



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Civil**



## **Tecnologias de Construção Associadas aos Sistemas Sustentáveis de Produção de Água Quente e de Climatização em Edifícios - Estado da Arte**

**JOSÉ MANUEL SIMÕES GOMES**

Licenciado

Dissertação para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Civil

Orientadores:

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, Professor Adjunto (ISEL)  
Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues,  
Professora Coordenadora (ESTBarreiro/IPS)

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Ferreira Marecos do Monte,  
Professora Coordenadora (ISEL)

Vogais:

Doutor Vasco Moreira Rato,  
Professor Auxiliar (ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa)  
Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, Professor Adjunto (ISEL)  
Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues,  
Professora Coordenadora (ESTBarreiro/IPS)

**Março de 2010**



## **RESUMO**

Este trabalho apresenta o estado da arte das tecnologias de construção associadas aos sistemas sustentáveis de produção de água quente e de climatização em edifícios e pretende-se com o mesmo contribuir para a sustentabilidade na construção e para a eficiência energética nos edifícios.

Efectuou-se um estudo aprofundado dos conceitos relacionados com a construção sustentável e a eficiência energética em edifícios, sendo apresentadas algumas das ferramentas mais utilizadas para avaliação da sustentabilidade, bem como métodos expeditos para obtenção da classe de eficiência energética.

É feita a análise dos conceitos fundamentais da Arquitectura Bioclimática de edifícios, apresentando-se as estratégias passivas de aquecimento e de arrefecimento, as possibilidades de integração das energias renováveis nos edifícios e as tecnologias de construção associadas nos diversos contextos.

Na energia solar térmica é dado especial destaque aos colectores para aquecimento de águas, aquecimento ambiente e arrefecimento solar.

São ainda apresentados alguns exemplos de boas práticas em edifícios sustentáveis e energeticamente eficientes, com aplicação destas tecnologias

### **Palavras-chave:**

- Técnicas Construtivas
- Energias renováveis
- Climatização
- Construção Sustentável
- Eficiência Energética
- Águas quentes sanitárias (AQS)



## **ABSTRACT**

This dissertation presents the state of art of the construction technologies associated with the sustainable systems of hot water production and climatization in buildings, and it also aims to be a contribute for the sustainability in construction and energy efficiency in buildings.

A deep study of the concepts of sustainable construction and energy efficiency in buildings is made, presenting some of the most used tools for evaluation of sustainability, and in addition, some methods for expedite attainment of the energy efficiency class.

An analysis of the Bioclimatic Architecture of buildings concepts is made, presenting the passive strategies of heating and cooling, the possibilities of the renewable energies integration in buildings, and the construction technologies associated in the diverse contexts.

In thermal solar energy, special attention is given to the sun collectors for heating water, heating and solar cooling.

Some good examples and best practices in sustainable and energy efficient buildings, where these technologies are applied, are also presented.

### **Keywords:**

- Construction Techniques
- Climatization
- Energy Efficiency
- Renewable Energy
- Sustainable Construction
- Domestic Hot Water (DWH)



## **AGRADECIMENTOS**

Este espaço é destinado aos agradecimentos. Assim,

agradeço a todos aqueles que directa ou indirectamente apoiaram a realização deste trabalho e que de algum modo contribuíram para o seu sucesso.

Agradeço especialmente aos meus colegas e amigos, pela amizade e carinho, pelo interesse, apoio e tempo concedidos e sobretudo pelo conforto de saber que estiveram e estarão sempre presentes.

Ao Professor Manuel Farinha e à Professora Paulina Faria, meus orientadores, reconheço e agradeço a confiança e interesse que em mim depositaram, toda a disponibilidade demonstrada, antes e durante a realização deste trabalho, bem como pelo constante estímulo e ajudas nos momentos mais críticos.

Ao Professor Marques Inácio, agradeço a simpatia, a disponibilidade, seus conselhos e sugestões e principalmente pelos livros que me cedeu para consulta.

Por último, não posso deixar de agradecer ao Departamento de Engenharia Civil do ISEL pelos meios cedidos, bem como ao Conselho Directivo do ISEL pela bolsa concedida, na modalidade de isenção total de propinas de Mestrado.

À minha família, peço perdão pelas ausências e pelo tempo que deixei de lhes dedicar nesta fase da minha vida.

Este trabalho é dedicado a Manuel Gomes (*In Memoriam*) e Maria Assunção Simões, meus pais e a Fernando Gomes, o meu irmão.



---

## ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Âmbito da dissertação e enquadramento do trabalho.....	1
1.2 Objectivos do trabalho .....	2
1.3 Metodologia e organização do trabalho .....	2
<b>2. SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Introdução .....	5
2.2 Consumos de energia nos edifícios.....	6
2.3 Eficiência e Certificação Energética dos Edifícios .....	8
2.3.1 Método expedito para estimativa da Classe Energética de Edifícios Existentes.....	10
2.3.2 Recursos na Internet .....	11
2.4 Práticas construtivas com vista à sustentabilidade.....	13
2.4.1 Sistemas construtivos empregando materiais naturais .....	15
2.5 Avaliação da Sustentabilidade .....	18
2.5.1 Ferramentas de avaliação de desempenho ambiental e de sustentabilidade.....	18
2.6 Conclusão.....	21
<b>3. EDIFÍCIOS BIOCLIMÁTICOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 Introdução e generalidades sobre o tema .....	23
3.2 Arquitectura Bioclimática.....	23
3.2.1 Forma e Orientação do edifício .....	25
3.2.2 Balanço térmico de edifícios .....	25
3.2.3 Isolamentos térmicos.....	29
3.2.4 Inércia Térmica.....	30
3.2.5 Dispositivos de sombreamento.....	30
3.2.6 Iluminação natural.....	32
3.3 Estratégias de aquecimento passivo (Conforto de Inverno).....	32
3.3.1 Sistemas de Ganho Directo .....	34
3.3.2 Sistemas de Ganho Indirecto ou Desfasado .....	34

3.3.3	Sistemas de Ganho Isolado.....	36
3.4	Estratégias de arrefecimento passivo (Conforto de Verão).....	37
3.4.1	Ventilação Natural.....	39
3.5	Conclusões e exemplos de boas práticas (Best Practices).....	44
<b>4.</b>	<b>INTEGRAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM EDIFÍCIOS .....</b>	<b>47</b>
4.1	Energias Renováveis .....	47
4.2	Energia Solar Térmica Activa.....	48
4.3	Energia Solar Fotovoltaica.....	51
4.4	Energia da Biomassa.....	52
4.5	Energia Eólica.....	55
4.6	Sistemas de Energia Geotérmica.....	56
4.7	Exemplo de boas práticas (Best Practices) - Edifício Solar XXI.....	56
<b>5.</b>	<b>INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS (AQS E CLIMATIZAÇÃO).....</b>	<b>63</b>
5.1	Águas Quentes Sanitárias.....	63
5.1.1	Equipamentos convencionais .....	65
5.1.2	Cogeração.....	67
5.1.3	Sistemas solares térmicos.....	67
5.2	Climatização.....	68
5.2.1	Equipamentos convencionais de climatização .....	69
5.2.2	Sistemas de climatização solar.....	71
5.2.3	Pavimento Radiante (Aquecimento/Arrefecimento).....	73
5.3	Colectores Solares.....	74
5.3.1	Colector Plano .....	75
5.3.2	Colectores Concentradores.....	75
5.3.3	Colectores Concentradores Parabólicos (CPC).....	76
5.3.4	Colectores de Tubo de Vácuo.....	77
5.4	Instalação dos Colectores.....	77
5.5	Estruturas Solares Multifunções - Exemplo de Boas Práticas e de Inovação .....	80
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>81</b>
6.1	Conclusões Gerais.....	81
6.2	Perspectivas de trabalhos futuros.....	82
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....</b>	<b>85</b>
7.1	Publicações Gerais.....	85
7.2	Publicações legais e normativas.....	88
7.3	Páginas na Internet.....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Noção integrada de Desenvolvimento Sustentável.....	5
Figura 2.2 - Esquema das três dimensões da sustentabilidade na construção (adaptado de Oliveira, 2006).....	6
Figura 2.3 - À esquerda, consumos de energia final por sector e à direita consumos, de electricidade por sector. Dados de 2006 (ADENE, 2009).....	7
Figura 2.4 - Principais requisitos do RCCTE para edifícios de habitação (adaptado de ADENE, 2009). .....	9
Figura 2.5 - Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior (Imagem RTP). ....	10
Figura 2.6 - À esquerda, obtenção da classe energética para edifícios de habitação e à direita, etiqueta de desempenho energético (adaptado de ADENE, 2009). ....	10
Figura 2.7 - Método expedito desenvolvido no INETI para obtenção da classe energética. ....	11
Figura 2.8 - Portal BUILD UP ( <a href="http://www.buildup.eu">www.buildup.eu</a> ). ....	11
Figura 2.9 - Página do simulador de Eficiência Energética (DECO/ADENE). ....	12
Figura 2.10 - Publicações sobre Eficiência Energética, editadas no âmbito do projecto Enerbuilding. ....	13
Figura 2.11 - Exigências funcionais da envolvente dos edifícios (adaptado de Mateus, 2004). ....	14
Figura 2.12 - À esquerda, exemplo de construção nova (Devon, Inglaterra) e à direita, construção antiga (planície alentejana) - (Faria-Rodrigues, 2007). ....	16
Figura 2.13 - À esquerda, fixação entre varas de bambu e à direita, bambu usado na estrutura de cobertura (Oliveira, 2006). ....	17
Figura 2.14 - Metodologia de avaliação do ciclo de vida dos produtos da construção. ....	18
Figura 2.15 - Classes de eficiência ambiental no Método LiderA. ....	20
Figura 2.16 - Ciclo de vida das construções (Pinheiro, 2006). ....	21
Figura 2.17 - Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção (Mateus, 2004). ....	22
Figura 3.1 - Estratégias bioclimáticas na fase de concepção (AAVV, 2002; AAVV, 2008a). ....	24
Figura 3.2 - Orientação adequada do edifício (Moita, 1987). ....	25
Figura 3.3 - Mecanismos de transmissão de calor em edifícios (Silva, 2006). ....	26
Figura 3.4 - À esquerda, balanço de energia no Inverno, e à direita, balanço de energia no verão (TAREB, 2009). ....	26
Figura 3.5 - Situações a evitar: à esquerda, perdas por paredes e pavimentos em contacto com o solo e à direita, perdas por pontes térmicas (adaptado de Rodrigues, 2007). ....	27
Figura 3.6 - Perdas de calor por renovação de ar (adaptado de Rodrigues, 2007). ....	27

Figura 3.7 - À esquerda, perdas de calor e entradas de ar exterior nas caixas de estore (adaptado de Rodrigues, 2007) e à direita, imagem de uma caixa de estores, antes e após a aplicação da tela isolante Aldageed (nome comercial) (Costa e Silva, 2007).....	28
Figura 3.8 - Tratamento das pontes térmicas recorrendo a forras de tijolo furado (fotos do Autor).....	30
Figura 3.9 - Influência da inércia térmica no conforto de verão (adaptado de AAVV, 2002). ....	30
Figura 3.10 - À esquerda, influência do ângulo de incidência da radiação na sua penetração. Inverno (em cima) e Verão (em baixo) e à direita, exemplo de palas fixas numa situação de Inverno (à esquerda) e numa situação de Verão (à direita) - (Lanham, Gama e Braz, 2004).....	30
Figura 3.11 - À esquerda, exemplo de sombreamento com uma árvore de folha de caduca no Inverno e no Verão e à direita, exemplo de sombreamento com uma trepadeira (Adaptado de Lanham, Gama e Braz, 2004).....	31
Figura 3.12 – À esquerda, pormenor da fachada Sul e à direita, efeito das palas (Gonçalves; Cabrito; Oliveira; Patrício, 1997).....	31
Figura 3.13 - Eficiência dos dispositivos de sombreamento vertical e horizontal (adaptado de AAVV, 2008a).....	32
Figura 3.14 - Sistemas Solares Passivos em Edifícios (Citado por Simões, 2009).....	33
Figura 3.15 - Sistema solar passivo de ganho directo com armazenamento térmico (Adaptado de Silva, 2006).....	34
Figura 3.16 - Parede de Trombe - Sistema solar passivo de ganho indirecto (Adaptado de Silva, 2006). .....	35
Figura 3.17 - “Casa Schäfer”, Porto Santo: fotografia do aspecto exterior da parede de Trombe e esquema do seu funcionamento consoante as estações do ano (Adaptado Lanham, Gama e Braz, 2004).....	36
Figura 3.18 – À esquerda, corte vertical da Casa Termicamente Optimizada (CTO) - (Gonçalves; Cabrito; Oliveira; Patrício, 1997) e à direita, fotografia das colunas de água na CTO (Gonçalves; Graça, 2004).....	36
Figura 3.19 - Termosifão - Sistema solar passivo de ganho isolado (Adaptado de Silva, 2006). ....	37
Figura 3.20 - Influência da cor do revestimento no impacte térmico da radiação solar (AAVV, 2008a). .....	38
Figura 3.21 - Fluxo dos ventos com edificações dispostas de forma linear, a 45° da direcção do vento e de maneira intercalada. (OLGYAY, 1968, p. 99) (adaptado de Lamberts, 2007).....	39
Figura 3.22 - Pressões positivas (+) e negativas (-) ao redor de diferentes configurações de edificações (adaptado de Lamberts, Triana 2007).....	39
Figura 3.23 - Várias estratégias de ventilação natural numa mesma edificação (adaptado de Lamberts, 2007).....	40
Figura 3.24 - Sistema de Ventilação Cruzada (adaptado de Silva, 2006). ....	40

