidas de eficiência energética identificadas em auditoria energética com retorno de até 2 anos.

O que de fundamental precisa, um futuro Microprodutor, saber

Muito simples, acreditem, irei resumir nas tabelas 4.5 e 4.6 os principais procedimentos.

Tabela 4.5 – Cronologia da Microprodução

Variável tempo	Variável acontecimento
1 hora	Familiarizar-se com toda a informação disponível no portal Renováveis na Hora. Conhecido pelo SRM, para as instalações de Microprodução e por SRMini, para as instalações de Miniprodução, basta, para isso, clicar no endereço <a href="http://www.renovaveisnahora.pt">www.renovaveisnahora.pt</a>
	Contactar entidades instaladoras, EI, através da listagem disponível no portal SRM
	Obter informações através de visita ao local da futura instalação
	Confirmar se possui um coletor solar com 2m <sup>2</sup> ou caldeira a biomassa
	Pedir propostas às EI e posterior celebração de contrato
	Entregar fatura da EDP à EI para registo no SRM
5 dias	Pagar taxa de inscrição no SRM (500€ + IVA)
120 dias	Instalação do sistema solar pela EI
	Requerer a inspeção da unidade de microprodução
10 dias	Inspeção e posterior emissão de certificado de exploração
10 dias	Envio do contrato de compra e venda pela EDP para o Microprodutor

**Tabela 4.6** – Cronologia da Microprodução (cont.)

10 dias	Conclusão do contrato e informação ao SRM por parte da EDP
10 dias	Ligação da sua unidade de microprodução à RESP
8 anos	Venda de toda a sua energia produzida a 0,326€/KWh
7 anos	Venda de toda a sua energia produzida a 0,185€/KWh
	Ingressão no regime geral, ou seja, tarifa de venda igual à de compra

### Dimensionamento de uma unidade de Microprodução, UMP

Dimensionar um sistema fotovoltaico para ligação à RESP com uma potência nominal de 3680W, em que o proprietário possui uma área de telhado disponível de  $28m^2$  (7,0 x 4,0 m). O telhado, não exposto a sombreamentos, está orientado a sul com uma inclinação de 15 graus. Este tipo de dimensionamento é também válido para outras potências de ligação à rede, como por exemplo 3300W, 1700W, ou outra.

**1º** Antes de tudo, devemos analisar as condições de instalação do local onde se instalará o sistema fotovoltaico. Deve-se, por isso, ter em conta:

- . a área disponível para o gerador fotovoltaico;
- . a presença de obstáculos e sombreamentos;
- . o tipo de terreno ou edifício;
- . o telhado é plano ou inclinado;
- . a radiação solar da localidade.

2º Escolha do tipo de módulos fotovoltaicos:

Devemos escolher qual o tipo de módulos fotovoltaico, isto é, se serão do tipo silício monocristalino, policristalino, amorfo ou mesmo outra tecnologia.

Vamos então escolher um módulo de silício monocristalino, com as seguintes características:

**Tabela 4.7** – Características do módulo

P <sub>máx</sub>	175 W <sub>p</sub>
UN	24 V
UP <sub>máx</sub>	35,7 V
UOC	44 V
IP <sub>máx</sub>	4,9 A
ICC	5,4 A
Eficiência	13,9%
Coeficiente de temperatura de UOC	-(160+-10) mV/°C
Dimensão	1584 x 790 x 35 mm

3º Cálculo do número de módulos fotovoltaicos, N, que a instalação irá ter:

$$N = P_{\text{inv DC máx}} / P_{\text{módulo máx}} = 4040 / 175 = 23,09 \text{ módulos}$$

Necessitamos agora de verificar qual a configuração geométrica que melhor distribui este número de módulos, N, na superfície disponível. Para tal, calcula-se a largura, L, e o comprimento, C, associados a cada um deles.

$$C_{\text{telhado}} \times L_{\text{telhado}} = 7,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} \text{ (Atelhado} = 28\text{m}^2\text{)}$$

$$C_{\text{módulo}} \times L_{\text{módulo}} = 1,584 \text{ m} \times 0,79 \text{ m}$$

Efetuada a distribuição dos módulos segundo a largura, tem-se:

$$L_{\text{telhado}} / L_{\text{módulo}} = 4,0 \text{ m} / 0,79 \text{ m} = 5,06 \text{ m} - 5 \text{ módulos}$$

$$C_{\text{telhado}} / C_{\text{módulo}} = 7,0 \text{ m} / 1,584 \text{ m} = 4,42 \text{ m} - 4 \text{ módulos}$$

Pelo que através desta configuração:

$$5 \times 4 = 20 \text{ menor que } 23,09$$

Caso o valor fosse superior à quantidade de módulos calculada, poder-se-ia efetuar uma distribuição dos módulos segundo o comprimento. Assim,

$$L_{\text{telhado}} / C_{\text{módulo}} = 4,0 \text{ m} / 1,584 \text{ m} = 2,53 \text{ m} - 3 \text{ módulos}$$

$$C_{\text{telhado}} / L_{\text{módulo}} = 7,0 \text{ m} / 0,79 \text{ m} = 8,86 \text{ m} - 9 \text{ módulos}$$

Com esta configuração, temos:

$$3 \times 9 = 27 \text{ maior que } 23,09; \text{ esta configuração não é aceitável!}$$

4º Escolha do inversor:

Aqui deveremos optar apenas por utilizar um inversor. Quando estamos perante potências mais elevadas, é usual utilizarem-se vários inversores, fazendo, com que a soma da sua potência perfaça a potência total da instalação.

A convergência da potência numa só unidade provoca uma redução da eficiência no inversor, pelo facto de este se encontrar a trabalhar com um baixo valor de carga na maior parte do tempo.

Vamos então determinar a potência do inversor. Este valor deverá estar compreendido entre  $0,7 \times P_{\text{gerador}}$  menor que  $P_{\text{inv DC máx}}$  menor que  $1,2 \times P_{\text{gerador}}$ , sendo que  $P_{\text{gerador}}$  é a potência do gerador fotovoltaico.

O valor do inversor deverá estar de acordo com a gama de valores descritos anteriormente, essencialmente:

- . a eficiência do inversor é alta para cargas elevadas;
- . o inversor suporta sobrecargas de 20% ou mais;

. o inversor encontra-se à potência máxima em pouquíssimos momentos.

De acordo com o que foi descrito até ao momento, poderemos escolher um inversor com as seguintes características:

**Tabela 4.8** – Características do inversor

PDC máx	4040 W
UDC máx	500 V
UMPP	200 V a 400 V
IAC máx	20 A
ESS	Electronic Solar Switch, desliga quando não existe tensão na rede de distribuição
Eficiência	95,6%, isto é, tem 4,4% perdas na potência máxima
UAC	220 V a 240 V, parâmetro que deverá ser alterado caso a tensão varie +- 10% de 230 V
fAC	50 Hz +- 4,5 Hz
PAC máx	3680 W
PAC nom	3680 W, máximo permitido pelo decreto-lei
Deteção automática da presença de tensão na rede, desliga quando não existe tensão na rede.	

**5º** Número máximo de módulos por fileira:

O número de módulos que o sistema fotovoltaico terá será fixado pelo valor da tensão máxima do sistema, isto é, pelo valor da tensão DC máxima permitida para interligar os módulos fotovoltaicos em série e também pelo valor da tensão máxima à entrada do inversor.

Caso haja uma falha de tensão na rede, o inversor dispara e, se estivermos perante um dia com valores de temperatura muito baixos, a tensão em circuito aberto, UOC, nos módulos fotovoltaico pode transformar-se num valor alto, na eventualidade de

haver um disparo no lado AC do sistema fotovoltaico.

Para solucionarmos este problema, poderemos proceder da seguinte forma:

- . limitar o número de módulos fotovoltaicos;
- . limitar o valor máximo de tensão da associação em série dos módulos fotovoltaicos.

O valor da tensão no módulo fotovoltaico, com um valor de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $U_{OC}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$ ), é calculado pela fórmula:

$$U_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{35^{\circ}\text{C} \times \Delta(U)}{100}\right) \times U_{oc}(CTS), \Delta(U) \text{ em } mV/^{\circ}\text{C} \quad (4.1)$$

$$U_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = \left[1 - \frac{35^{\circ}\text{C} \times (-170 \times 10^{-3})}{100}\right] \times 44 = 46,63\text{V} \quad (4.2)$$

Nota 1: No caso de falta de dados para a realização dos cálculos anteriores, pode considerar-se que o aumento da tensão com a temperatura é de aproximadamente 14%. Sendo assim, calculava-se da seguinte forma:

$$U_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) \approx 1,14 \times U_{oc}(CTS) \quad (4.3)$$

Nota 2: No cálculo anterior, utilizou-se o limite superior do coeficiente de temperatura

$$U_{OC} = -160 \pm 10mV/^{\circ}\text{C} \quad (4.4)$$

que é a situação mais adversa que pode ocorrer.

Na associação dos módulos fotovoltaicos existem limitações, eis algumas ao nível de tensão:

- . tensão máxima de interligação de módulos (1000 V);
- . tensão do módulo com uma temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $U_{OC}(-10^{\circ}\text{C}) = 46,63\text{ V}$ ;

. tensão MPP do inversor,  $UMPP$  entre 200 a 400 V.

O número máximo de módulos em série,  $N_{\text{máx série}}$ , para interligação é dado por:

$$N_{\text{maxserie}} = \frac{UMPP_{\text{max}}}{U_{oc}(-10^{\circ}C)} = \frac{500}{46,63} = 10,72 \quad (4.5)$$

Nesta situação, não se deve ultrapassar os 10 módulos fotovoltaicos ligados em série, para que não ultrapasse a tensão máxima permitida em DC à entrada do inversor.

**6º** Cálculo do número mínimo de módulos por fileira:

O número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira será dado pela tensão mínima de funcionamento do inversor, neste caso,  $UMPP_{\text{min}} = 200$  V.

A tensão mínima de funcionamento ocorre normalmente quando se atinge a temperatura máxima de funcionamento esperada para  $70^{\circ}C$  e que pode ser calculada da seguinte forma:

$$UMPP(70^{\circ}C) = \left(1 + \frac{45^{\circ}C \times \Delta(U)}{100}\right) \times UP_{\text{max}}(CTS), \Delta(U) \text{ em } mV/^{\circ}C \quad (4.6)$$

Então, vem:

$$UMPP(70^{\circ}C) = \left[1 + \frac{45^{\circ}C \times (-150 \times 10^{-3})}{100}\right] \times 35,7 = 33,29 \quad (4.7)$$

$$UMPP(-10^{\circ}C) = UP_{\text{max}} - 45 \times T_c(U_{oc}) = 35,7 - 45 \times (0,160) = 28,5V \quad (4.8)$$

Nota: A escolha do limite inferior do coeficiente de temperatura UOC deve-se ao facto de ser o valor mais desfavorável neste caso específico.