Figura 3.25 - A ventilação natural depende da configuração do edifício. Os locais que disponham de pelo menos duas aberturas exteriores, em fachadas opostas, permitem uma boa ventilação (adaptado de AAVV, 2002). .....	41
Figura 3.26 - Configurações de paredes-asa (adaptado de Silva, 2006).....	41
Figura 3.27 - Ventilação com efeito chaminé balanceado (adaptado de Lamberts, 2007).....	43
Figura 3.28 - Exemplo de um sistema “roof spraying” (Adaptado de Lanham; Gama; Braz, 2004)....	43
Figura 3.29 - Arrefecimento radiativo (sistema com isolamento de tecto amovível) - (adaptado de Silva, 2006). .....	44
Figura 3.30 - Temperaturas médias na Europa: à esquerda, em Janeiro e à direita ,em Agosto (adaptado de TAREB, 2009). .....	45
Figura 3.31 - Edifícios Solares Passivos Residenciais em Portugal (Ga - Área de envidraçados; Fa - Área da sala; Fas - Área da estufa) - (Gonçalves, Oliveira, Patrício e Cabrito).....	46
Figura 4.1 – Três formas fundamentais de energia (AAVV, 2004a). .....	47
Figura 4.2 – Distribuição global da irradiação solar em Wh/m <sup>2</sup> (AAVV, 2004b) .....	48
Figura 4.3 – Cozinhas solares (fotos de Nuno Amaral). .....	51
Figura 4.4 – Células fotovoltaicas ( <a href="http://www.raplus.pt/">http://www.raplus.pt/</a> ). .....	51
Figura 4.5 – Sistema solar fotovoltaico ( <a href="http://www.raplus.pt/">http://www.raplus.pt/</a> ). .....	52
Figura 4.6 – Microgeração para venda à rede (T&T, Multimétrica).....	52
Figura 4.7 – Adição de colector em elemento de fachada (EREC).....	52
Figura 4.8 - Aplicações da bioenergia (AAVV, 2004a).....	53
Figura 4.9 - À esquerda estilhas de madeira, ao centro pelletes de madeira e à direita briquetes de madeira armazenados (AAVV, 2004a). .....	53
Figura 4.10 – À esquerda, lareira aberta e à direita salamandra ( <a href="http://www.sitiodaslareiras.com">http://www.sitiodaslareiras.com</a> ). ....	54
Figura 4.11 – À esquerda sistema de alimentação automática ( <a href="http://www.raplus.pt/">http://www.raplus.pt/</a> ) e à direita, exemplo de embalagem de pelletes disponível numa superfície comercial (folheto LIDL). .....	54
Figura 4.12 – Sistema combinado de aquecimento com pelletes e solar térmico (AAVV, 2004a). ....	54
Figura 4.13 - Distribuição do tipo de fornecimento de calor para um ano tipo (AAVV, 2004a).....	55
Figura 4.14 – À esquerda e ao centro, Gerador Eólico de eixo horizontal em ambiente urbano (INETI) e à direita, Aerogerador TURBAN de 2.5kw (Loureiro, 2009). .....	55
Figura 4.15 – Aproveitamento da energia geotérmica. ....	56
Figura 4.16 – Edifício Solar XXI – Campus do actual LNEG (Guedes, 2007). .....	57
Figura 4.17 – À esquerda, Fachada Sul do Edifício Solar com painéis Fotovoltaicos e à direita, Fachada Nascente e Norte do Edifício Solar (Gonçalves; Cabrito, 2004). .....	58
Figura 4.18 –Aproveitamento térmico dos painéis fotovoltaicos para climatização ambiente (Guedes, 2007).....	59

Figura 4.19 – À esquerda, localização dos tubos enterrados e à direita, esquema dos tubos enterrados para arrefecimento do edifício (Gonçalves; Cabrito, 2004). .....	60
Figura 4.20 – Pormenores da fase de construção e instalação dos tubos enterrados (Loureiro, 2009). 60	
Figura 4.21 – Sistemas de ventilação com intervenção manual do utilizador (Guedes, 2007). .....	60
Figura 4.22 – Sistemas de iluminação natural (Guedes, 2007). .....	61
Figura 5.1 - Curvas de consumo de água quente - influência da estação do ano (Delebecque, 1977)..	63
Figura 5.2 - Sistemas isolados de produção de água quente: à esquerda chuveiro eléctrico e à direita, aquecedor para lavatório. ....	65
Figura 5.3 - À esquerda, esquentador e à direita, caldeira mural (imagens e esquemas de funcionamento).....	66
Figura 5.4 - Instalação de termoacumulador eléctrico (Pedroso, 2000). .....	66
Figura 5.5 - Combinados: à esquerda, aquecimento central e abastecimento de águas quentes instantâneas com depósito de acumulação e à direita, toalheiro de casa de banho aquecido.....	67
Figura 5.6 – Circuitos hidráulicos: à esquerda, circuito directo e à direita, circuito indirecto. ....	67
Figura 5.7 - À esquerda, sistema em termosifão e à direita, em circulação fechada. ....	68
Figura 5.8 - Montagem de mini-split (fonte: <a href="http://www.thermospace.com/">http://www.thermospace.com/</a> ). ....	70
Figura 5.9 - À esquerda, sistema simples de bomba de calor (adaptado de Roriz) e à direita, princípios básicos de funcionamento ( <a href="http://www.daviddarling.inf">http://www.daviddarling.inf</a> ). .....	70
Figura 5.10 - Procura e disponibilidade: a energia solar térmica pode cobrir grande parte das necessidades energéticas (adaptado de ESTIF). .....	71
Figura 5.11 – À esquerda, esquema de princípio de um Chiller de Absorção e à direita, Chiller de Absorção no Hotel de Rethymnon - Creta (Grécia) - (AAVV, 2008a). .....	72
Figura 5.12 – À esquerda, esquema de princípio de um Chiller de Adsorção e à direita, Chiller de Adsorção em Sarantis na Grécia (AAVV, 2008a).....	72
Figura 5.13 - Esquema de princípio de um sistema exsicante (AAVV, 2008a).....	73
Figura 5.14 - Calidarium e Hypocaustum (Dutra, 1997).....	73
Figura 5.15 - Integração arquitectónica dos sistemas de aquecimento/arrefecimento radiante (adaptado de Green Vitruvius). .....	74
Figura 5.16 – Constituintes de um colector solar (adaptado de Gouveia, 2007). .....	75
Figura 5.17 – À esquerda, esquema da reflexão da radiação solar no colector concentrador e à direita, sistema de orientação do colector concentrador (adaptado de Gouveia, 2007).....	76
Figura 5.18 – Esquema da reflexão da radiação solar nos colectores CPC em função da orientação solar (adaptado de Gouveia, 2007). .....	76
Figura 5.19 – Esquema representativo de um colector CPC (adaptado de Gouveia, 2007). .....	77
Figura 5.20 – Colector solar de tubo de vácuo (Green Vitruvius). ....	77

Figura 5.21 – Instalação de colectores: à esquerda, Centro de Controlo da BRISA em Carcavelos e à direita, Palácio do Presidente em Belém (Loureiro, 2009).....	78
Figura 5.22 – Integração de colectores na arquitectura dos edificios unifamiliares e multifamiliares...	78
Figura 5.23 - Sistema totalmente centralizado (A); Sistema centralizado com apoios individuais (B); Sistema de colectores centralizados (C); Sistemas individuais (D) - (Programa AQSpP).....	79
Figura 5.24 – Integração dos colectores em elementos de fachada ( <a href="http://soltermico.pt/sonnenkraft/">http://soltermico.pt/sonnenkraft/</a> ).	79
Figura 5.25 – Estruturas Solares Multifunções - guardas e elementos de fachada ( <a href="http://www.sunaitec.pt">http://www.sunaitec.pt</a> ).....	80
Figura 5.26 – Estruturas Solares Multifunções – cobertura ( <a href="http://www.sunaitec.pt">http://www.sunaitec.pt</a> ). ....	80



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 - Práticas de projecto para a optimização da iluminação natural.....	32
Tabela 3.2 - Práticas de projecto de sistemas passivos de aquecimento (adaptado de Rocheta e Farinha, 2007).....	34
Tabela 3.3 - Práticas de projecto de sistemas passivos de arrefecimento (adaptado de Rocheta; Farinha, 2007).....	38
Tabela 4.1 - Média mensal (1966-1975) de radiação global diária (adaptado de AAVV, 2004b).....	49
Tabela 5.1 - Temperaturas de água quente mais usuais .....	64
Tabela 5.2 - Classificação dos Sistemas de produção de AQS .....	64



## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Âmbito da dissertação e enquadramento do trabalho**

O consumo de energia no sector dos edifícios representa cerca de 20% do consumo total do país. Nos edifícios residenciais, o consumo de energia distribui-se da seguinte forma: 50% para a produção de águas quentes sanitárias (AQS); 25% para a climatização (aquecimento e arrefecimento) e 25% para a iluminação e outros equipamentos (electrodomésticos).

O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril e a introdução do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, promovendo a sustentabilidade dos edifícios, introduz condicionamentos aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacte em termos de consumo de energia primária. Determina também a obrigatoriedade da instalação de colectores solares para produção de AQS em construções novas e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício.

Através da atribuição de certificados energéticos a todas as fracções dos edifícios, será ainda incentivada a introdução de alterações no edificado existente. O uso em larga escala dos colectores solares para o aquecimento de águas quentes sanitárias, pode proporcionar uma importante poupança para os seus utilizadores e contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, sendo certo que o uso desta água quente produzida quase gratuitamente não se esgota nas águas quentes sanitárias.

Com a publicação, em 20 de Maio de 2008, do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), integrando as políticas e medidas de eficiência energética a desenvolver, nos termos previstos na Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, foi estabelecido como meta a alcançar até 2015 a implementação de medidas de melhoria de eficiência energética equivalentes a 10% do consumo final de energia, justificando-se assim, e de forma a cumprir esta meta aliada à necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, a necessidade de recorrer cada vez mais às energias renováveis.

Acresce ainda que, com a publicação do Decreto-lei nº 363/2007, 2 de Novembro, instituindo o programa “Renováveis na Hora”, os consumidores puderam, a partir de Fevereiro de 2008, tornar-se microprodutores de energia eléctrica. Este regime aplica-se à instalação de produção de electricidade monofásica em baixa tensão com potência até 5,75 kW, recorrendo a equipamentos de pequena escala, como painéis solares, microturbinas, microeólicas ou outras tecnologias, e que utilizem recursos renováveis como fonte de energia primária ou que produzam, em cogeração, electricidade e calor.

A nova regulamentação, bem como a implementação das políticas de eficiência energética terá, inevitavelmente, reflexos nas tecnologias de construção.