Na eventualidade de falta de dados para a realização do cálculo anterior, pode considerar-se que o decréscimo da tensão com a temperatura é de aproximadamente 18%. Sendo assim, calculava-se:

$$UMPP(70^{\circ}C) \approx 0,82 \times Upmax(CTS) \quad (4.9)$$

Desta forma, o número de módulos fotovoltaicos,  $N_{min}$  série, que seriam ligados em série, será:

$$N_{minserie} = \frac{UMPP_{min}}{UMPP(70^{\circ}C)} = \frac{200}{33,29} = 6,00 \quad (4.10)$$

Por esta razão, o número mínimo de módulos em série seria de 6.

Nota: Deve-se escolher sempre um valor mais alto, por exemplo 7, 8 ou 9, para garantir que a tensão mínima de arranque do inversor seja acautelada.

**7º** Cálculo do número de fileiras em paralelo, também conhecidas como *strings*:

O cálculo do número de fileiras do nosso sistema fotovoltaico será determinado pelos seguintes fatores:

- . corrente máxima por fileira
- . corrente máxima do inversor

$$N_{paralelo} = \frac{I_{invDCmax}}{I_{moduloPmax}} = \frac{20}{4,9} = 4,08 \quad (4.11)$$

O número de fileiras,  $N$ , que este sistema pode ter é de 4.

**8º** Configuração do gerador fotovoltaico:

Relativamente à configuração do gerador fotovoltaico, temos as seguintes limitações calculadas nos passos anteriores:

- . número máximo de módulos em série, 10;
- . número mínimo de módulos em série, 6;
- . número máximo de fileiras, 4.

Sabendo que o número total de módulos fotovoltaicos é de 20, vamos adotar como configuração do nosso gerador fotovoltaico.

Gerador fotovoltaico com 2 fileiras com 10 módulos em série cada, de acordo com o esquema apresentado mais à frente, figura 5. Analisemos esta configuração:

$$UMPP(-10^{\circ}C) = 10 \times 28,5 = 285,0V > 200V \rightarrow OK! \quad (4.12)$$

$$UMPP(70^{\circ}C) = 10 \times 33,29 = 332,9V < 500V \rightarrow OK! \quad (4.13)$$

$$Uoc(-10^{\circ}C) = 10 \times 46,63 = 466,3V < 500V \rightarrow OK! \quad (4.14)$$

No caso da corrente, para uma fileira será de 4,9 A e para 2 fileiras em série será:

$$2 \times 4,9 = 9,8A \rightarrow IDC_{max} = 20A > 9,8A \quad (4.15)$$

Visto que o valor da corrente gerada fica aquém do valor nominal de corrente de entrada do inversor, poder-se-á adotar esta configuração.

Conclusão: Esta configuração cumpre os requisitos de tensão e de corrente; logo, são soluções admissíveis. De referir que quantos mais módulos houver por fileira, maior será o valor da tensão. Isto significa menores perdas de tensão nas cablagens, razão pela qual se deverá optar pela configuração  $2 \times 10$ .

A instalação a executar deverá assim ter as seguintes características:

**Tabela 4.9** – Algumas características do gerador fotovoltaico

Módulos	20 x 175 Wp
Configuração	2 fileiras com 10 módulos cada
Gerador	Pgerador máx = 4200 Wp (+20%)
Inversor	PDC máx = 4040W

Na instalação podem ser tomadas as seguintes opções:

- . colocação de um diodo de bypass em cada módulo fotovoltaico na caixa de ligações;
- . colocação de diodos de fileira, isto é, um por cada fileira.

Como foi referido atrás, a inclinação dos painéis fotovoltaicos depende da latitude e da zona onde estes irão ser instalados, No caso de não haver dados suficientes para esse cálculo, podemos considerar a latitude do local como o ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaico.

Este valor de latitude pode ser obtido da seguinte forma: Utilize o *Google Maps* para navegar até ao local que pretende, Depois de estarmos no local exato do qual queremos retirar as coordenadas, clicamos com o botão direito do rato sobre o mesmo e escolhemos a opção *centrar o mapa aqui*. Depois do mapa centrado, clique em *link* em cima e à direita da página. Agora, na caixa que se abre, clique no código de cima, e faça copiar as coordenadas que aí estão. Abra o bloco de notas do seu Windows ou qualquer outro editor de texto, e cole aí o código. As duas coordenadas que procura estão nesse texto. Utilizando o cursor do rato e o *enter* do teclado, isole-as para mais fácil identificação. As coordenadas serão interpretadas do seguinte modo: +37,14926° - latitude, por ser um valor positivo, equivale a “N” (norte), se for negativo, devemos escolher “S” (sul); -8,538233° - longitude, por ser um valor negativo, equivale a “W” (west, oeste), se for positivo, devemos escolher “E” (east, este). A inclinação do painel irá variar de acordo com o local onde for instalado, variando com a latitude.

Quando não existe informação no momento da instalação acerca do ângulo de inclinação, deve utilizar-se a inclinação igual à latitude do local.

De acordo com os valores e escolhas tomadas, o projetista pode definir a configuração adequada e deve ter muita atenção à cablagem (IEC 60364-7-712), à segurança de pessoas (RTIE-BT), à norma da EDP, DMA-C62-815/N e toda a legislação que vier a utilizar ao longo do tempo e de acordo com a evolução deste sistema.

9º Cálculo das cablagens e seccionadores nos circuitos em DC:

Para as fileiras, os cabos são dimensionados da seguinte forma:

. segundo a IEC 60364-7-712,

$$I_z \geq 1,25 \times I_{ccDC}(CTS) \quad (4.16)$$

em que

$$\Delta(U) = 1\% \quad (4.17)$$

valor admissível nos sistemas fotovoltaicos;

. corrente que percorre a cablagem da fileira,

$$I = 1,25 \times I_{moduloCC} = 1,25 \times 5,4 = 6,75A \quad (4.18)$$

. secção dos condutores utilizados nas fileiras,  $S = 4mm^2$ ;

. tipo de condutor, cabo Radox 1 x  $4mm^2$ ;

Nota: O valor da queda de tensão nos cabos das fileiras depende do comprimento que vai desde o gerador fotovoltaico e o quadro DC (ou inversor). Quanto maior for a distância, maior terá de ser a secção do cabo a utilizar. Neste caso não serão utilizados fusíveis de proteção DC porque o dimensionamento assim o permite.

. a cablagem de fileiras deverá ser de cor *vermelha* no positivo e de cor *preta* no negativo.

A nível de seccionadores, o dimensionamento é feito da seguinte maneira: Segundo a norma IEC 60364-7-712, temos de instalar um interruptor e corte geral antes do inversor (existem inversores que não necessitam disso). Este deverá cumprir as seguintes condições:

$$I_{geradorDC} \geq 1,25 \times I_{moduloCC} \geq 2 \times 1,25 \times 5,4 = 13,5A \quad (4.19)$$

deverá optar-se pela colocação de um disjuntor DC bipolar de 16 A;

Os cabos principais DC, do quadro de proteção ao inversor, são dimensionados da seguinte forma:

$$IZ \geq 1,25 \times ICCDC(CTS) \quad (4.20)$$

. devem suportar uma corrente

$$I = 2 \times 1,25 \times I_{moduloCC} = 2 \times 1,25 \times 5,4 = 13,5A \quad (4.21)$$

Note-se que o “2 x” deve-se ao facto de haver um condutor de ida e de *retorno*.

. secção dos condutores utilizados nas fileiras,  $S = 4mm^2$  e secção mínima ( $2,5mm^2$ );

. tipo de condutor, cabo Radox 1 x  $4mm^2$ .

**10º** Dimensionamento dos equipamentos de ligação à rede:

Neste sistema fotovoltaico iremos utilizar o inversor da SMA SB 3800/V com interruptor à entrada. Assim, não necessitamos de possuir um quadro com corte e seccionamento em DC, uma vez que o inversor consegue assegurar estas funções.

Do lado AC do inversor, pode-se utilizar um interruptor diferencial, do tipo B, para



**Figura 4.17** – Inversor SMA SB 3800/V (imagem SMA).

o seccionamento e um seccionador fusível de tamanho 10 x 38 mm para corte e proteção na portinhola do sistema fotovoltaico.

Ao nível de equipamentos de seccionamento e corte do lado AC do inversor, utilizaremos:

. instalação de um interruptor diferencial de

$$I\Delta(n) \leq 30mA \quad (4.22)$$

à saída do inversor;

. instalação de um aparelho de proteção omnipolar após o interruptor diferencial;

. interruptor diferencial de  $I_N = 25A$  e

$$I\Delta(n) = 30mA \quad (4.23)$$

. disjuntor com  $I_N = 20$  ou  $10$  A.

Ao nível da cablagem do lado AC do inversor (ligação inversor - portinhola). Esta terá as seguintes características:

. corrente  $I = 16$  A,  $I = P_{\text{máx}} / U = 3680/230$ ;

. secção dos condutores,  $S = 6\text{mm}^2$ , mínimo exigido pelas RTIE-BT;

. tipo de condutor, VV  $2 \times 6\text{mm}^2$ , H07V-U  $2 \times 6\text{mm}^2$  ou VAV  $2 \times 6\text{mm}^2$ ;

. ao nível da portinhola PC/P (ver figura 4.18), esta deve ser dimensionada tendo em conta as seguintes características: deve cumprir a norma EDP, DMA-C62-815/N,  $I = 100/25$  A e deve possuir seccionadores-fusível de  $10 \times 38\text{mm}$ , com fusíveis de  $I_N = 16$  A.



**Figura 4.18** – Portinhola PC/P (imagem AL).

**11º** Considerações finais dos sistemas de ligação à rede. De acordo com o descrito anteriormente, nos sistemas de microprodução dever-se-á ter em atenção os seguintes aspetos técnicos:

. utilizar descarregadores de sobretensões à entrada do inversor, quando a canalização

é longa;

- . com comprimentos iguais ou superiores a 15m de canalização, deverá existir um descarregador de sobretensões fotovoltaicas antes do interruptor de corte DC;
- . deverá ser feita a equipotencialização da estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos bem como dos respetivos caixilhos.

### Comportamento real de duas UMPs, em 2011

É sempre bom termos a possibilidade de saber o que acontece na realidade, termos oportunidade de apresentarmos casos práticos. Bem, consegui arranjar dois, um numa tipologia *fixa* e um outro numa *seguidor*.