## **1.2 Objectivos do trabalho**

Este trabalho, com vista à elaboração de uma dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, no Perfil de Edificações, pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, tem como objectivo o levantamento do estado da arte das tecnologias de construção associadas aos edificios bioclimáticos e aos sistemas com aproveitamento das energias renováveis para produção de água quente e de climatização nos edificios, suas implicações ao nível dos elementos construtivos, das instalações e equipamentos, e visa contribuir para o uso mais intensivo destas tecnologias e para a sustentabilidade energética dos edificios e conforto dos utilizadores e ainda para a redução dos consumos domésticos associados aos sistemas convencionais de produção de água quente, de aquecimento e arrefecimento ambiente.

## **1.3 Metodologia e organização do trabalho**

A metodologia utilizada para o levantamento do estado da arte, de forma a actualizar e enquadrar a situação actual do conhecimento sobre o tema em estudo e assuntos relacionados, envolveu a recolha e compilação de dados, através de uma extensa pesquisa bibliográfica para análise e revisão da literatura. As fontes de informação, publicadas em vários suportes, variaram desde livros, revistas científicas da especialidade, relatórios, teses de mestrado e de doutoramento, a actas de congressos, documentos oficiais e legislação e publicações na Internet.

O trabalho final, alicerçado naquilo que inúmeros investigadores demonstraram e concluíram recentemente, e cujos créditos são citados e referenciados ao longo do texto, foi dividido em 7 Capítulos, estruturados e resumidos da seguinte forma:

## **Capítulo 1 – Introdução**

Breve capítulo introdutório, com descrição e estruturação do trabalho.

## **Capítulo 2 - Sustentabilidade e Eficiência Energética**

Neste capítulo aborda-se a sustentabilidade na construção e a eficiência energética nos edifícios, as práticas construtivas com vista à sustentabilidade, bem como algumas ferramentas de avaliação da sustentabilidade.

## **Capítulo 3 - Edifícios Bioclimáticos**

Neste capítulo aborda-se a arquitectura bioclimática e os principais aspectos relacionados com o projecto e tecnologias construtivas associadas às estratégias passivas de aquecimento e de arrefecimento, apresentando-se alguns exemplos de boas práticas neste campo.

## **Capítulo 4 - Integração das Energias Renováveis em Edifícios**

Neste capítulo contextualizam-se, na temática dos edifícios bioclimáticos, os sistemas activos e a possibilidade de integração de energias renováveis nos sistemas energéticos de produção de águas quentes sanitárias e de climatização, com apresentação alguns exemplos de boas práticas neste campo.

## **Capítulo 5 – Instalações e Equipamentos (AQS e Climatização)**

Neste capítulo apresentam-se os aparelhos e equipamentos convencionais mais divulgados, para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e para climatização em edifícios, bem como as instalações, equipamentos, ou aparelhos considerados como alternativas sustentáveis em função do estado actual da tecnologia, com igual apresentação de exemplos de boas práticas e de inovação nestes campos.

## **Capítulo 6 - Conclusões e perspectivas futuras**

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais, bem como algumas reflexões sobre a temática abordada e consequentes orientações e possibilidades de desenvolvimentos em trabalhos futuros.

## **Capítulo 7 - Bibliografia Consultada**

Por último neste capítulo, apresenta-se a bibliografia consultada para o desenvolvimento do trabalho, dividida em publicações gerais, publicações legais e normativas e páginas na Internet.



## 2. SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 2.1 Introdução

O conceito de Construção Sustentável está intimamente associado ao de Desenvolvimento Sustentável, que aparece definido pela primeira vez no Relatório Bruntland “*Our Common Future*” (1987), elaborado no âmbito da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, presidida por Gro Harlem Bruntland que, à época, era primeira-ministra da Noruega, como sendo “*o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades*”. A Comissão Bruntland considera então no seu relatório que meio ambiente e desenvolvimento seriam temas compatíveis e complementares nos seus objectivos.

Nesta altura, as preocupações dominantes no sector da construção seriam meramente *económicas*, em detrimento das preocupações *ambientais* e *sociais*. Actualmente, o conceito de desenvolvimento sustentável envolve uma abordagem equilibrada destas preocupações e dizemos que este se atinge quando estas três dimensões coincidem ou se sobrepõem (Figura 2.1). Quando aplicamos estes conceitos ao sector da construção falamos então de *Construção sustentável* ou de *Edifícios Sustentáveis*.

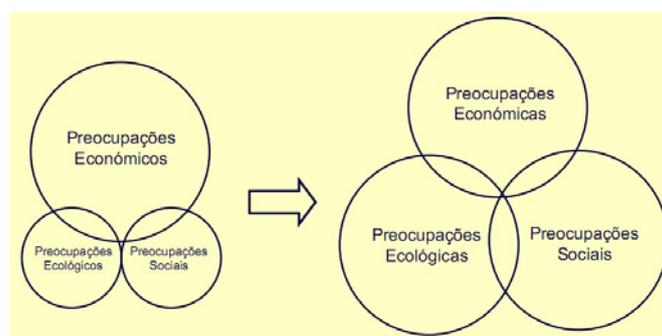


Figura 2.1- Noção integrada de Desenvolvimento Sustentável.

Um edifício sustentável é um sistema extremamente complexo que se pretende, ao longo do seu ciclo de vida, que seja ambientalmente integrado quer exteriormente quer interiormente ou seja: que se integra na envolvente urbana satisfazendo as necessidades ambientais (mesmo após o seu desmantelamento), e que igualmente satisfaça de forma segura, adequada e eficiente as necessidades dos seus utilizadores em termos funcionais e de conforto. Estamos assim então perante dois desafios integrados: por um lado a necessidade de cumprir imperativos ligados à diminuição dos impactes ambientais do ambiente construído e por outro

garantir níveis de qualidade de vida e de conforto aos ocupantes com gestão eficiente dos recursos energéticos.

Em termos gerais o que haverá de se procurar é a “*aproximação sensível ao clima*” empregando sempre que possível as técnicas de design passivo - que à frente desenvolveremos em pormenor -, garantindo adequado isolamento térmico, adequada iluminação natural e ventilação e qualidade do ar interior com eficiência energética.

Falamos assim de construção sustentável, ao considerar e ponderar durante a fase de projecto as três dimensões do desenvolvimento sustentável: *ambiental, económica, social e cultural* (Figura 2.2). Para além de se considerarem parâmetros ao nível da escala do edifício, também se consideram parâmetros que avaliem a interacção do edifício com o meio (Bragança; Mateus, 2009).



Figura 2.2 - Esquema das três dimensões da sustentabilidade na construção (adaptado de Oliveira, 2006).

Facilmente nos apercebemos que a eficiência energética e a utilização racional de energia nos edifícios estão intimamente ligadas à sustentabilidade na construção, contribuindo para a diminuição da demanda energética para climatização, iluminação e de ventilação artificiais, pela substituição dos consumos de energia convencional por energias renováveis, gratuitas e não poluentes e por alterações no comportamento dos utilizadores.

## 2.2 Consumos de energia nos edifícios

O Consumo energético dos edifícios, tendo em conta todo o seu ciclo de vida, é na EU de cerca de 40% do total de toda a energia consumida, sendo estes os principais responsáveis pela emissão de gases com efeito de estufa. A redução destes consumos por um lado contribui para a diminuição do consumo de recursos não renováveis e da produção de resíduos e, por outro, diminui a dependência energética da EU relativamente ao exterior, sendo assim

facilmente reconhecidos os interesses sociais e económicos na poupança energética no sector da construção.

Em Portugal existem cerca de 3,3 milhões de edifícios que consomem 30% da energia total consumida, dos quais 17% correspondem ao consumo residencial e os restantes 13% a serviços (Figura 2.3). Estes consumos, em termos de utilizações finais, distribuem-se aproximadamente da seguinte forma: águas quentes sanitárias 50%, aquecimento e arrefecimento 25%, iluminação e equipamentos (electrodomésticos) 25%. Podemos ainda observar que de toda a electricidade consumida em Portugal, os edifícios utilizam 62% (residencial com 29% e serviços com 33%).

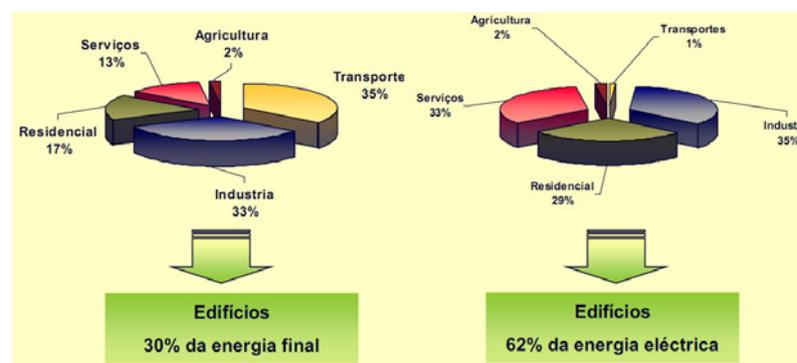


Figura 2.3 - À esquerda, consumos de energia final por sector e à direita consumos, de electricidade por sector. Dados de 2006 (ADENE, 2009)

Estes valores dos consumos dão uma ordem de grandeza de onde se pode e deve actuar nos edifícios, de forma a melhorar a sua eficiência térmica e energética. Assim, é notório o peso correspondente às águas quentes sanitárias, cuja fonte energética se divide entre o gás e a electricidade e onde a energia solar térmica poderá ter um impacto muito importante na redução da factura energética.

O tipo de climatização mais generalizado no nosso país é para aquecimento. Contudo, o arrefecimento ambiente tem vindo a ter um taxa de penetração crescente nos últimos anos, sendo o aumento anual de cerca de 8%. No caso de existir sistema de ar condicionado, este é geralmente do tipo individual, constituído por um ou mais aparelhos do tipo “split” (dividido), nome que resulta deste equipamento possuir uma unidade interior e outra exterior que constituem o sistema de climatização. Os aparelhos mais recentes são do tipo reversível, ou seja, permitem a obtenção de calor no Inverno e de frio no Verão (CEEETA, 2009).

O aquecimento das águas é maioritariamente realizado através de esquentador, ou caldeira mural, e existindo caldeira, esta serve para fazer o aquecimento das águas sanitárias (banhos,

lavagem na cozinha) e o aquecimento da água do sistema de aquecimento centralizado (CEEETA, 2009).

### **2.3 Eficiência e Certificação Energética dos Edifícios**

A nível internacional, ao abrigo do Protocolo de Quioto e do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, Portugal assumiu o compromisso de limitar o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa (GEE) em 27% no período de 2008-2012, relativamente aos valores de 1990.

A eficiência energética do lado da procura tem estado na agenda do legislador sendo de referir o *Programa Nacional para Alterações Climáticas*, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004 de 31 de Julho, relativa à eficiência energética nos edifícios, a *Estratégia Nacional para a Energia*, aprovada através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro e a mais recentemente a publicação, em 20 de Maio de 2008, do *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética* (PNAEE), integrando as políticas e medidas de eficiência energética a desenvolver, nos termos previstos na Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) resulta da transposição para direito nacional da Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta Directiva estabelece que os Estados-Membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público.

Em 2006, a Directiva n.º 2002/91/CE foi transposta para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei:

**- o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril**, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Este sistema visa, assegurar a aplicação dos regulamentos relativos à eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior,

de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE; certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; e por último, identificar as alterações e medidas correctivas para a melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos (caldeiras e equipamentos de ar condicionado), no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior;

- o **Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril**, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (**RSECE**).

Este Regulamento veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, abrangendo os aspectos da qualidade da envolvente e a limitação dos consumos energéticos e a manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços.

- o **Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril**, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (**RCCTE**).

Este Regulamento estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária, impondo limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes. Determina também, quando tecnicamente viável, a obrigatoriedade da instalação de colectores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício (Figura 2.4).