Apresentarei um gráfico das duas instalações fotovoltaicas, a *fixa* e a outra num esquema *seguidor*, com a evolução da sua produção, em KWh, no ano de 2011.

A figura 4.19 diz respeito à evolução anual de uma instalação em tipologia *fixa*, com as seguintes características:

Tabela 4.10 – Informação da UMP - fixo

Ligação à RESP	6 Feb 2009
Módulo fotovoltaico	
Marca	Kyocera
Modelo	KD 210 GH-2P
Potência (Wp)	210
Potência total grupo (Wp)	3780
Inversor	
Marca	Kaco
Modelo	3500xi
Seguidor	
Marca	Não aplicável
Modelo	Não aplicável

O gráfico:

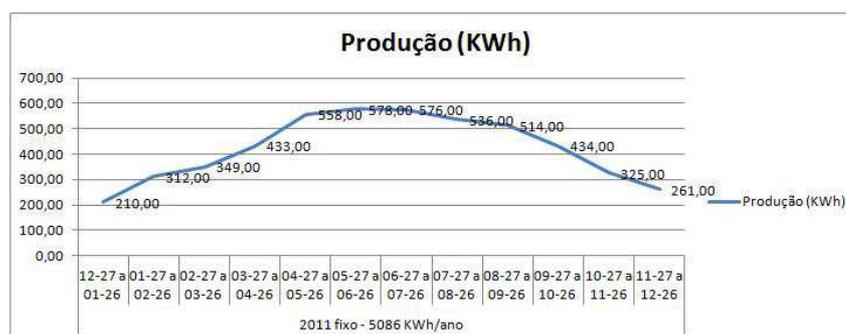


Figura 4.19 – Gráfico de UMP com orientação fixa em Mangualde.

A figura 4.20 diz respeito à evolução anual de produção de uma instalação com *seguidor*. Tem as seguintes características:

Tabela 4.11 – Informação da UMP - seguidor

Ligação à RESP	7 Ago 2009
Módulo fotovoltaico	
Marca	Sanyo
Modelo	HIP-210NKHE1
Potência (Wp)	210
Potência total grupo (Wp)	3780
Inversor	
Marca	SMA
Modelo	SB 3300
Seguidor	
Marca	Deger energy
Modelo	3000 NT

O gráfico da sua produção durante o ano de 2011:

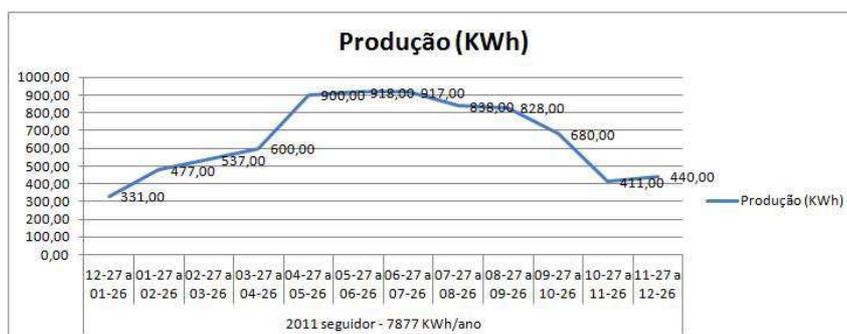


Figura 4.20 – Gráfico de UMP com orientação seguidor em Viseu.

Através dos valores que apresentei anteriormente, para as duas instalações reais e em funcionamento atualmente, podemos facilmente e entretanto concluir que uma instalação *seguidor* produz, em média, 35% mais Energia (KWh) que uma unidade numa tipologia fixa. Entretanto, o investimento não é 35% mais alto, fica-se, no

máximo, nos 15%.

### **E a Miniprodução?**

A introdução do Decreto-Lei 34/2011 de 8 de Março, veio permitir a instalação de unidades de produção de energia para potências superiores a 3,68kW e até um máximo de 250kW, a uma tarifa bonificada fixa durante 15 anos, estamos neste caso a falar de unidades de Miniprodução, UMNP. ([DL34-2011](#))

O programa de Miniprodução destina-se a locais de grande consumo de energia que pretendam reduzir os custos com a eletricidade. Tal como na Microprodução, a totalidade da energia produzida é injetada na RESP.

Três escalões de potência de ligação máxima estão disponíveis, escalão I até 20kW, escalão II até 100kW e um terceiro escalão até 250kW.

A potência de ligação é limitada a 50% da potência contratada, tal como na Microprodução, e a energia consumida no local da instalação necessita de ser igual ou superior a 50% da energia produzida.

Torna-se obrigatória a realização de uma auditoria energética ao edifício e, caso necessário, terão de ser implementadas medidas para melhorar a eficiência energética do mesmo.

A tarifa bonificada para 2012 é de 0,215€/kWh para o escalão I, decresce 7% anualmente para as novas unidades de Miniprodução. Para o escalão II e III, o produtor propõe uma tarifa de venda, sendo dada preferência a registos com tarifas mais baixas. Na última atribuição de potência, em 31 de Janeiro de 2012, o valor para o escalão II ficou em 0,214€/kWh e para o escalão III em 0,205€/kWh.

O contrato de compra e venda, em regime bonificado, é válido para um período de 15 anos, constante, à tarifa negociada.

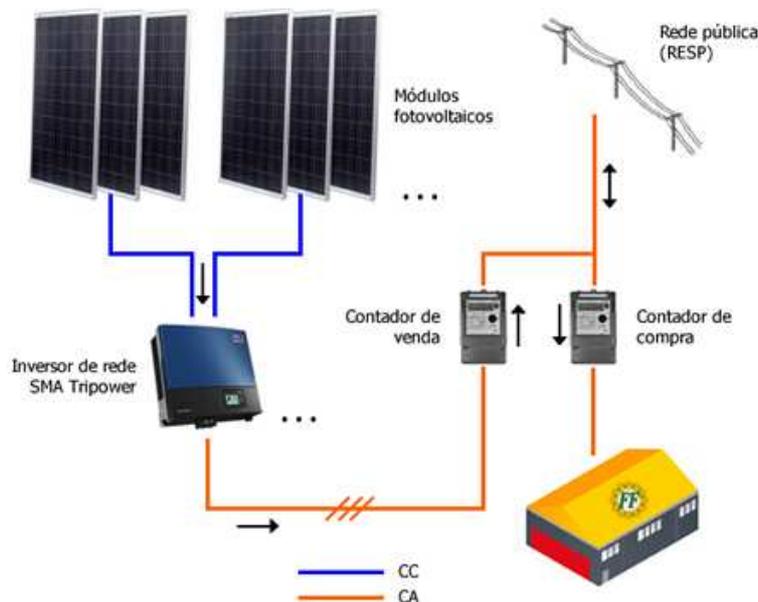


Figura 4.21 – Ilustração típica de uma UMNP (imagem FF Solar).

### 4.3 Sumário

Todos os equipamentos que nos apoiam e nos ajudam a termos um pouco mais de conforto térmico e visual nas nossas edificações, consomem energia.

Com este capítulo pretendi mostrar algumas alternativas para realizar essa produção, tanto ao nível da AQS como de energia elétrica, de modo a podermos alimentar os nossos consumíveis mais básicos.

O DL 363/2007 de 2 de Novembro prevê uma solução (tarifa) para a tecnologia eólica mas, comercialmente não a acho interessante, não só porque um projeto deste tipo implicaria um estudo de ventos no local com, pelo menos, 1 ano de duração como pela tarifa aplicável a esta tecnologia.

Para ficarem com uma ideia, o mais recente diploma, o DL 118-A/2010 de 25 de Outubro, prevê a atribuição de 100% da tarifa para tecnologia solar e de apenas 80% para a tecnologia eólica. Reparem que no diploma anterior, o DL 363/2007 de 2 de Novembro, esta percentagem era ainda menor, 70%. ([DL118A-2010](#))

Por isso, apresentei soluções solares, tanto ao nível térmico, para produção de calor, essencialmente para produção de AQS, assim como fotovoltaico, para produção de energia elétrica.



# 5

## Caso de estudo e proposta de solução

---

Os capítulos anteriores permitiram descrever um conjunto abrangente de tecnologias de climatização, iluminação e energias renováveis que, enquadradas no atual caso de estudo, permitirão sustentar uma solução que visa aumentar a EE no edifício Engenharias I da UTAD.

### 5.1 Introdução

Neste capítulo descrevem-se os espaços que poderão ser intervencionados assim como os equipamentos disponíveis que suportarão o estudo realizado.

No âmbito deste trabalho foram realizadas diversas visitas técnicas às instalações do edifício em estudo, o edifício do Engenharias I tendo a primeira sido realizada em Fevereiro de 2012.

Esta primeira visita foi iniciada no espaço da central térmica (figura 5.1), onde, através do seu responsável mais direto, o Sr. Nóbrega, recebemos informação sobre o modo como se produz calor e de que forma é distribuído para os vários edifícios, já que o edifício alvo não é apenas o edifício do Engenharias I, também outros edifícios

na vizinhança.



**Figura 5.1** – Uma das três caldeiras que fazem parte da central térmica.

Neste espaço existem 3 caldeiras, todas elas alimentadas a Gás Natural (GN), perfazendo um total de, segundo dados fornecidos pela ECT-UTAD, 550 KW de potência de aquecimento *afeta* ao edifício em estudo.

Um pouco mais ao lado, no mesmo espaço, junto a uma terceira caldeira, podemos encontrar o coletor geral. É nesta zona que se encontram todos os circuladores, vulgarmente designados por bombas recirculadoras de água. Estas transferem para os restantes edifícios o calor aqui produzido.<sup>1</sup>

No sotão do edifício do Engenharias I encontram-se as UTA's, as Unidades de Tratamento de Ar (figura 5.2).

São essencialmente permutadores de calor, ou seja, o calor e o frio que a água transporta é transferido neste equipamento para o ar através das suas baterias.

As UTAs possuem também elementos responsáveis pela filtragem do ar que é recirculado. Estes equipamentos são controlados por uma central electrónica<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Não se tornou evidente da presença de controlo efetivo.

<sup>2</sup>Estes quadros com placas eletrónicas que supostamente controlam o sistema estavam



**Figura 5.2** – Uma das unidades de tratamento de ar (UTA) localizada no edifício do Engenharias I.

As válvulas de três vias tanto para o ciclo de aquecimento como para o ciclo de arrefecimento são, por isso, controladas manualmente, segundo informação do técnico. Quando recebe a informação que um compartimento está muito quente, desloca-se a esta sala de controlo, no sótão, e faz deslocar um manipulador da válvula de três vias de maneira a que o calor não entre na UTA.

Nesta visita técnica pode-se ainda conhecer o elemento, neste complexo sistema, que tem como principal responsabilidade a produção de frio, o chiller (figura 5.3), localizado na cave do edifício.

Uma verdadeira peça de arte a “R22”, que se encontra fora de serviço. O edifício não possuía pois, no momento, qualquer possibilidade de arrefecimento ambiente centralizado.

Numa segunda visita técnica, ocorrida em 16 de Março de 2012, tomou-se conhecimento de outros aspetos importantes, como a cobertura norte do edifício (figura 5.4).

---

alimentadas, haviam leds ligados no seu interior. Porque estariam estes quadros alimentados, e portanto ligados, se não estão atualmente em funcionamento?



**Figura 5.3** – Chiller.

O resto da visita foi dedicado a mapear todas as áreas que definem este edifício. Foram caracterizados dois gabinetes, I1.10 (figura 5.5) e F1.17 e duas salas de aula, a G0.12 e G0.08, na presença de alguns dos seus utilizadores (no caso dos gabinetes) que muito amavelmente o deixaram fotografar e opinaram sobre o seu atual conforto térmico e visual.

No gabinete I1.10 e numa curta e muito interessante conversa com a Prof<sup>ª</sup>. Solange Leite, foi possível perceber o porquê da climatização por ventilação prevista existente ter sido, ao que mais tarde ficamos a saber a seu pedido, anulada. Contou que deixou de suportar todos os problemas que esta lhe causou a nível respiratório, pedindo assim a um funcionário que, da forma que se pode verificar pela figura, a anulasse.

Usa um pequeno radiador elétrico para os dias mais frios. Confiou-nos também a informação que, no que diz respeito a iluminação, e como esta tem 2 circuitos, quando uma começa a fazer barulho, desliga um e liga o outro.

Já no pequeno gabinete do Prof. António Cunha, o F1.17, espaço que não ultrapassa seguramente os 10 m<sup>2</sup>, foi possível encontrar as grelhas de retorno e insuflação *abertas*, ou seja, aparentemente disponíveis para o espaço, mas também, encontramos



**Figura 5.4** – Pormenor da cobertura norte.

instalada, uma unidade mural de ar condicionado, com uma potência, de 3,5 KW (12000 BTU). Estranhamente, esta unidade tem potência suficiente para climatizar confortavelmente um espaço com até 30 m<sup>2</sup>, ou seja, três vezes a área que climatiza atualmente.

Foi também encontrada uma sala sem alunos mas com a iluminação ligada. Uma das janelas também se encontrava aberta e o espaço interior estava quente. Não se notou qualquer cheiro estranho na sala dado que com esta situação acaba por se colocar algum ar novo no interior!

## 5.2 Propostas de aumento de eficiência

Convém recordar que, quando se aborda o tema da eficiência energética, importa falar de como vamos conseguir e manter um nível de conforto térmico e visual aos utilizadores de um espaço da forma mais económica possível. Nesta secção abordam-se algumas medidas que visam aumentar a eficiência energética do edifício tendo como vetores a climatização, iluminação e energia.



Figura 5.5 – Pormenor de climatização na I1.10.

### 5.2.1 Climatização ambiente

Para isso não basta olhar apenas para o espaço a climatizar, importa também olhar da forma como estamos a gastar energia associada à climatização de um espaço. Quero dizer com isto que todo o circuito de climatização deverá ser analisado de forma criteriosa.

Eficiência Energética não é desligar as luzes como a que vai ocorrer hoje, 31 de Março, Hora do Planeta, durante uma hora. Porque queremos ter um determinado nível de conforto térmico e visual num espaço que ocupamos para uma qualquer atividade, a eficiência energética, como tema, tem como principal desafio o de o conseguir da forma mais económica, imputando a este processo o menor custo possível, o Planeta *retribuirá e agradecerá* no futuro.

#### Climatização das salas de aula

O edifício em estudo tem no seu conjunto 10 UTA´s (figura 5.6) que foram inicialmente dimensionados de maneira a responder às necessidades de climatização dos vários

espaços no seu interior. Deste número encontram-se equipamentos com características *dedicadas*, ou seja, climatizam apenas um espaço, como no caso dos anfiteatros, e outros que climatizam vários espaços, de forma *partilhada*.



**Figura 5.6** – Pormenor lateral de uma UTA.

Das medidas que podemos implementar com alguma *facilidade* e que de uma forma muito surpreendente me deparei com a sua inexistência durante as visitas técnicas, da presença, principalmente nas salas com características *dedicadas*, de um termostato (figura 5.7), programável e localizado na sala de forma a poder conseguir ter, da forma mais fiel possível, a informação da temperatura do espaço.

Pelo que me foi dado a perceber durante as visitas técnicas, as UTA's não estão a ser *controladas*, de uma forma mais ou menos inteligente, por nada, pelo que, com a introdução de um simples termostato, poderíamos dar ordens simples de ON/OFF ao equipamento e à sua válvula de três vias, permitindo assim que, quando a sala estivesse satisfeita, de calor ou de frio, a UTA se desligasse e não permitisse, através da mesma ordem à válvula de três vias, a entrada de energia (calor ou frio) nas suas baterias.

Nas salas que partilham com outras a mesma fonte de calor ou de frio, UTA, o controlo já iria implicar um maior custo e um desafio de maior complexidade.

Contudo, o controlo, teria que continuar a ser realizado ao nível de um termostato ambiente no espaço, mas este atuaria apenas nos *seus* registos, localizados nas condutas. De uma forma direta, não desligaria o equipamento fonte nem a sua válvula de três vias. Mas nada que não devesse já estar contemplado no projeto inicial.

Um equipamento, como o da figura 5.7, segundo a tabela de preços do distribuidor Zantia, em 2011, custaria 273,60 € + IVA.



**Figura 5.7** – Cronotermostato Digital ([informação Zantia](#)).

Apesar de ter encontrado eficiências de ventilação de 80%, segundo documento *Perguntas e Respostas Frequentes - RSECE Energia*, ponto G.10 ([ADENE-PR](#)), nas salas de aula, não me deparei com nenhuma em que pudesse atribuir uma eficiência de 90% ou mesmo superior. Uma ventilação do tipo por deslocamento, frequentemente designada por *displacement*, não está implementada nos espaços, do tipo *sala de aula*, visitados.

### Climatização dos gabinetes

Nos gabinetes visitados (I1-10 e F1-17), foi fundamentalmente analisado a existência do controlo da climatização no espaço e essencialmente, a *eficiência* da ventilação. Não existem termostatos ambiente nos gabinetes visitados. Dado que existem espaços que partilham a mesma UTA, o controlo, à semelhança das salas de aula com equipamento *partilhado*, teria que haver um controlo ao nível dos registos.

Na sala I1-10, a insuflação e a extração (figura 5.5), à semelhança das salas de aula, encontram-se localizadas no teto e distantes. Estamos pois na presença de uma ventilação que promove algum varrimento na sala, traduz-se numa eficiência na ordem dos 80%.

Na sala F1-17, foram encontradas mais uma vez eficiências de ventilação de 80%, em muito idênticas ao gabinete anterior (I1-10).

### Climatização dos espaços comuns

A climatização existente nos espaços comuns faz-se apenas nos que contactam com o exterior, ou seja, nos halls, nomeadamente o principal (figura 5.8). Nos corredores interiores ao edifício não existe qualquer rede de conduta com vista a climatização.

Enganem-se pois os que concluem que os espaços comuns são, pela ausência de equipamentos de climatização, os que menos possibilidades de uma intervenção *eficiente* possa ser uma realidade. Outras ações, que não atuem nos equipamentos de climatização, podem ser uma realidade.

Durante a visita técnica do dia 16 de Março, grande parte das portas, que dão acesso ao exterior, encontravam-se abertas.

Apesar da climatização dos espaços comuns ser praticamente inexistente, não pode ser esquecida a forte ligação, através das paredes interiores, entre estes espaços comuns e as várias salas de aula, gabinetes e outros espaços. Uma porta aberta promoverá uma ventilação natural no edifício, o que no caso do inverno estaria a



**Figura 5.8** – Hall de entrada do edifício Engenharias I.

promover um arrefecimento interior no edifício quando ao mesmo tempo estaria a ser aquecido.

Nestes espaços comuns é pois fácil promover, por exemplo, informação escrita, ou outra, que sensibilize o fecho das portas.

### 5.2.2 Iluminação ambiente

Neste capítulo serão apresentadas algumas alternativas relativamente ao tema iluminação. Para um caso muito específico, a sala G0.08, será apresentada uma solução de iluminação natural assim como a incorporação de novos tipos de tecnologias de iluminação e aparelhagem de modo a que o resultado seja mais cómodo e, sobretudo, mais sustentável.

Por não ter havido a hipótese de se visitarem todos os espaços no edifício em estudo, apresenta-se soluções unitárias (luminárias). Contudo, será apresentado num quadro resumo, com base nos dados recolhidos durante as visitas realizadas, uma estimativa para o custo final das duas soluções propostas.

## Iluminação nas salas de aula

### *Abordagem à iluminação artificial*

Este edifício possui 15 espaços dedicados a salas de aula, representam uma área de quase 33% do espaço total do edifício em estudo. Na figura 5.9 permite-se que se observe e verifique que luminárias estão, na sua grande maioria, instaladas nas salas de aula neste edifício.

São luminárias com duas lâmpadas tipo T8 ( $\varnothing$  26mm), com 58 W de potência, 1500mm de comprimento, 5000 Lumen e instaladas em casquilho tipo G13. Consultando uma tabela de preços do fabricante OSRAM, encontramos, para cada uma destas lâmpadas, o valor de 8,50 € + IVA.



**Figura 5.9** – Pormenor de iluminação na sala G0.12.

Continuando a apoiar-me no produto OSRAM, numa primeira alternativa, temos a *SubstiTUBE Advanced*. Promove a substituição da lâmpada e o seu arrancador por um tubo LED e respetivo arrancador.

Na tabela de preços OSRAM, a lâmpada mais próxima que encontrei foi a *ST8-HA5-750 SubstiTUBE Advanced 25,5W 230V*. São lâmpadas tipo T8 ( $\varnothing$  26mm), com 25,5 W de potência, 1513mm de comprimento e com 2050 Lumen. O custo do

grupo lâmpada e arrancador é de 131,59 € + IVA. A solução custaria  $2 \times 131,59$ , ou seja, 263,18 € + IVA.