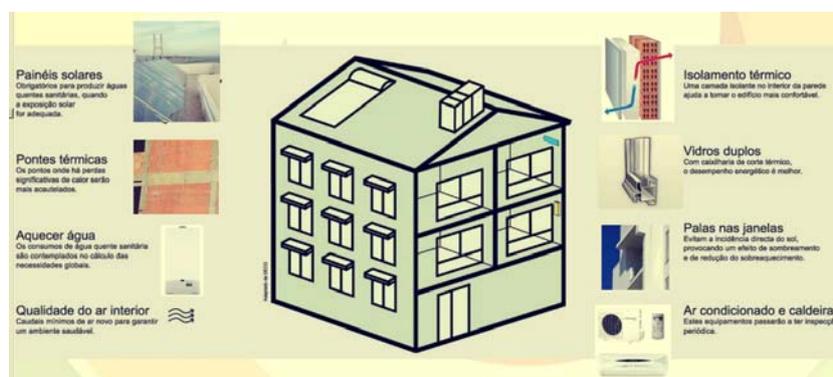


Figura 2.4 - Principais requisitos do RCCTE para edifícios de habitação (adaptado de ADENE, 2009).

A aplicação destes regulamentos é verificada e realizada por peritos devidamente formados e qualificados para o efeito. São esses os peritos que, em conjunto com a Agência para a Energia (ADENE), irão assegurar a operacionalidade do SCE. A face visível deste trabalho será a emissão por um perito, para cada fracção autónoma do edifício, do *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior* (Figura 2.5), sendo o mesmo classificado, em função do seu desempenho energético, numa escala predefinida de 9 classes (A+ a G).

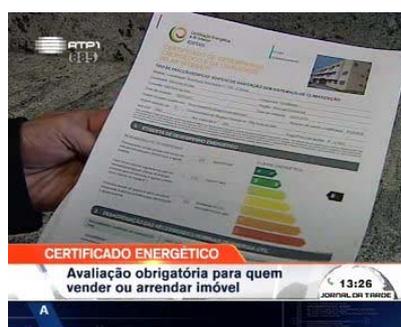


Figura 2.5 - Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior (Imagem RTP).

A classe energética para edifícios de habitação será então determinada pela razão (R) entre as *necessidades anuais globais de energia primária para climatização e AQS* ( $N_{tc}$ ) e o respectivo *valor máximo admissível* ( $N_t$ ) - (Figura 2.6).

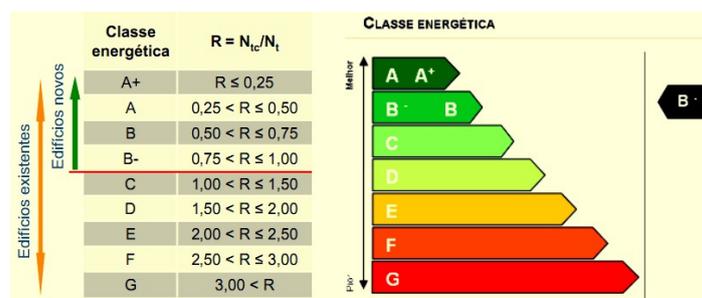


Figura 2.6 - À esquerda, obtenção da classe energética para edifícios de habitação e à direita, etiqueta de desempenho energético (adaptado de ADENE, 2009).

### 2.3.1 Método expedito para estimativa da Classe Energética de Edifícios Existentes

O Departamento de Energias Renováveis do antigo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) agora designado por Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), desenvolveu um método expedito para estimativa da Classe Energética de um Edifício existente para o sector residencial (moradias e apartamentos), com o objectivo de ajudar o processo de Certificação Energética de Edifícios.

Elaborada por Laura Aelenei e Hélder Gonçalves, é uma metodologia muito simplificada que, com base em 5 parâmetros, fornece uma indicação muito fíável sobre a Classe Energética do edifício. Os cinco parâmetros são: *Localização* (I1,I2,I3), *Tipo de Edifício* (Moradia, Apartamento intermédio ou de cobertura), *Qualidade média da envolvente* (U), *Tipo de equipamento para aquecimento e arrefecimento* (e fonte energética, eléctrico ou gás) e *existência ou não do sistema solar*. Definidos estes parâmetros obtém-se a Classe Energética indicativa do edifício em estudo com um elevado grau de rigor (Figura 2.7).

Não substituindo os procedimentos vigentes e regulados no âmbito do SCE, esta ferramenta destina-se a projectistas, peritos qualificados e demais utilizadores, e surge como auxiliar de procedimentos de cálculo e encontra-se disponível em [http://www.ineti.pt/noticias/desenv\\_noticias.aspx?id=19101](http://www.ineti.pt/noticias/desenv_noticias.aspx?id=19101).



Figura 2.7 - Método expedito desenvolvido no INETI para obtenção da classe energética.

## 2.3.2 Recursos na Internet

### Portal Europeu BUILD UP

Com o objectivo de contribuir para a divulgação de soluções energéticas visando a redução dos consumos energéticos nos edifícios e para a promoção de habitações mais eficientes na Europa, a Comissão Europeia criou um portal na Internet designado BUILD UP ([www.buildup.eu](http://www.buildup.eu)) - (Figura 2.8).



Figura 2.8 - Portal BUILD UP ([www.buildup.eu](http://www.buildup.eu)).

Este portal, sendo dirigido a profissionais da construção, a autoridades públicas e a proprietários ou inquilinos (ocupantes), reúne informação diversa relacionada com as tecnologias da construção e a eficiência energética nas habitações, para uma execução eficaz de medidas de poupança de energia nos edifícios, e tem como objectivo a transferência das boas práticas, ferramentas e tecnologias disponíveis ao mercado e a promoção da sua adopção, bem como manter actualizada informação sobre as políticas energéticas na EU. Entre outros, o portal permite aceder às últimas novidades e acontecimentos na área, a uma base de dados de publicações, a links e ferramentas, e a diversos casos de estudo.

### **Portal Português da Agência para a Energia (ADENE)**

A Agência para a Energia (ADENE) é uma instituição privada participada pelo Ministério da Economia e da Inovação e promove actividades de interesse público no domínio da Política Energética. Na página da ADENE, podemos encontrar informação diversa sobre o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e utilizar algumas das funcionalidades previstas nesse âmbito, como a pesquisa de peritos qualificados e a validação de declarações e certificados e outras. Destas, destacamos a disponibilização online de um simulador de eficiência energética (<http://www.casamais.adene.pt/>) - (Figura 2.9).



Figura 2.9 - Página do simulador de Eficiência Energética (DECO/ADENE).

Com esta aplicação, desenvolvida em parceria pela Associação Portuguesa para a Defesa do Consumidor (DECO) e a ADENE, pretende-se sensibilizar o público para os aspectos que influenciam o desempenho energético das habitações, bem como sobre a introdução de possíveis soluções de melhoria desse desempenho nas necessidades de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias.

Destaca-se ainda a participação, desta entidade, no projecto Enerbuilding - Eficiência Energética, co-financiado pelo Programa Intelligent Energie Europe (IEE) da Comissão Europeia, que visa promover o uso racional de energia e a aplicação de fontes de energia

renovável nos edifícios, despertar a consciência e conhecimentos dos consumidores para a eficiência energética dos edifícios, fornecendo informação e apoio para ultrapassar os obstáculos aos investimentos neste sector. No âmbito deste projecto foram já produzidas duas publicações que se encontram disponíveis para download na página: “*A utilização racional de energia nos edifícios públicos*” e a “*Eficiência energética nos edifícios residenciais*” (Figura 2.10).



Figura 2.10 - Publicações sobre Eficiência Energética, editadas no âmbito do projecto Enerbuilding.

## 2.4 Práticas construtivas com vista à sustentabilidade

Existem várias formas de melhorar a eficiência energética dos edifícios. Uma parte da responsabilidade em não desperdiçar energia caberá aos ocupantes, que terão para isso de ser de alguma forma sensibilizados, mas seguramente é aos projectistas que concebem o edifício que compete dotá-lo com o máximo possível de qualidades que permitam a gestão das energias disponíveis da forma mais racional (Mendonça, 2005).

A combinação de materiais utilizados na materialização dos diversos elementos de construção de um edifício, denomina-se por *solução construtiva* e a combinação das soluções construtivas utilizadas na definição dos principais elementos de construção, pavimentos, paredes e coberturas é conhecida por *sistema construtivo* (Mateus, 2009).

Para além do aparecimento de novos sistemas construtivos principalmente ligados à integração de energias renováveis e de sistemas energéticos limpos, também nas últimas décadas se tem assistido ao ressurgimento de algumas soluções correntes no passado e que foram praticamente abandonadas, como o Adobe e a Taipa, pelo que a designação de tecnologias inovadoras nem sempre será utilizada da forma mais adequada.

Para a selecção da solução ou sistema construtivo mais adequado, quando se procuram os melhores níveis de conforto higrométrico e os menores custos de construção e de manutenção durante o ciclo de vida do edifício, será necessário estudar as vantagens e desvantagens das diversas soluções disponíveis para cumprimento do programa de projecto, atendendo, entre

outros, ao tipo de clima e à localização da obra, à disponibilidade económica e de fornecedores e ao estilo arquitectónico.

Assim, os factores mais importantes que influenciam a selecção da tecnologia construtiva mais adequada são (Mateus, 2004): durabilidade das soluções comparativamente à vida útil projectada para o edifício; a análise global dos custos da solução; o comportamento térmico; o impacte ambiental de todos os materiais e componentes de construção utilizados, bem como, dos processos de construção associados; a disponibilidade de técnicos e de empresas de construção que possuam a adequada formação para lidarem com a solução construtiva pretendida; disponibilidade de materiais no mercado; a manutenção esperada; a flexibilidade da solução e o seu potencial de reutilização/reciclagem e a distância de transporte prevista para cada material e componente.

Na fase de projecto, deverão ainda ser previstas soluções solares passivas que possam influenciar o consumo energético e que possam incidir sobre a envolvente do edifício ou sobre os sistemas energéticos nele existentes, incluindo neste caso os sistemas que recorrem a fontes de energia renovável e novas tecnologias, em termos de iluminação natural e artificial, de aproveitamento da inércia da construção, de redução da potência instalada através da consideração de soluções de armazenamento, de utilização de energias endógenas, de ventilação natural (Figura 2.11).

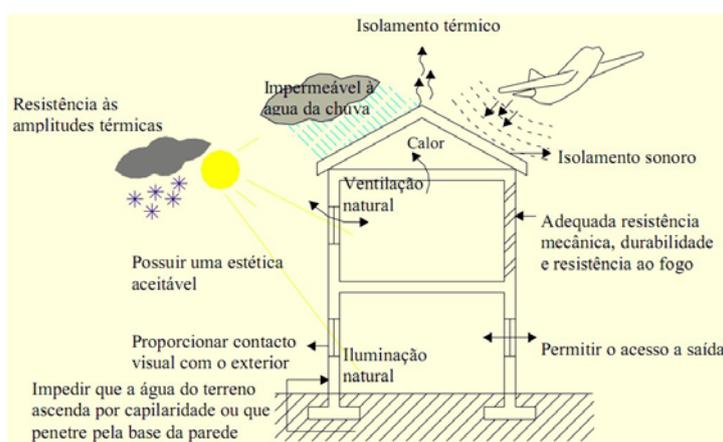


Figura 2.11 - Exigências funcionais da envolvente dos edifícios (adaptado de Mateus, 2004).

Quando falamos de climatização recorrendo a sistemas sustentáveis, o que se pretende é que o edifício proporcione conforto térmico aos seus ocupantes, com o mínimo de consumo de energia. Porque os edifícios não gastam energia, as pessoas sim, estes deverão proporcionar conforto, de forma natural, ao longo de todo o ano, eliminando os meios mecânicos auxiliares

de climatização, que deverão ser utilizados caso não seja de todo possível climatizar o edifício de forma natural. As estratégias de design passivo desempenham um papel fundamental neste processo.

Para este efeito, pretendendo projectar e construir edifícios energeticamente eficientes e ambientalmente sustentáveis, deveremos seguir, entre outras, as seguintes regras:

- adaptar soluções de fachada correctamente isoladas e de forma a prevenir as pontes térmicas;
- adoptar soluções de cobertura correctamente isoladas e cores adequadas;
- adoptar soluções de pavimento correctamente isoladas;
- adoptar para os vãos envidraçados vidro duplo ou triplo e caixilharia de baixa condutibilidade térmica;
- controlar as renovações de ar;
- estudar soluções de design passivo, atendendo especialmente à forma do edifício, orientação do mesmo, bem como dos vãos envidraçados;
- prever adequados dispositivos de sombreamento;
- aproveitar a inércia térmica;
- fazer uso da ventilação natural no verão.