Consultada a OSRAM para um estudo luminotécnico para o edifício. As conclusões são, no mínimo, muito animadoras, senão vejamos. Nas salas de aula foi considerado que a iluminação funcionaria durante 12 horas por dia e em 261 dias por ano (3132 horas/ano). Considerou-se que, neste caso, um balastro por lâmpada e assim sendo a luminária instalada, constituída por 2 lâmpadas como atrás descritas, consome 438,48 KWh/ano enquanto a nossa alternativa consumirá 162,86 KWh/ano. Temos logo aqui uma redução de 35,83 € por luminária e por ano (para o custo do KWh foi considerado o valor de 0,13 €/KWh). No início do 8º ano (23005 horas) recuperamos o investimento (se pensarmos apenas na troca do equipamento), quando a vida de utilização prevista é de 40000 horas.

Uma segunda solução poderá passar pela substituição também dos balastros ferromagnéticos existentes por balastros eletrónicos.

O balastro aconselhado comercialmente é da gama OSRAM QUICKTRONIC FIT8, modelo *QT-FIT8 2 x 58-70* que está avaliado em 25,00 € + IVA.

Através da tabela de preços da OSRAM, a lâmpada mais próxima que encontrei foi da gama LUMILUX ENERGY SAVER, modelo *L 51W/840 ES*. É uma lâmpada tipo T8 (Ø 26mm), com 51 W de potência, 1500mm de comprimento e com 4660 Lumen! Cada lâmpada tem um custo de 13,59 € + IVA.

Nesta segunda alternativa, para cada luminária teria que se investir em duas lâmpadas e um balastro pelo que o valor final seria de  $13,59 \times 2 + 25$ , ou seja, 52,18 € + IVA.

Neste caso foi considerado também um balastro por lâmpada, assim sendo teríamos um consumo anual de 438,48 KWh/ano, a alternativa consumirá 300,67 KWh/ano. Temos logo aqui uma redução de 17,92 € por luminária e por ano (para o custo do KWh foi considerado o valor de 0,13 €/KWh). No final do 2º ano (9120 horas) recuperamos o investimento, se pensarmos apenas na troca do equipamento. A vida de utilização prevista é de 20000 horas.

Apresenta-se de seguida, e porque não foi possível visitar todos os espaços classificados de *sala de aula* (segundo informação da ECT-UTAD se valoriza em 1836,58 m<sup>2</sup>, onde se inclui 11 salas de aula comum, 4 anfiteatros e 13 laboratórios), informação resumo com valores estimativos do investimento envolvido.

**Para a solução I**, luminárias com custo unitário de 263,18 € + IVA. Considerando 309 luminárias, obtemos um custo total de 81.322,62 € + IVA.

**Para a solução II**, luminárias com custo unitário de 52,18 € + IVA. Considerando 309 luminárias, obtemos um custo total de 16.123,62 € + IVA.

### ***Abordagem à iluminação natural para a G0.08***

Devido às suas características, nomeadamente ao facto de não ter nenhuma abertura que a coloque em comunicação direta com o ambiente exterior, foi desenvolvido um estudo de iluminação natural, recorrendo a equipamentos tipo *sunpipe*, para a sala G0.08.

No ano de 2002, Alfredo Moser, mecânico Itajaiense, residente em Uberaba, Minas Gerais - Brasil, disposto a encontrar uma alternativa para reduzir o consumo de energia na sua oficina, decidiu reinventar a lâmpada, uma *lâmpada diurna*.

Moser descobriu que se colocasse água potável em garrafas transparentes do tipo plástico de 2 litros, e as instalasse no teto de uma construção, com uma parte no lado exterior para captar os raios solares, teria luz suficiente para garantir a iluminação da oficina durante o dia. Como resultado, ele conseguiu 30% de economia no consumo de energia.

O sistema de iluminação de Moser pode substituir telhas de fibra em ambientes onde a luz precisa ficar acesa durante todo o dia. Também em áreas que normalmente não se usa luz como o sótão. Desde que bem instalado, garante Moser, *poderá iluminar o trabalho de limpeza de uma caixa de água ou na fiação de energia, sem precisar recorrer a outro modelo de iluminação.*

Estudos realizados pelo engenheiro Barbassa, da Cemig, indicam que a lâmpada

descoberta por Moser corresponde a uma fluorescente de 40W.

Pelas figuras<sup>3</sup> 5.10 e 5.11 podemos concluir das evidentes diferenças e melhorias.



**Figura 5.10** – Antes, sem as lâmpadas de Alfredo Moser.



**Figura 5.11** – Depois, com as lâmpadas de Alfredo Moser.

Como se pode verificar, apenas uma pequena parte da garrafa fica do lado de fora da casa para assim captar a luz do sol, iluminando naturalmente o espaço interior. Para se obter o resultado desejado, as residências devem ter telhas em fibra de cimento, desejavelmente não podem ter laje de betão. A economia nas residências pode chegar a 30%, avançam.

Para a sala G0.08 não pedi ajuda a Alfredo Moser, embora gostasse imenso de ter um parecer seu acerca deste estudo.

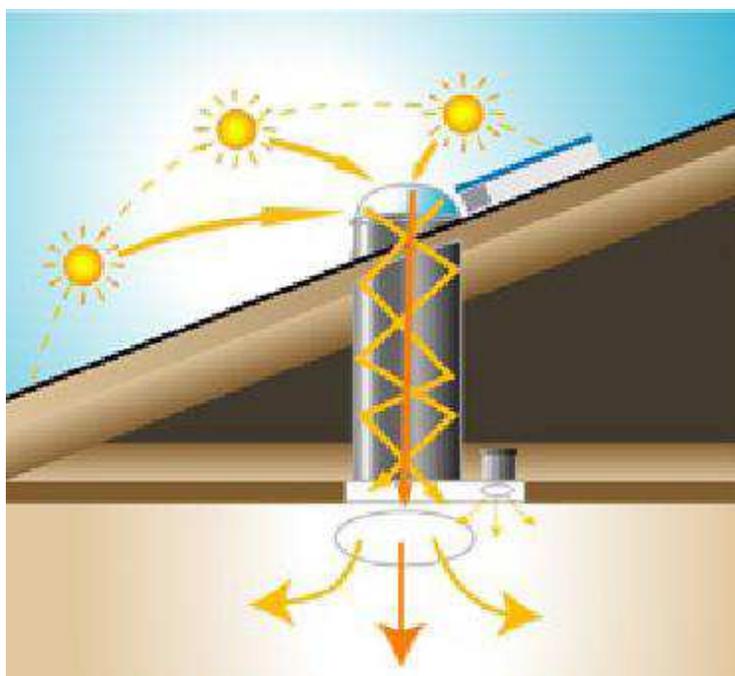
Uma das empresas que encontrei com produtos *idênticos aos de Moser* no mercado foi a Chatron. Com o seu laboratório de medidas e testes, os tubos solares produzidos pela empresa, na sua fábrica em Vale de Cambra, são testados e controlados. É assim possível testar todos os elementos da instalação nas mais diversas situações e com os mais variados comprimentos, curvas, derivações etc. As medidas efetuadas em câmara escura estanque são realizadas em diversos pontos e a diversas distâncias conduzindo à padronização das medidas e à extrapolação de dados para aplicações específicas que se nos são solicitadas diariamente.

O Tubo Solar da Chatron é constituído por chapa em alumínio com espelho, revestido

<sup>3</sup>Informação YouTube em [http://youtu.be/mAshNt9hC\\_A](http://youtu.be/mAshNt9hC_A)

com proteção mecânica exterior composta por tubo de chapa enrolada tipo spiro que lhe confere alta resistência mecânica para colocação em obras, indústria ou outro tipo de aplicações sem risco de amolgadelas ou outro tipo de danos. Pode ser pintada, isolada ou revestida com forra de alumínio ou outra, como condutas de ar condicionado ou outras semelhantes (Magazine, 2010).

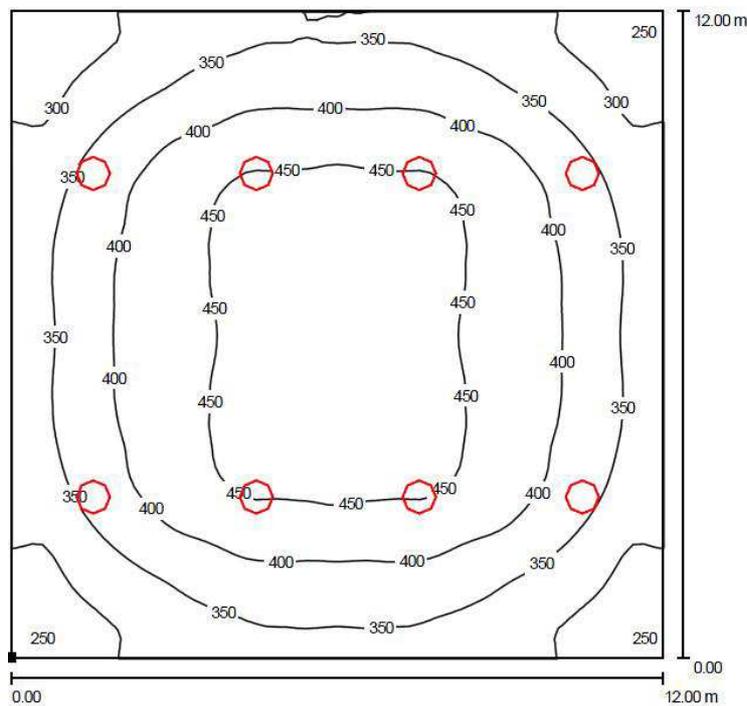
A luz natural é captada e orientada através de tubo revestido (figura 5.12), interiormente por material extremamente refletor, que minimiza a dispersão dos raios e permite um fornecimento de luz a distâncias consideráveis, sem transmissão de calor ou frio.



**Figura 5.12** – Tubo Solar Chatron - esquema de funcionamento (informação Chatron).

Assim e tendo por base a norma DIN 5035 que define, para cada tipo de espaço e atividade, o intervalo de conforto em termos de iluminância (E) foi desenvolvido o estudo para a nossa sala, a G0.08. A Chatron encontrou uma solução para esta sala de acordo com a sua área, altura e iluminação desejada num plano de trabalho a 3 metros.

O custo de cada tubo e acessórios foi orçamentado em 680 € + IVA pelo que, segundo a Chatron e para as condições apresentadas, seriam necessários 8. Teremos



**Figura 5.13** – Linhas isográficas após colocação de 8 tubos.

assim um orçamento de 5.440,00 € + IVA e é constituído por:

- 8 unidades de tubo de iluminação solar natural, modelo TS 530 com 530 mm de diâmetro e com 4 m de comprimento (reflexão espectral de luz superior a 99%) e com espessura de chapa de 0,75 mm;
- 8 cúpulas de 530mm (capta a luz e projeta-a para o interior do tubo durante todo o dia);
- 8 difusores interiores de 530mm (garantem a boa distribuição da luz pelo espaço e bloqueiam os raios UVs e infravermelhos prejudiciais).

Em termos de viabilidade, podemos encontrar os seguintes argumentos para este investimento. Na sala G0.08 estão instaladas 19 conjuntos de luminárias com 4 lâmpadas cada, lâmpadas tipo T8 (Ø 26mm), com 18 W de potência, 590mm de

comprimento, 1350 Lumen e instaladas em casquilho tipo G13, custando 7,25 € + IVA. Cada luminária consome 350,78 KWh/ano o que corresponde a 45,6 € por ano (mais uma vez considerou-se um custo de 0,13 €/KWh). Facilmente se encontra um valor de retorno do investimento próximo dos 8 anos, ou seja, o investimento de cada tubo solar é retornado num ano (considerou-se, também, que o tubo solar só substituirá a iluminação artificial em 90% do suposto tempo de utilização).

### **Iluminação nos Gabinetes**

Por se estar na presença de luminárias idênticas às salas de aula e considerando também que estes espaços têm idêntico período de utilização, o estudo é em tudo idêntico ao já apresentado anteriormente.

Apresento seguidamente, e porque não foi possível visitar todos os espaços classificados de *gabinetes* (segundo informação da ECT-UTAD se valoriza em 645,34 m<sup>2</sup>, onde se inclui 25 espaços), informação resumo com valores estimativos do investimento envolvido.

**Para a solução I**, luminárias com custo unitário de 263,18 € + IVA. Considerando 125 luminárias obtendo um custo total de 32.897,50 € + IVA.

**Para a solução II**, luminárias com custo unitário de 52,18 € + IVA. Considerando 125 luminárias obtendo um custo total de 6.522,50 € + IVA.

### **Iluminação nos espaços comuns**

Nos espaços comuns há que diferenciar dois tipos de espaços, cada um deles com luminárias distintas. Nos corredores encontramos um tipo de luminária idêntica às salas de aula mas com apenas um lâmpada e nas escadarias (figura 5.14) encontramos uma luminária quadrada, com 4 lâmpadas cada, idênticas às da sala G0.08, neste caso não encastrável. Repare-se que mesmo durante o dia a luminária se encontra ligada.



**Figura 5.14** – Pormenor da escadaria do edifício Engenharías I.

### *Abordagem aos corredores*

Nos corredores encontramos luminárias com uma lâmpada tipo T8 ( $\varnothing$  26mm), com 58 W de potência, 1500mm de comprimento, 5000 Lumen e instaladas em casquilho tipo G13.

Coerentes ao nosso estudo, teremos como primeira alternativa as *SubstiTUBE Advanced* onde se promove a substituição da lâmpada e o seu arrancador por um tubo LED e respetivo arrancador.

Socorrendo-me da tabela de preços, a lâmpada mais próxima que encontrei foi a *ST8-HA5-750 SubstiTUBE Advanced 25,5W 230V*. São lâmpadas tipo T8 ( $\varnothing$  26mm), com 25,5 W de potência, 1513mm de comprimento e com 2050 Lumen! O custo do grupo lâmpada e arrancador é de 131,59 €+ IVA.

Neste espaço e por razões que se predem essencialmente com segurança foi considerado

que a iluminação funcionaria durante 24 horas por dia e em 365 dias por ano (8760 horas/ano). A luminária instalada, constituída por uma lâmpada como atrás descrito, consome 613,20 KWh/ano enquanto a nossa alternativa consumirá 227,76 KWh/ano. Temos logo aqui uma redução de 50,10 € por luminária e por ano (para o custo do KWh foi considerado o valor de 0,13 €/KWh). Após um pouco mais de dois anos e meio (23009 horas) encontramos-nos com o investimento recuperado (se pensarmos apenas na troca do equipamento), quando a vida de utilização prevista é de 40000 horas!

Uma segunda solução poderá passar pela substituição também dos balastros ferromagnéticos existentes por balastros eletrónicos. O balastro aconselhado comercialmente é da gama OSRAM QUICKTRONIC FIT8, modelo *QT-FIT8 1 x 58-70* que está avaliado em 22,00 € + IVA.

Na tabela de preços da OSRAM, a lâmpada mais próxima que encontrei foi da gama LUMILUX ENERGY SAVER, modelo *L 51W/840 ES*. É uma lâmpada tipo T8 (Ø 26mm), com 51 W de potência, 1500mm de comprimento e com 4660 Lumen! Cada lâmpada tem um custo de 13,59 € + IVA.

Nesta segunda alternativa, para cada luminária teria que se investir numa lâmpada e num balastro pelo que o valor final seria de 13,59 + 22, ou seja, 35,59 € + IVA.

O consumo anual, como já descrito, é de 613,20 KWh/ano pelo que a alternativa consumirá, neste caso, 420,48 KWh/ano. Temos logo aqui uma redução de 25,05 € por luminária e por ano. Um pouco antes do ano e meio de funcionamento (12446 horas) recuperamos o investimento, se pensarmos apenas na troca do equipamento. A vida de utilização prevista é de 20000 horas.

Apresento seguidamente informação resumo com valores estimativos do investimento envolvido para os espaços *corredor*.

**Para a solução I**, luminárias com custo unitário de 131,59 € + IVA. Considerando 180 luminárias obtendo um custo total de 23.686,20 € + IVA.

**Para a solução II**, luminárias com custo unitário de 35,59 € + IVA. Considerando

180 luminárias obtendo um custo total de 6.406,20 € + IVA.

### *Abordagem às escadarias*

Nas escadarias (figura 5.15) encontramos luminárias com quatro lâmpadas tipo T8 (Ø 26mm), com 18 W de potência, 590mm de comprimento, 1350 Lumen e instaladas em casquilho tipo G13.



**Figura 5.15** – Pormenor da luminária nas escadarias.

Coerentes ao nosso estudo, teremos como primeira alternativa as *SubstiTUBE Advanced* onde se promove a substituição da lâmpada e o seu arrancador por um tubo LED e respetivo arrancador.

Na tabela de preços da OSRAM, a lâmpada mais próxima que encontrei foi a *ST8-HA2-750 SubstiTUBE Advanced 11W 230V*. São lâmpadas tipo T8 (Ø 26mm), com 11 W de potência, 603mm de comprimento e com 830 Lumen! O custo do grupo lâmpada e arrancador é de 67,40 €+ IVA. A solução custaria  $4 \times 67,40$ , ou seja, 269,60 € + IVA.

Neste espaço foi também, e por razões que se predem essencialmente com segurança, considerado que a iluminação funcionaria durante 24 horas por dia e 365 dias por ano (8760 horas/ano). A luminária instalada, constituída por quatro lâmpadas como

atrás descrito, consome 981,12 KWh/ano enquanto a nossa alternativa consumirá 385,44 KWh/ano. Temos logo aqui uma redução de 77,44 € por luminária e por ano (para o custo do KWh foi considerado o valor de 0,13 €/KWh). Três anos e meio depois (30497 horas) encontramos-nos com o investimento recuperado (se pensarmos apenas na troca do equipamento), quando a vida de utilização prevista é de 40000 horas.

Uma segunda solução poderá passar pela substituição também dos balastros ferromagnéticos existentes por balastros eletrónicos. O balastro aconselhado comercialmente é da gama OSRAM QUICKTRONIC FIT8, modelo *QT-FIT8 4 x 18* que está avaliado em 29,00 € + IVA.

Na tabela de preços da OSRAM, a lâmpada mais próxima que encontrei foi da gama LUMILUX ENERGY SAVER, modelo *L 16W/840 ES*. São lâmpadas tipo T8 (Ø 26mm), com 16 W de potência, 590mm de comprimento e com 1300 Lumen! Cada lâmpada tem um custo de 11,06 € + IVA.

Nesta segunda alternativa, para cada luminária teria que se investir em quatro lâmpadas e num balastro pelo que o valor final seria de  $11,06 \times 4 + 29$ , ou seja, 73,24 € + IVA.

O nosso consumo anual, como já descrito, é de 981,12 KWh/ano, a alternativa consumirá neste caso 560,64 KWh/ano. Temos logo aqui uma redução de 54,66 € por luminária e por ano. Antes do ano e meio de funcionamento (11738 horas) recuperamos o investimento, se pensarmos apenas na troca do equipamento. A vida de utilização prevista é de 20000 horas.

Apresento seguidamente informação resumo com valores estimativos do investimento envolvido para os espaços *escadarias*.

**Para a solução I**, luminárias com custo unitário de 269,60 € + IVA. Considerando 10 luminárias obtendo um custo total de 2.696,00 € + IVA.

**Para a solução II**, luminárias com custo unitário de 73,24 € + IVA. Considerando 10 luminárias obtendo um custo total de 732,40 € + IVA.

### 5.2.3 Energia (solar térmica e fotovoltaica)

#### Produção de AQS no bar

No dimensionamento de um sistema solar térmico, que venha a servir de base no aquecimento das AQS, neste caso para o espaço do bar do edifício em estudo, necessitamos de saber logo à partida que consumos temos em mãos assim como o respetivo perfil ao longo do dia e dos meses de um ano.

Esses valores foram-nos disponibilizados de uma forma indireta. São, segundo o responsável do bar, realizados, todos os dias e durante os cinco dias da semana, não considerando todo o mês de Agosto, 50 pequenos-almoços e 50 almoços. Ora, é habitual usar-se um valor equivalente de 1 litro de água quente por pequeno-almoço e entre 5 e 10 litros por refeição<sup>4</sup>. Na nossa simulação iremos utilizar 5 litros por refeição. Assim sendo obtemos 50 litros para os pequenos-almoços e 250 litros para as refeições. Obtemos assim uma necessidade de 300 litros de água quente por dia.

Como já foi analisado em capítulo anterior, o programa oficial em Portugal, reconhecido pela DGEG, para o dimensionamento de sistemas solares térmicos é o SolTerm.

Após algumas simulações e após ter imposto algumas condições iniciais de projeto, conseguiu-se encontrar o melhor sistema solar térmico para o bar do edifício em estudo.