#### **2.4.1 Sistemas construtivos empregando materiais naturais**

O emprego de materiais naturais na construção pode vir a tornar-se uma opção sustentável. Estes normalmente têm uma energia incorporada menor, são menos tóxicos que os materiais ditos convencionais, não prejudicam o ambiente, e muitos, como a terra crua, a madeira, o bambu e as fibras naturais, são renováveis e reutilizáveis.

A construção de edifícios com paredes termicamente eficientes, em que, ao mesmo tempo, não são consumidas grandes quantidades de energia na sua construção ou demolição, é uma forma de promover a redução do consumo energético.

Passamos agora em revista alguma destas opções de sistemas construtivos não convencionais utilizando materiais naturais:

## Construções em Terra

A construção em terra crua apresenta muitas potencialidades, como sejam o elevado conforto térmico, muito associado à inércia térmica que propicia, o bom comportamento acústico, especialmente face a sons aéreos, associado à sua massa, a economia energética inerente, em termos de produção e de transporte do material e à utilização da construção, a longevidade da construção, desde que a manutenção necessária seja efectuada (Figura 2.12) - (Faria-Rodrigues, 2007).



Figura 2.12 - À esquerda, exemplo de construção nova (Devon, Inglaterra) e à direita, construção antiga (planície alentejana) - (Faria-Rodrigues, 2007).

As tecnologias de construção em terra crua mais utilizadas, a nível nacional, são a *taipa*, o *adobe* e os *blocos de terra comprimida* (BTC), conhecendo-se, ainda, exemplos de construções em *tabique*. A *taipa* resulta da compactação da terra com o uso de pilão entre taipais, os adobes são blocos moldados à mão, com recurso a formas e secos ao ar, os BTC são também blocos de terra comprimida em que a compactação é realizada com recurso a prensa e o *tabique* é geralmente constituído por uma estrutura de madeira revestida, em ambas as faces, por um material à base de terra.

## Construção em Fardos de Palha

São construções resistentes e duráveis capazes de responder aos padrões actuais de conforto térmico, acústico e económicos. Já existem alguns exemplos em Portugal neste tipo de técnicas como por exemplo, a Casa da Ribeira e na Eco-Aldeia Tamera. Em França e na Alemanha este tipo de construção é usual e frequente. Um misto de Fardos de Palha e madeira revestidos com terra e cal são os acabamentos mais frequentes (Francisco, 2009).

### **Construção em Madeira**

A utilização da madeira e dos seus subprodutos na construção civil, nomeadamente nos revestimentos de pavimentos e de paredes, componentes e acessórios e outros, tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos no nosso país. Este facto deve-se a uma maior consciencialização de engenheiros e arquitectos do potencial deste tipo de material e das suas vantagens em relação outros. Hoje em dia, as decisões a respeito dos métodos de produção devem considerar a energia consumida e o peso que isso representa no ambiente. Em relação aos consumos de energia, estas devem ser diferenciadas no seu uso eficiente e no uso de energias renováveis. No código alemão, a madeira é classificada como um dos materiais de construção que satisfazem todas estas exigências e requisitos (Ferreira, Vítor; Brito, Jorge, 2004).

### **Construção em Bambu**

A Construção em Bambu não tem muita tradição no nosso país. Contudo temos excelentes condições climáticas para produzir Bambu de qualidade e utiliza-lo na construção. A sua utilização em terrenos pouco férteis potencia-os para melhores colheitas devido à sua capacidade de enriquecer as terras. No entanto terá que se ter em conta que é uma espécie invasiva, ou seja, utilizar barreiras para evitar o seu natural alastramento. A maioria das pessoas desconhece este facto, mas Portugal tem no Jardim Botânico de Coimbra a maior floresta de Bambu da Península Ibérica. O potencial desta “Árvore” é incrível: desde utilização na construção como elemento estrutural, usado também em revestimentos e elemento decorativo (Figura 2.13). Existem já no mercado Português alguns produtos interessantes em Bambu como por exemplo pavimentos, mobiliário e decoração (Francisco, 2009).



Figura 2.13 - À esquerda, fixação entre varas de bambu e à direita, bambu usado na estrutura de cobertura (Oliveira, 2006).

## 2.5 Avaliação da Sustentabilidade

O objectivo da avaliação da sustentabilidade é reunir dados e disponibilizar informação que servirão de base aos processos de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício (Figura 2.14). Desta avaliação resulta uma pontuação e o perfil sustentável de um edifício, após identificação, análise e avaliação dos factores mais importantes. Actualmente podem ser identificadas duas tendências antagónicas no contexto das ferramentas de avaliação: de um lado a complexidade e a diversidade de indicadores desenvolvidos por diferentes entidades; e do outro, a evolução no sentido da sua efectiva implementação, através do desenvolvimento de indicadores comuns e simplificação do processo (Bragança; Mateus, 2006).

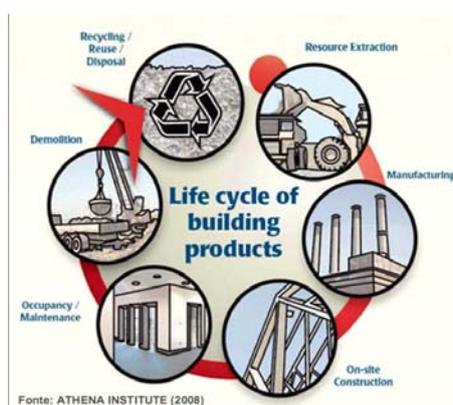


Figura 2.14 - Metodologia de avaliação do ciclo de vida dos produtos da construção.

Em Portugal, a certificação ambiental de edifícios, contribuindo para a sustentabilidade da construção, é ainda de aplicação opcional ou voluntária, mas aliada à certificação energética já obrigatória. Em virtude do forte impacto dos edifícios em termos de emissões de gases poluentes, esta será certamente, uma mais valia para os compradores, pois contribui para otimizar o desempenho energético e ambiental do edificado e os edifícios certificados ambientalmente, em regra, terão custos de manutenção mais baixos.

### 2.5.1 Ferramentas de avaliação de desempenho ambiental e de sustentabilidade

A Construção sustentável abrange uma série de parâmetros que se enquadram nas três dimensões do desenvolvimento sustentável, pelo que o uso de metodologias que pretendam utilizar a totalidade dessas variáveis constitui um processo difícil e moroso, que coloca em causa a própria prossecução dos seus objectivos. Por este motivo, é essencial recorrer-se a uma abordagem holística, baseando a avaliação da sustentabilidade numa série de indicadores

e parâmetros que se considerem os mais representativos para o fim em vista. Para este efeito, considera-se que um indicador permite avaliar o comportamento de uma solução face aos objectivos da sustentabilidade e que um parâmetro é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informações acerca de um fenómeno, ambiente ou área (Oliveira, 2008).

A nível mundial são conhecidos e utilizados inúmeros sistemas de certificação ambiental do edificado, utilizando alguns parâmetros e critérios em comum, mas divergindo noutros em função da suas especificidades e génese de criação, variando desde ferramentas de auxílio ao projecto a ferramentas de avaliação pós-ocupação.

Os parâmetros que servem de apoio à avaliação da sustentabilidade estão de alguma forma relacionados com os seguintes objectivos: redução da utilização de energia e materiais não renováveis; redução do consumo de água; redução da produção de emissões, resíduos e outros poluentes. Nas diferentes metodologias de avaliação, normalmente é possível identificar os seguintes objectivos: optimização do potencial do local, preservação da identidade regional e cultural, minimização do consumo de energia, protecção e conservação dos recursos de água, utilização de materiais e produtos de baixo impacte ambiental, adequada qualidade do ambiente interior e optimização das fases de operação e manutenção.

Estas metodologias de avaliação funcionam com base numa pontuação atribuída, suportada em critérios bem definidos. Estes são atribuídos (dentro de determinada escala) de acordo com o desempenho do edifício em relação a cada critério ou parâmetro (local, características do envelope do edificado e seus sistemas e componentes). Quanto melhor for o desempenho do edifício, maior o nº de pontos atribuídos.

A energia consumida num edifício na fase de utilização, com todas as consequências para o ambiente associadas, é um dos parâmetros mais importantes de avaliação de sustentabilidade.

Os sistemas de avaliação do desempenho ambiental e de certificação ambiental mais divulgados - que poderão ser ferramentas analíticas ou computacionais de avaliação e reconhecimento de edifícios sustentáveis ou de sustentabilidade de soluções construtivas -, são o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), o BRE EcoHomes Assessment, adaptado do BREEAM e concebido especificamente para o sector da habitação, desenvolvidos no Reino Unido e o LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), desenvolvido nos Estados Unidos.

Das ferramentas baseadas na análise de Ciclo de Vida (*ACV ou LCA de Life-Cycle Analysis ou Life-Cycle Assessment*), dos produtos e materiais da construção, destacam-se o Eco-Quantum (Holanda), o Eco-Effect (Suécia), o ENVEST (Reino Unido), o BEES (Estados Unidos), o ATHENA (Canadá) e o LCA House (Finlândia).

Destacam-se ainda, no Japão o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*), na Austrália, o NABERS (*National Australian Built Environment Rating System*), na França o HQE (*Haute Qualité Environnementale*) e o Sistema Internacional SBTool (antes denominado GBTool Green Building Challenge), em desenvolvimento desde 1996 pelo iiSBE (*International Initiative for a Sustainable Built Environment*). Devido à elevada complexidade de parâmetros, de países, climas e modos de vida diferentes (mais de 20 países envolvidos, incluindo Portugal), ainda não se estabeleceu concretamente os parâmetros e critérios a serem aplicados. No entanto, este último sistema referido é o que, com mais ou menos sucesso, abrange os aspectos considerados mais relevantes para a definição de “edifícios ambientalmente responsáveis” e por isso é o mais utilizado.

Em Portugal temos o sistema LiderA (*Certificação Ambiental da Construção Sustentável*), desenvolvido pelo IST (Instituto Superior Técnico) e liderado pelo Professor Manuel Duarte Pinheiro, que, em termos gerais, tem como finalidade avaliar o edificado de Portugal em termos ambientais e apresenta uma divisão de classes de desempenho de A<sup>++</sup> (mais eficiente) a G (menos eficiente) - (Figura 2.15).

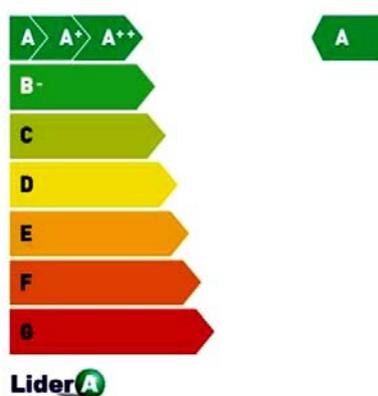


Figura 2.15 - Classes de eficiência ambiental no Método LiderA.

## 2.6 Conclusão

A sustentabilidade no sector da construção é um conceito pluridisciplinar que, para a sua implementação, requer a cumplicidade de todos os agentes implicados, desde os políticos e urbanistas que têm de legislar e definir os instrumentos de planeamento, aos projectistas que têm de conceber edifícios eficientes na optimização dos recursos materiais e energéticos, até aos utilizadores finais que devem ser capazes de utilizar o edifício da forma mais racional possível (Mendonça, 2005)

O uso racional e eficiente da energia nos edifícios está dependente dos materiais, dos elementos e tecnologias construtivas, das instalações e equipamentos utilizados e dos comportamentos dos utilizadores, tornando-se necessário efectuar um estudo integrado das soluções arquitectónicas e construtivas que, recorrendo a materiais e tecnologias mais sustentáveis, promovam, além da captação e conservação da energia, a qualidade de vida dos utilizadores.

A adopção de práticas sustentáveis de construção considera, não só o impacto económico, mas também o impacto ambiental e a sua eficiência energética, desde a extracção da matéria prima, ao fabrico dos materiais, ao transporte a estaleiro, ao projecto e construção, ao uso dos edifícios e sua manutenção, ao desmantelamento e reciclagem (Figura 2.16).



Figura 2.16 - Ciclo de vida das construções (Pinheiro, 2006).

Um dos principais aspectos observados nos sistemas de avaliação do desempenho ambiental do edifício é o uso da energia nas edificações. A energia, nas suas diversas formas, é utilizada em todas as etapas da vida útil de uma edificação, para a extracção de matéria prima, o transporte de materiais, a construção e finalmente na fase de operação que, sendo a mais longa e em geral a que mais consome energia, se estende por toda a vida útil (Figura 2.17) - (Silva, 2007).

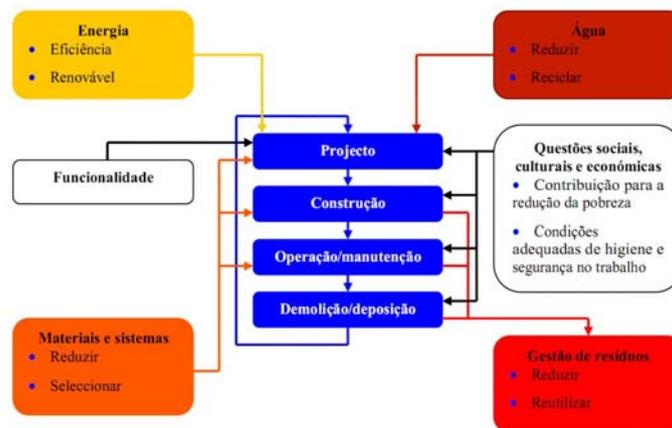


Figura 2.17 - Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção (Mateus, 2004).

Nesta temática distinguem-se ainda os conceitos de eficiência e eficácia, noções geralmente muito confundidas. De facto a “eficácia” tem a ver com vantagens funcionais na aplicação da energia; enquanto a “eficiência” se refere à vantajosa optimização dessa utilização, conforme se observou antes. Assim, uma forma de energia pode ser muito eficaz e pouco eficiente, como exemplifica o gás no esquentador de água relativamente ao cilindro eléctrico. O ideal será conseguir tecnologias que façam convergir a eficácia e a eficiência nos processos de utilização de energia (Ramos, 2007).

### **3. EDIFÍCIOS BIOCLIMÁTICOS**

#### **3.1 Introdução e generalidades sobre o tema**

Na Europa os edifícios constituem o espaço onde as pessoas permanecem cerca de 90% do seu tempo, gerando tal facto uma apreciável demanda energética para aquecimento, arrefecimento e iluminação. Justifica-se, assim, a importância da implementação de práticas de projecto considerando a integração harmoniosa do edificado com o meio ambiente e se implementem tecnologias energeticamente sustentáveis, e que recorram a formas de energia renováveis, para fazer frente a estes problemas do consumo energético e contribuição para diminuição da emissão de gases com efeito de estufa.

Os edifícios bioclimáticos são projectados tendo em conta o clima e tirando partido da exposição solar, de forma a otimizar o conforto térmico no seu interior, integrando os sistemas solares passivos e eventualmente sistemas solares activos. Os sistemas passivos integrados nos edifícios, destinados ao seu aquecimento ou arrefecimento natural, são designados, respectivamente, por sistemas de aquecimento passivo e por sistemas de arrefecimento passivo.

Os sistemas solares passivos são aqueles em que as trocas de energia para aquecimento ou arrefecimento se fazem por meios naturais. Estes são, normalmente, classificados e divididos segundo a forma como se dá o ganho energético em *Ganho Directo*, *Ganho Indirecto* e *Ganho Separado*.

#### **3.2 Arquitectura Bioclimática**

A Arquitectura Bioclimática, por vezes também designada por arquitectura solar, estuda a adaptação, por meios naturais, da construção ao clima do local de implantação da construção, promovendo o aproveitamento solar passivo, envolvendo a combinação de estratégias de projecto e de técnicas construtivas destinadas, sem recorrer a meios mecânicos auxiliares, a maximizar o potencial de aquecimento solar passivo, de arrefecimento natural e de iluminação, para manutenção do conforto ambiental dos ocupantes nos edifícios.

O uso desta técnica apresenta as seguintes vantagens: se ponderada na fase de projecto não apresenta acréscimo de despesas; pode ser adequada ao aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão; pode ser adaptado aos sistemas construtivos actuais; fácil de

incorporar num edifício que apresente adequada exposição solar e possível de integrar em obras de reabilitação com pequenas alterações (AAVV, 2008c).

Os sistemas de aquecimento passivo (estação fria), pretendem maximizar o aquecimento na estação fria, através da captação solar com ganhos através dos vão envidraçados perfeitamente orientados (a sul ou no quadrante sudeste-sudoeste) e dimensionados, aos quais estrategicamente se associam elementos massivos como acumuladores de energia destinados a absorção, armazenamento e posterior distribuição de calor.

Os sistemas de arrefecimento passivo (estação quente), pretendem tirar partido das fontes frias para arrefecimento do edifício. Uma fonte fria no Verão poderá ser o próprio solo, bem como o ar exterior que de noite e de manhã apresenta uma temperatura inferior ao interior dos edifícios, e a temperatura do “céu” que, no caso do arrefecimento radiativo, pode tirar partido da diferença entre a envolvente do edifício, e ainda a evaporação de água a partir de um tanque exterior.

Uma redução da carga térmica no Verão pode facilmente ser obtida, na fase de projecto de um edifício, recorrendo a estratégias bioclimáticas e consequentemente reduzir as necessidades energéticas para arrefecimento (Figura 3.1).

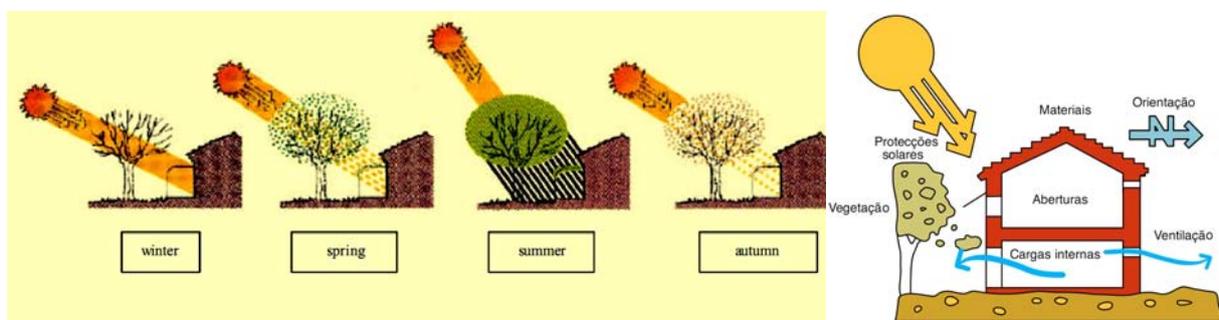


Figura 3.1 - Estratégias bioclimáticas na fase de concepção (AAVV, 2002; AAVV, 2008a).

Contudo, só por si, a aplicação destas técnicas não torna um edifício energeticamente eficiente, sendo condicionadas pelo projecto de arquitectura, pela zona climática e local de implantação do edifício, apresentando-se de seguida algumas considerações relativamente à térmica de edifícios e regras gerais a aplicar relativamente às estratégias de aquecimento, de arrefecimento e de iluminação natural.

### 3.2.1 Forma e Orientação do edifício

Na fase de projecto, e sempre que não existam condicionantes que impeçam tal, genericamente deverá procurar orientar-se o edifício de tal forma que a sua fachada longitudinal se encontre alinhada com o eixo Este-Oeste. Com esta orientação, no Inverno, os raios solares incidem principalmente sobre a fachada virada a sul de forma obliqua, provocando um aquecimento do edifício e por outro lado, a possibilidade de sobreaquecimento a sul no Verão é facilmente resolvida com a introdução de sistemas de protecção como palas de sombreamento ou outros (Figura 3.2).

Os compartimentos com necessidades energéticas elevadas devem ser colocados a Sul, para beneficiarem mais profundamente do efeito do sol; os compartimentos com necessidades energéticas intermédias, podem ser colocados em orientações menos favoráveis, como Este e Oeste; os compartimentos com necessidades energéticas reduzidas devem ser colocados a Norte, servindo assim de espaço tampão (Silva, 2006).

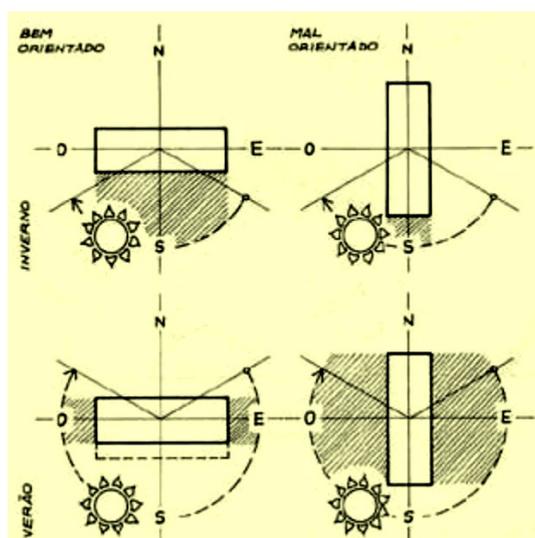


Figura 3.2 - Orientação adequada do edifício (Moita, 1987).

### 3.2.2 Balanço térmico de edifícios

O calor pode ser definido como energia em trânsito devido à diferença de temperatura. A transmissão de calor pode ocorrer segundo três mecanismos: *Condução*, *Convecção* e *Radiação* (Figura 3.3).

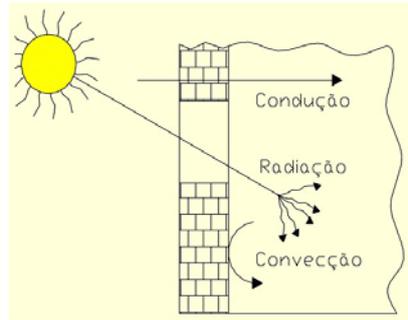


Figura 3.3 - Mecanismos de transmissão de calor em edifícios (Silva, 2006).

A *Condução* é, nos edifícios, o processo de transmissão de calor mais significativo e depende da condutividade térmica dos materiais -  $\lambda$  [W/m.°C] e da espessura do elemento da envolvente -  $e$  [m]; a *Convecção* pode ser *natural* - gerada internamente devido à não-homogeneidade da densidade por diferenças de temperatura - ou *forçada* - quando o fluxo é produzido por fontes externas; e a *Radiação* é baseada na transferência de energia por ondas electromagnéticas, ocorrendo quando existem duas superfícies a diferentes temperaturas, em que, devido à vibração das moléculas superficiais é emitida energia radiante através do espaço até atingir uma superfície opaca, a qual absorve parte desta energia e reflecte a restante (Silva, 2006).

Designa-se por balanço energético de um edifício analisado como um sistema termodinâmico, a comparação entre as quantidades de energia introduzidas no mesmo e as que se perdem através dele, considerando como fronteira a sua envolvente em função das condições climáticas. Normalmente são considerados dois balanços térmicos, um para o Inverno e outro para o Verão (Figura 3.4).

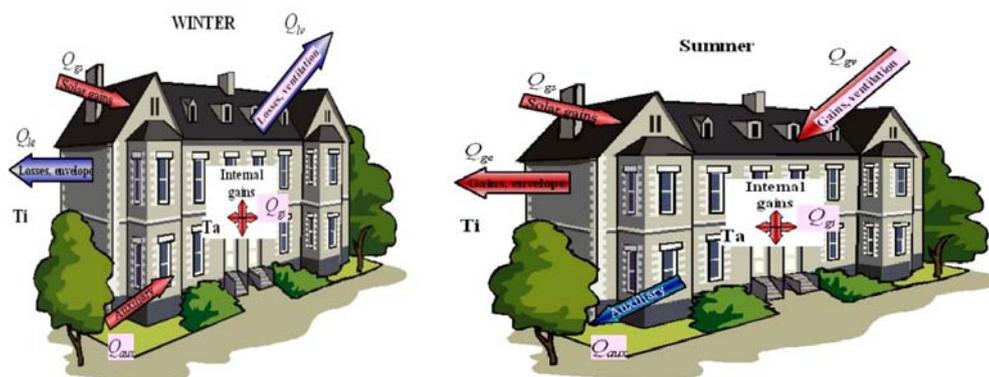


Figura 3.4 - À esquerda, balanço de energia no Inverno, e à direita, balanço de energia no verão (TAREB, 2009).