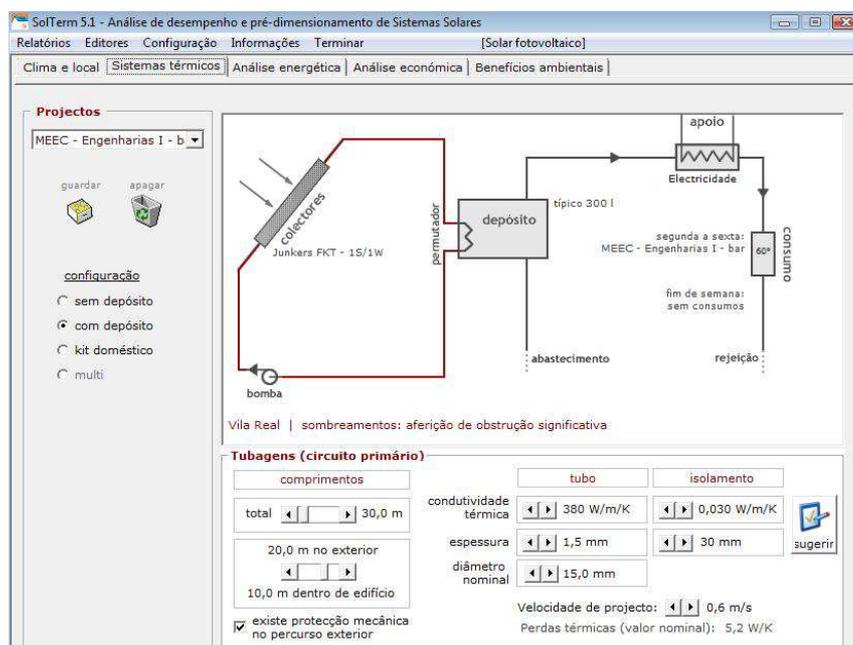
Mas vamos acompanhar a simulação. Inicialmente define-se a região. Seguidamente caracterizamos todo o sistema solar térmico, desde o coletor até ao acumulador, passando pelas tubagens, apoios e perfis de consumo esperados:

Afina-se o sistema obtido podendo-se otimizar algumas componentes como sendo o azimute, a fração solar, a acumulação e também o desperdício, entre outros:

Após este passo, o sistema está caracterizado. Neste caso, um coletor térmico, da

---

<sup>4</sup>Informação Vulcano, acedida em 28 de Abril de 2012 em [http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/energias\\_renovaveis/AconselhamentoEnergiasRenovaveis](http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/energias_renovaveis/AconselhamentoEnergiasRenovaveis)



**Figura 5.16** – SolTerm: simulação do sistema solar térmico. Pormenor da escolha do coletor solar térmico.

marca Junkers, com  $2,26 \text{ m}^2$  de área de captação, uma rede de tubagem de circuito primário com 30 metros de comprimento sendo que 20 deles, por se encontrarem no exterior, vão estar dotados de proteção mecânica e uma acumulação de 300 L.

E, de seguida, é possível avaliarmos os resultados, numa análise económica e os respetivos benefícios ambientais.

Consultando os relatórios exportados, facilmente se conclui que o investimento, é interessante pois não é elevado, 1128 €, recupera-se em 8 anos e o mais importante, evitamos a emissão de 531 Kg de  $CO_2$  por ano.

### Produção de energia elétrica on-grid (abordagem por Miniprodução)

Não há viabilidade técnica para a implementação de um projeto de Miniprodução na ECT-UTAD, no âmbito do DL 34/2011 de 8 de Março.

No dia 18 de Maio de 2012, pela mão do Sr. Santos, técnico de eletricidade da UTAD,

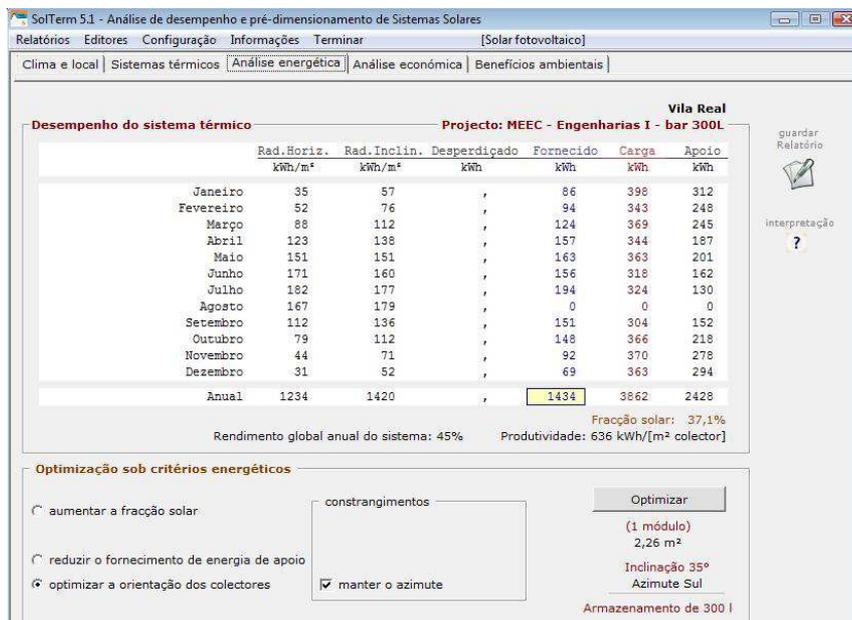


Figura 5.17 – SolTerm: simulação do sistema solar térmico. Pormenor da análise energética.

visitei alguns espaços importantes no que à entrada e distribuição de energia elétrica, na UTAD, diz respeito. Visitei a cabine onde os 30KV dão entrada no campus e, seguidamente, visitei o espaço onde podemos encontrar a cela do transformador do edifício do Engenharias I, na cave deste espaço, com uma potência de 830 KW.

Poderíamos, por isso, cair num escalão III de Miniprodução, ou seja, numa potência nominal de central fotovoltaica de até 250 KW. Mas isso implicaria a instalação de cerca de 1174 módulos fotovoltaicos com uma área onde imagino apenas albergar cerca de 140 módulos.

O primeiro motivo não inviabiliza o investimento pois poderíamos optar sempre por uma central de potência inferior, talvez mesmo uma de escalão I, até 20KW. Mas um segundo grande motivo vai conseguir inviabilizar o projeto de Miniprodução na ECT-UTAD.

Tem a ver com a maneira como a leitura é realizada (figuras 5.18 e 5.19), atualmente em Média Tensão (MT).

O Programa Renováveis na Hora, neste caso vocacionado para projetos de Miniprodução,



**Figura 5.18** – Barramento MT no posto de transformação (PT).



**Figura 5.19** – Contagem em MT no PT.

tem previstas 9 soluções para ligação à rede das UMNP<sup>5</sup>. Destas 9 existem duas vocacionadas para consumos em MT mas as contagens estão previstas do lado do secundário, o que não é o caso, como facilmente se percebe pelas fotografias das figuras 5.18 e 5.19.

Para se levar este projeto avante, teríamos pelo menos, duas soluções. Ou realizar um especial pedido à Certiel e/ou à DGEG, expondo a arquitetura encontrada no campus da UTAD, conciliando também o facto de podermos estar na presença de um eventual projeto de *utilidade pública* ou, então, isolar o edifício do engenharias I, em termos elétricos (alimentação), alterando a contagem tanto do consumo como da futura produção para um secundário, em Baixa Tensão (BT) portanto, do transformador existente.

---

<sup>5</sup>Informação Renováveis na Hora, acedida em 18 de Maio de 2012 em <http://www.renovaveisnahaora.pt/web/srm/solucoes-de-ligacao1>

### 5.3 Sumário

Das três grandes áreas em que nos propusemos atuar, a climatização, a iluminação e a energia, considero que em todas podem ser realizados investimento com retornos interessantes, ou seja, de até 8 anos.

Para a **climatização**, o período de retorno não é de fácil apresentação. Contudo, com a instalação de um simples Cronotermostato Digital por espaço, iremos possibilitar que, no caso de UTA´s dedicadas e após termos o espaço satisfeito, a UTA se desligue e a água quente ou fria que vem da respetiva fonte não entre neste equipamento e possa assim não arrefecer nele, voltando para trás. Não esquecer que a válvula de três vias também é controlada pelo mesmo equipamento, ou seja, pelo Cronotermostato.

Para a **iluminação**, e com a apresentação de essencialmente duas soluções, foi possível desenvolver propostas muito viáveis, todas com períodos de retorno inferiores a 8 anos, o que, comercialmente, se consideram aceitáveis. Debrucemo-nos nas tabelas resumo:

#### Solução I

Na tabela 5.1 encontra-se resumida a primeira solução para a iluminação:

**Tabela 5.1 – Resumo iluminação (solução I)**

	UI	UAP	IPU	IPT	PAT	PR(H)	VUP	PRVUP
SA	309	3132	263,18€	81.322,62€	11.071,47€	23005	40000	57,51%
GB	125	3132	263,18€	32.897,50€	4.478,75€	23005	40000	57,51%
CR	180	8760	131,59€	23.686,20€	9.018,00€	23009	40000	57,52%
Esc	10	8760	269,60€	2.696,00€	774,40€	30497	40000	76,24%
TOTAL				140.602,32€	25.342,62€			

SA é, nas tabelas 5.1 e 5.2, acrónimo de Sala de Aula, GB de Gabinete, CR de

Corredor, Esc de escadaria, UI de Unidades a Instalar, UAP de Utilização Anual Prevista (em horas), IPU de Investimento Previsto Unitário, IPT de Investimento Previsto Total, PAT de Poupança Anual Total, PR(H) de Período de Recuperação Anual (em horas), VUP de Vida Útil Prevista (em horas) e PRVUP de Período de Recuperação em função da Vida Útil Prevista.

### Solução II

Na tabela 5.2 encontra-se resumida a segunda solução para a iluminação:

**Tabela 5.2** – Resumo iluminação (solução II)

	UI	UAP	IPU	IPT	PAT	PR(H)	VUP	PRVUP
SA	309	3132	52,18€	16.123,62€	5.537,28€	9120	20000	45,60%
GB	125	3132	52,18€	6.522,50€	2.240,00€	9120	20000	45,60%
CR	180	8760	35,59€	6.406,20€	4.509,00€	12446	20000	62,23%
Esc	10	8760	73,24€	732,40€	546,60€	11738	20000	58,69%
TOTAL				29.784,72€	12.832,88€			

Na **Energia** fomos felizes apenas para uma solução solar térmico pois para a solar fotovoltaico, essencialmente devido à arquitetura elétrica encontrada na alimentação do ECT-UTAD, *esbarramos* com a legislação específica para as instalações de Miniprodução.



# 6

## Conclusões e trabalho futuro

---

Para este capítulo está reservado um pouco do que poderá num futuro, que se espera tão próximo quanto possível, ser assumido e desenvolvido, tomando por base tudo o que para trás foi aqui apresentado.

Poderemos abordar o assunto do *futuro do Engenharias* e do *trabalho futuro* em três *dimensões*, exatamente as mesmas que moldam os capítulos segundo, terceiro e quarto.