Para melhor se entender estes dois balanços e por influenciarem o balanço térmico do edifício, passaremos em revista os seguintes conceitos energéticos fundamentais (TAREB, 2009):

## Condução através da envolvente opaca

Este termo é proporcional ao valor do *coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento da envolvente*  $U$  - [W/m<sup>2</sup>] e expressa a energia perdida no Inverno e a ganha no Verão. A absorção da radiação solar através da envolvente exterior contribui para aumentar ganhos indesejáveis no verão mas compensa as perdas no Inverno; contudo, em envolventes opacas bem isoladas a contribuição solar é pequena e normalmente negligenciável. As perdas por pontes térmicas (planas ou lineares) através da envolvente deverão ser situações a analisar cuidadosamente (Figura 3.5).

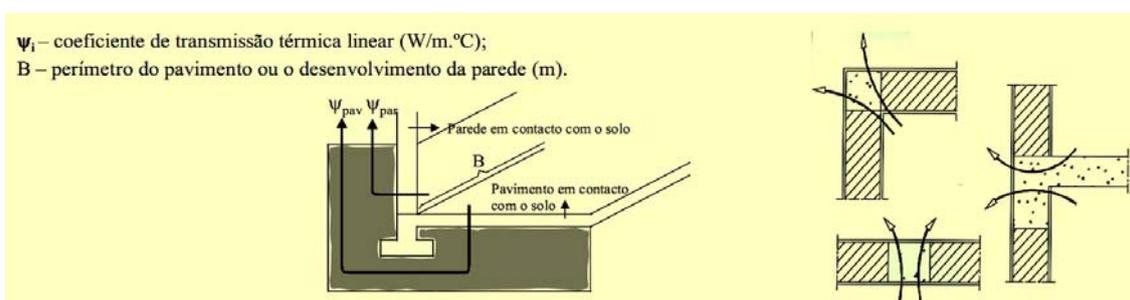


Figura 3.5 - Situações a evitar: à esquerda, perdas por paredes e pavimentos em contacto com o solo e à direita, perdas por pontes térmicas (adaptado de Rodrigues, 2007).

## Renovação do ar

Este termo expressa a quantidade de energia necessária para trazer ar fresco do exterior que entra no edifício através da *infiltração* e *ventilação* para obtenção das condições ambiente desejadas e representa perda de calor no Inverno e ganho no Verão. A infiltração depende da permeabilidade da envolvente e pode apenas ser parcialmente controlada. Torna-se necessário um mínimo de renovações de ar por hora (0,6 Rph em edifícios conforme a NP 1037 -1), de forma a obter uma qualidade de ar interior aceitável (Figura 3.6).

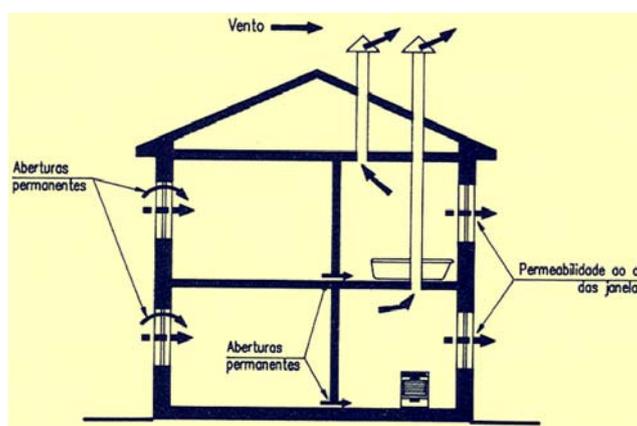


Figura 3.6 - Perdas de calor por renovação de ar (adaptado de Rodrigues, 2007).

Outro parâmetro de grande importância para o conforto no interior do edifício, é a permeabilidade ao ar das janelas que deverá ser limitada de forma a reduzir as perdas de calor. As caixas de estore podem também ser uma importante fonte de perdas de calor e entrada de ar não controlada. Para eliminar este problema deve-se desmontar a tampa da caixa e colocar entre ela e a cavidade que fica a descoberto, um material de isolamento térmico destinado a reduzir a insuficiente resistência térmica da placa que serve de tampa com uma espessura de isolante que não interfira com o funcionamento do estore (Figura 3.7).

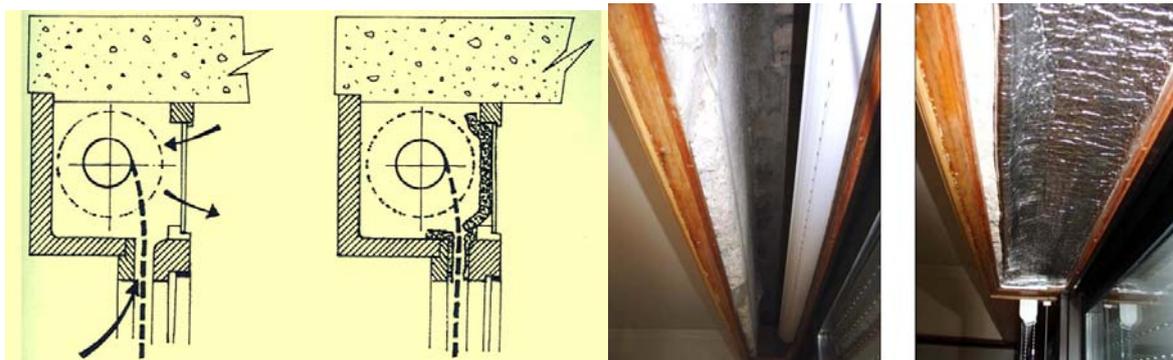


Figura 3.7 - À esquerda, perdas de calor e entradas de ar exterior nas caixas de estore (adaptado de Rodrigues, 2007) e à direita, imagem de uma caixa de estores, antes e após a aplicação da tela isolante Aldageed (nome comercial) (Costa e Silva, 2007).

### **Ganhos solares através dos envidraçados**

Este termo expressa a quantidade de energia solar que entra no edifício através das janelas e de outros elementos envidraçados e representa, sempre, um ganho de calor tanto no Verão como no Inverno.

### **Ganhos Internos**

Este termo expressa a quantidade de energia produzida a partir de todas as fontes interiores do edifício resultantes da ocupação, nomeadamente dos ocupantes, da iluminação artificial, dos electrodomésticos e outros equipamentos e representa, também, sempre um ganho de calor, tanto no Verão como no Inverno.

### **Fontes de Energia auxiliares**

Este último termo expressa a quantidade de energia fornecida pelos equipamentos de aquecimento ou arrefecimento que é activado especificamente para efeitos de controle da temperatura para condicionamento ambiente, de forma a obter conforto dos ocupantes. A

temperatura é obviamente a variável mais controlada, mas no entanto a humidade e a velocidade do ar também são ou poderão ser de grande importância.

### **3.2.3 Isolamentos térmicos**

Porque o edifício perde calor, pela envolvente, por transmissão através da condução térmica, da convecção e radiação e por ventilação e infiltração, a eficácia dos sistemas bioclimáticos deve ser complementada com o recurso à utilização de materiais isolantes térmicos, de forma a minimizar as trocas térmicas.

O isolante térmico, por definição material de condutibilidade térmica inferior a  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , aplicado em espessura tal que a sua resistência térmica é superior a  $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , tem como função principal o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como o risco de condensações.

De entre os materiais mais utilizados para isolamento térmico salientam-se o poliuretano, o poliestireno expandido moldado ou extrudido, as lãs minerais, o poliisocianurato (PIR) e o aglomerado negro de cortiça expandida. Todos apresentam baixa condutibilidade térmica.

Para a optimização da envolvente deve ainda proceder-se preferencialmente à colocação de isolamento térmico pelo exterior dos elementos opacos, pois desta forma melhora a inércia térmica, tratar cuidadosamente as pontes térmicas e ainda utilizar materiais de revestimento especialmente das coberturas que aumentem a reflexão dos raios solares (Rocheta e Farinha, 2007).

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. Este fenómeno aumenta o consumo de energia para aquecimento e pode causar danos na envolvente do edifício, reduzindo a sua durabilidade. Estas zonas que, por não estarem isoladas termicamente, têm uma resistência térmica inferior à da restante envolvente, representam uma descontinuidade onde se poderá verificar a ocorrência de patologias com origem em fenómenos de condensação.

O isolamento térmico só é completamente eficiente se cobrir totalmente a superfície a ser isolada. As descontinuidades do isolamento devem ser evitadas, pois são pontos preferenciais de transferência de calor entre o ambiente interior e o exterior (Figura 3.8).



Figura 3.8 - Tratamento das pontes térmicas recorrendo a forras de tijolo furado (fotos do Autor).

### 3.2.4 Inércia Térmica

A inércia térmica de um edifício tem um elevado impacto na transferência de calor com o ambiente interior. Um edifício caracterizado por uma massa térmica importante aquece lentamente, o que permite atenuar o sobreaquecimento provocado pela radiação solar através dos envidraçados. De facto, a superfície interior da envolvente exterior acumula a radiação directa e restitui-a lentamente no ambiente interior, nas horas seguintes. Deste modo, uma elevada inércia térmica limita os picos da necessidade de arrefecimento (Figura 3.9) - (AAVV, 2008a).

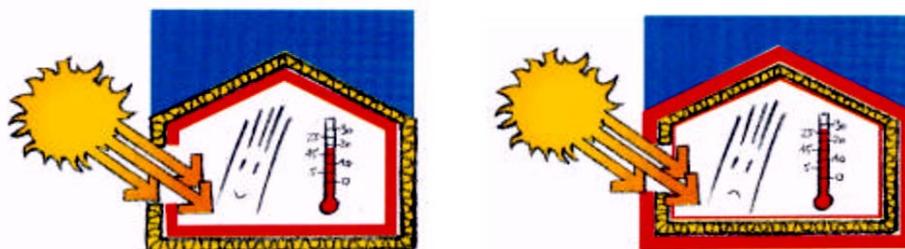


Figura 3.9 - Influência da inércia térmica no conforto de verão (adaptado de AAVV, 2002).

### 3.2.5 Dispositivos de sombreamento

Sem uma protecção adequada, no Verão, a radiação solar atravessa as superfícies transparentes do edifício (portas e janelas) causando um ganho de energia imediato que terá de ser removido através de um sistema de arrefecimento (Figura 3.10).

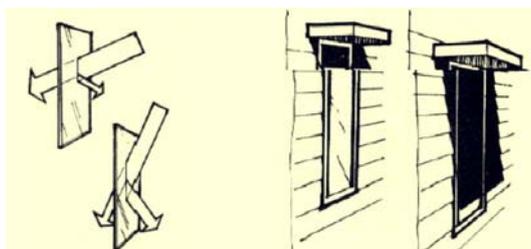


Figura 3.10 - À esquerda, influência do ângulo de incidência da radiação na sua penetração. Inverno (em cima) e Verão (em baixo) e à direita, exemplo de palas fixas numa situação de Inverno (à esquerda) e numa situação de Verão (à direita) - (Lanham, Gama e Braz, 2004).

Adicionalmente poderão ser utilizadas estruturas com plantas de folha caduca que promovem sombreamento no Verão e transparência no Inverno e árvores que funcionam como sombreamento e ainda promovem o arrefecimento da área através da sua transpiração (Figura 3.11).



Figura 3.11 - À esquerda, exemplo de sombreamento com uma árvore de folha de caduca no Inverno e no Verão e à direita, exemplo de sombreamento com uma trepadeira (Adaptado de Lanham, Gama e Braz, 2004).

Ao considerarmos o dispositivo de sombreamento a colocar, é necessário decidir se são exteriores ou interiores. O sombreamento exterior é mais eficiente na redução dos ganhos solares, pois os raios solares são interceptados antes de atingirem os envidraçados (Figura 3.12), mas estes dispositivos são normalmente mais dispendiosos na instalação e manutenção. Por outro lado, os dispositivos interiores são mais económicos e fáceis de ajustar a qualquer situação, protegendo melhor os ocupantes do encadeamento e brilho excessivo (Silva, 2006).

As protecções exteriores constituem uma barreira mais eficaz à entrada de radiação, dado que as interiores acumulam calor que depois não regressa ao exterior (Rodrigues, 2007).