No âmbito da **climatização** foi apresentada uma melhoria que perspectiva resultados muito rapidamente, a da colocação dos cronotermostatos digitais nos espaços climatizados, tanto numa perspectiva *dedicada* como numa *partilhada*. Estes, numa situação *dedicada*, atuariam diretamente nas válvulas de três vias localizadas nas UTA´s e na própria UTA, desligando-a quando o espaço estivesse dentro dos parametros de conforto. Numa situação *partilhada*, mais complexa, teria não só que controlar os atuadores anteriores como também os registos de ar que controlam o fluxo de ar que é enviado para os espaços. A utilização de uma central de controlo poderia ser uma opção permitindo gerar a saída adequada com base na informação de vários cronotermostatos.

No futuro é importante olharmos também para outros aspetos que considero igualmente muito importantes. Tendo por base sempre a perspectiva do *controlo*, seria para mim

importante perceber como é gerido o funcionamento dos circuladores, localizados na central térmica, dedicados para cada um dos edifícios.

Depois de tudo isto era importante perceber em que condições as centrais térmicas são desligadas e qual a sequência, de uma forma automática. Consideraria também a possibilidade de se elaborar um estudo sério à substituição dos atuais queimadores a gás natural por outros, pellets, por exemplo.

No âmbito da **iluminação** foram aqui apresentadas duas grandes soluções de substituição de lâmpadas por outras tecnologias. No futuro seria importante analisar-se a introdução de detetores de presença e de fluxo luminoso nos espaços. Neste campo e mantendo coerente com a estrutura atrás apresentada, dividiria em três áreas, salas de aula, gabinetes e espaços comuns.

Numa situação em que me fosse possível uma continuidade deste estudo iria abordar a introdução de detetores de presença e fluxo luminoso nas salas de aula mas também nos gabinetes e a introdução de detetores de fluxo luminoso nos espaços comuns, nomeadamente nos corredores e escadarias. Foi sempre muito frequente, enquanto estive no local em estudo, encontrar, por exemplo, as escadarias norte com iluminação ligada quando considero que a luz que entrava pelas janelas seria suficiente para em segurança e durante o dia subi-las e descê-las em segurança.

No âmbito da **energia** a solução viável encontrada foi a introdução de um sistema solar térmico para produção de **AQS**, tão necessárias num espaço como o da cafeteria e restauração.

Considero este documento ponto de partida para um estudo em que envolvesse a tecnologia solar e a do ciclo termodinâmico, ou seja, o acumulador seria igualmente aquecido, através de um segundo permutador interno, por um equipamento bomba de calor, atualmente muito disponível comercialmente, como mostrado pelo folheto (figura 6.1).

Tendo-se concluído inviável a instalação de uma unidade de **Miniprodução**, não só porque a arquitetura elétrica é longa mas também porque as regras técnicas

para o ano inteiro, a custos reduzidos

## KIT SOLAR REGINA



**VANTAGENS**  
 Kit solar composto pelos principais componentes de uma instalação solar com acumulador em Inox com apoio por bomba de calor integrado.

A bomba de calor regina para produção e acumulação de Água Quente Sanitária incorpora um acumulador de 300 Litros em Aço Inox de uma serpentina para ligação a um sistema solar, com uma potência de 3,5 kW.

O resultado final é uma solução altamente eficiente que combina o conforto com a poupança.

**KIT SOLAR REGINA CONTÉM:**

- Bomba de Calor Regina 3.5;
- 2 Painéis Solares Gold 200;
- Estrutura para 2 Painéis;
- Grupo Solar Flowbox Simples;
- Controlador Solar ZCS 3.2;
- Vaso de Expansão Solar 18Lts;
- Vaso de Expansão A.Q.S 12Lts;
- Anticongelante Solar;
- Válvula de Segurança 6 bar;
- Válvula de Retenção Mola;
- Bainha em Aço Inox;
- Purgador Automático Solar;
- Válvula de Esfera Solar;
- Válvula Misturadora Termostática;
- Ligador Compressão Bicone 22;



**OPÇÃO TELHADO:** cam.0004  
**€ 1.899,00**  
 preço líquido

**OPÇÃO TERRAÇO:** cam.0005  
**€ 1.989,00**  
 preço líquido

\*Nota: Na opção Terraço, o preço líquido, incluindo a instalação, é de € 2.039,00. Consulte o preço de instalação no preço unitário em anexo. Para mais informações, consulte o site www.zantia.com

**ZANTIA** Zona Industrial de Mundão | Lote 10-A | 3505-459 Visu  
 Tel. (+351) 232 439 010 | Fax. (+351) 232 439 029 | N.º Único: 707 36 90 10  
 geral@zantia.com | www.zantia.com

Figura 6.1 – Campanha Zantia (verso do folheto).

disponíveis pelo diploma não são orientáveis para a nossa realidade enquanto campus universitário. Assim, não encontro, neste momento, alternativas viáveis para este tema.



## Referências bibliográficas

---

- ADENE-EcoAP-EEAP. Eficiência energética na administração pública. Acedido em 27 de Janeiro de 2012 em <http://www.adene.pt/pt-pt/NavegacaoDeTopo/EnergiaNoEstado/EcoAP/Paginas/EcoAp.aspx>. 22
- ADENE-PR. Perguntas e respostas frequentes RSECE-Energia. Acedido em 31 de Março de 2012 em <http://www.adene.pt>. 152
- Bernardo, P. (2008). *Análise e Aplicação da Técnica de Rastreamento de Máxima Potência em um Conversor Buck para Sistemas Fotovoltaicos*. PhD thesis, Universidade Católica de Minas Gerais. Acedido em 1 de Fevereiro de 2012 em [http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngEletrica\\_BernardoPC\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngEletrica_BernardoPC_1.pdf). 104
- Castro, R. (2011). *Uma Introdução às Energias Renováveis*. IST Press. 28
- DL118A-2010. Acedido em 5 de Fevereiro de 2012 em <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/10/20701/0000200015.pdf>. 121, 142
- DL34-2011. Acedido em 5 de Fevereiro de 2012 em <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/03/04700/0131601325.pdf>. 141

- DL363-2007. Acedido em 5 de Fevereiro de 2012 em <http://dre.pt/pdfs/2007/11/21100/0797807984.pdf>. 121
- DL80-2006. Acedido em 24 de Janeiro de 2012 em <http://dre.pt/pdfs/2006/04/067A00/24682513.pdf>. 67, 68
- EC-CTEH. Conforto térmico em edifício de habitação. Acedido em 12 de Novembro de 2011 em <http://www.engenhariacivil.com/conforto-termico-edificios-habitacao>. 22
- EcoEDP-AC. As alterações climáticas. Acedido em 7 de Novembro de 2011 em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/no-mundo/impactos-da-energia-no-ambiente>. 8
- EcoEDP-EEER. Eficiência energética e energias renováveis. Acedido em 7 de Novembro de 2011 em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/em-portugal/eficiencia-energetica-e-energias-renovaveis>. 7
- EcoEDP-IN. Iniciativas nacionais. Acedido em 7 de Novembro de 2011 em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/em-portugal/iniciativas-nacionais>. 18
- EE-LN. Legislação nacional. Acedido em 1 de Dezembro de 2011 em <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/nacional.html>. 21
- Fischer. Acedido em 23 de Janeiro de 2012 em <http://lionel-fischer.blogspot.com>. 65
- Gonçalves (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. DGE. Acedido em 7 de Novembro de 2011 em <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Documentacao/Maisrecentes/Documents/ConceitosBioclimC3A1ticos.pdf>. 25

Goodall, C. (2008). *10 Tecnologias para Salvar o Planeta*. Livros Horizonte. 88

informação APA. Acedido em 29 de Janeiro de 2012 em <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas>. 91, 92

informação AQSpP. Acedido em 29 de Janeiro de 2012 em <http://www.aguaquenteSolar.com>. 95

informação Chatron. Acedido em 9 de Abril de 2012 em <http://www.chatron.pt/engine.php?cat=71>. 159

informação CIE. Acedido em 25 de Janeiro de 2012 em <http://www.cie.co.at>. 75

informação ER. Site informativo sobre energias renováveis. Acedido em 11 de Fevereiro de 2012 em <http://www.energiasrenov\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setboxa\tempboxa\hboxa.com/>. 28

informação MST2009. Acedido em 29 de Janeiro de 2012 em <http://www.paineissolares.gov.pt>. 96, 97

informação Osram. Acedido em 24 de Janeiro e 21 Abril de 2012 em <http://catalog.myosram.com>. xxi, 73, 74, 75

informação RenovaveisnaHora. Acedido em 1 de Fevereiro de 2012 em <http://www.renovaveisnahaora.pt/web/srm/estatisticas1>. 100

informação UN. Acedido em 29 de Maio de 2012 em [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php). 11

informação Zantia. Acedido em 29 de Janeiro de 2012 em <http://www.zantia.com>. 152

Magazine, R. (2010). *Dossier Bioenergia, n° 4, pp 90*. Publindústria. 159

Mendonça, P. (2005). *Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*. PhD thesis, Universidade do Minho. 27

- Pacer (1996). *Centrales Photovoltaïques, Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets*. 89, 93
- Pereira, F. (2011). *Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica*. Publindustria. 114, 116, 117, 118
- Quercus-Durban. Cimeira do clima em durban. Acedido em 14 de Janeiro de 2012 em <http://www.quercus.pt/scid/webquercus/defaultArticleViewOne.asp?categoryID=567&articleID=3679>. 15
- Uponor (2011). *Manual Técnico Sistema Uponor para Instalações de Aquecimento por Radiadores*. 39

Correções à versão provisória da dissertação de mestrado  
**“Eficiência Energética no Edifício Engenharias I da Universidade  
de Trás-os-Montes e Alto Douro”**

Após realização das provas de mestrado no dia 28 de janeiro de 2013, foram sugeridas, pelos elementos do júri, algumas melhorias que implementadas, irão ao encontro de um documento mais correto e, por isso, mais robusto.

São elas:

1. foi eliminada a citação de Al Gore, no resumo (página ix);
2. foram eliminadas, na página 1, as palavras “comunidade científica” tendo sido substituídas por “amigos”;
3. foi eliminada a figura 3.1, na página 66;
4. foram colocadas numa tabela 2x2 as figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 (páginas 73, 74, 75 e 76, respetivamente);
5. na página 73, foi colocado o “i” na palavra “Edson”;
6. foi “itimizado” algum texto na página 103;
7. foi eliminado conteúdo (Nota) no final da página 139 pois já se encontrava ideia idêntica na página anterior;
8. nas tabelas 5.1 e 5.2, localizadas na página 175, foram eliminadas as colunas PAU e PR(A).

O autor,

Miguel Chã Almeida  
[malmeida@vodafone.pt](mailto:malmeida@vodafone.pt)  
+351 919 021 748