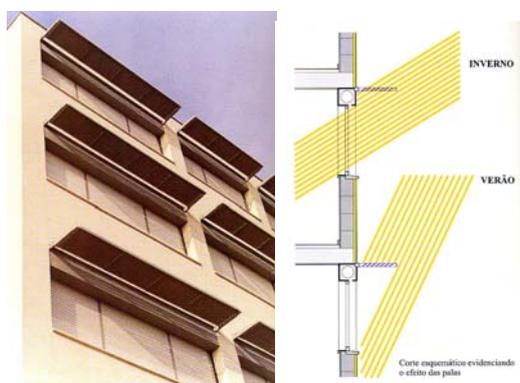


Figura 3.12 – À esquerda, pormenor da fachada Sul e à direita, efeito das palas (Gonçalves; Cabrito; Oliveira; Patrício, 1997).

O impacto da radiação solar poderá ser reduzido fazendo uso de diferentes dispositivos de sombreamento (AVV, 2002; AAVV, 2008a): estruturas de sombreamento verticais (orientações Este e Oeste); estruturas de sombreamento e horizontais (orientações a Sul); estores exteriores fixos ou ajustáveis; toldos exteriores ou cortinas internas e uso de vidros especiais (Figura 3.13)

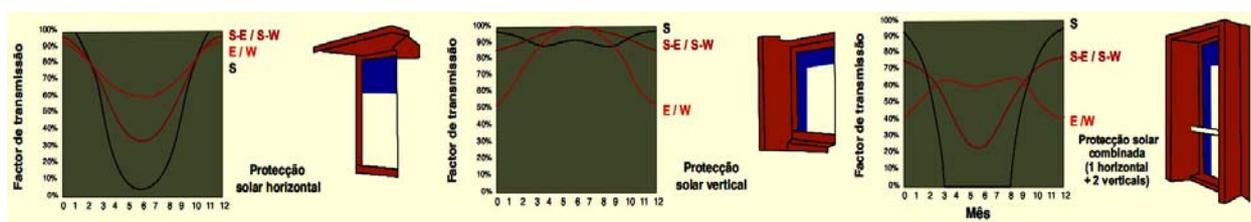


Figura 3.13 - Eficiência dos dispositivos de sombreamento vertical e horizontal (adaptado de AAVV, 2008a).

### 3.2.6 Iluminação natural

A iluminação natural é um dos pontos chave para obtenção de sensação de bem estar no interior das edificações, além contribuir para a eficiência energética, através da redução do consumo de energia eléctrica. Uma iluminação natural eficaz compreende a adopção das práticas de projecto descritas na tabela seguinte:

Tabela 3.1 - Práticas de projecto para a optimização da iluminação natural (adaptado de Rocheta e Farinha, 2007).

- Estudar a localização do edifício, a forma e orientação e a localização dos vãos e restantes entradas de luz natural
- Adequar a relação entre a altura da janela e o pé-direito do compartimento e igualmente a distância da mesma à parede oposta
- Garantir uma distribuição de luz uniforme e adequada com uma correcta disposição das aberturas
- Iluminar as zonas mais afastadas da entrada de luz, com utilização de superfícies interiores com graus de reflexão mais elevados
- Evitar a projecção de luz solar directa sobre secretárias e computadores
- Integrar a luz natural com os outros sistemas do edifício, tais como a ventilação natural, os sistemas solares passivos e os sistemas de iluminação artificial
- Atender a que a radiação solar ganha no Inverno, também contribui para o sobreaquecimento no Verão
- Promover a entrada de luz pela cobertura, feita não só através de lanternins e clarabóias como também de tubos solares
- Tirar partido da forma do tecto (tectos côncavos concentram a luz e tectos convexos permitem a difusão da luz)
- Colocar superfícies horizontais acima da visão humana, permitindo a reflexão da luz em direcção ao tecto por forma a propagá-la mais eficientemente pelo compartimento

### 3.3 Estratégias de aquecimento passivo (Conforto de Inverno)

As estratégias de aquecimento a adoptar no design solar passivo são (Vieira, 2008; AAVV, 2008c): orientar as zonas mais utilizadas durante o dia, para a direcção com maior exposição solar (Sul no Hemisfério Norte e Norte no Hemisfério Sul); colocar as fachadas

envidraçadas orientadas para a direcção referida; aplicar correctamente as formas de protecção solar dos vãos envidraçados de forma a permitir a entrada da radiação solar no Inverno mas que a impeçam no Verão, por evitar o sobreaquecimento dos espaços; uso apropriado da inércia térmica para armazenamento do calor; disposição adequada dos compartimentos em função das necessidades de aquecimento e escolha adequado das caixilharias e do vidro a utilizar nas mesmas.

Para tal, podem utilizar-se sistemas ou elementos construtivos em edifícios, capazes de acumular a energia solar, promovendo o aquecimento passivo (Figura 3.14). Estes Sistemas podem ser classificados como Sistemas de Ganho Directo, Sistemas de Ganho Indirecto (ou Desfasado) e em Sistemas de Ganho Separado (ou Isolado).

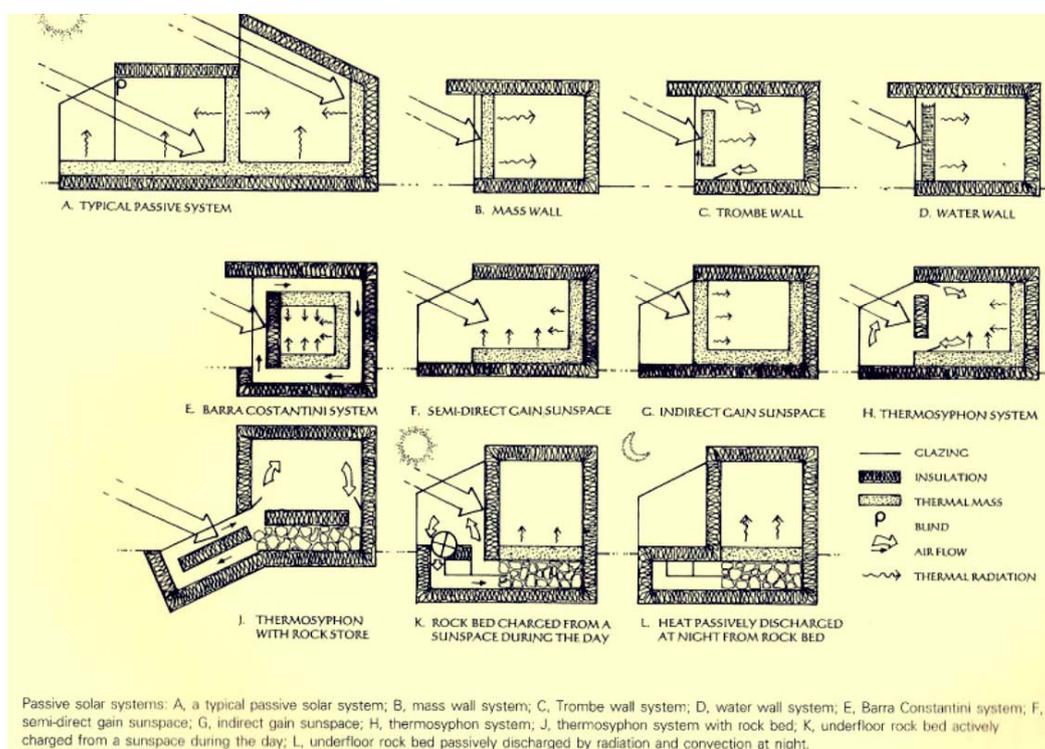


Figura 3.14 - Sistemas Solares Passivos em Edifícios (Citado por Simões, 2009).

O Ganho Directo de aquecimento ocorre através dos envidraçados dos edifícios estando este dependente da dimensão destes e da exposição solar. O Ganho Indirecto consegue-se através da captação da radiação solar por parte de uma massa térmica que actua como elemento acumulador de calor - o calor é cedido ao interior de forma controlada retardando e amortecendo as oscilações das temperaturas interiores. O Ganho Separado tem esta denominação pelo facto dos ganhos solares se darem normalmente em zonas anexas à área habitável.

Na tabela 3.2, apresentam-se as principais práticas de projecto que podem ser adoptadas de forma a tirar o maior partido dos sistemas passivos de aquecimento.

Tabela 3.2 - Práticas de projecto de sistemas passivos de aquecimento (adaptado de Rocheta e Farinha, 2007).

Ganho Directo	- Orientação das janelas preferencialmente a Sul
	- Adopção de vidros duplos e de protecções exteriores para controlo da transferência do calor do interior para o exterior
	- Utilização de cores claras nas superfícies verticais interiores e de cores escuras nos pavimentos
	- Utilização de lanternins e de clarabóias, para obtenção de ganhos térmicos através da cobertura
Ganho Indirecto	- Utilização de paredes de Trombe
	- Adopção de paredes de água
	- Uso de pavimentos de armazenamento térmico
Ganho Separado	- Utilização de Sistemas de Termosifão
	- Utilização de estufas

### 3.3.1 Sistemas de Ganho Directo

São os sistemas mais simples e vulgarmente utilizados, consistem na captação da radiação solar para o espaço interior de um edifício a aquecer, através de vãos envidraçados bem orientados. As massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos), absorvem e armazenam, durante o período diurno, o calor que resultou da incidência da radiação solar e que durante o período nocturno, devolvem-no ao interior do edifício (Figura 3.15). Um sistema de ganho directo, só e no entanto coerente quando dele fazem parte integrante o isolamento térmico nocturno pelo lado exterior do vão (portadas, estores), os sombreadores de uso sazonal e os mecanismos de ventilação, sem os quais não poderá ser garantido o controle sobre o seu balanço térmico.

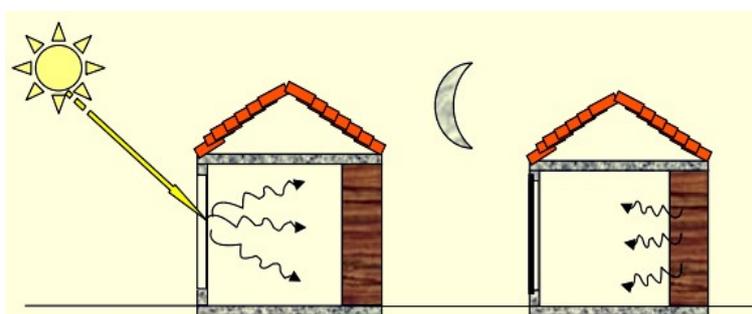


Figura 3.15 - Sistema solar passivo de ganho directo com armazenamento térmico (Adaptado de Silva, 2006).

### 3.3.2 Sistemas de Ganho Indirecto ou Desfasado

A captação de energia directa tem como principal inconveniente a dependência absoluta das horas do sol, pelo que houve necessidade de criar um sistema acumulador de energia.

Nos sistemas de ganho indirecto a radiação solar não atinge directamente o compartimento, a massa térmica dos sistemas é interposta entre a superfície de ganho e o espaço a aquecer num espaço intermédio. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente, sendo posteriormente transferida para o espaço. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação (ou não) do ar que for adoptada. São exemplos, entre outros, as Paredes Massivas, as Paredes de Trombe e as Colunas de água.

### **Parede Massiva de Armazenamento Térmico**

Consiste na colocação de um vidro duplo do lado exterior, numa parede maciça, que pode ser pintada a negro no lado exterior, permitindo um espaço compreendido entre estes dois elementos. Poderão também existir aberturas na parte superior e inferior da parede permitindo a circulação de calor, por convecção, entre o espaço compreendido entre o vidro e a parede e o espaço a aquecer. Estas aberturas também permitem uma maior rapidez de aquecimento dos espaços adjacentes a estas paredes.

### **Parede de Trombe**

Este sistema é semelhante à parede massiva de armazenamento, mas quando ventilada designa-se por Parede de Trombe. Esta ventilação faz-se por meio de aberturas que permitem a entrada de ar quente e que este circule e aqueça o compartimento por convecção natural. Esta deve incluir dispositivos de sombreamento de modo a desactivar o sistema, proporcionar o controle das temperaturas interiores, evitando situações extremas de aquecimento (Figura 3.16).

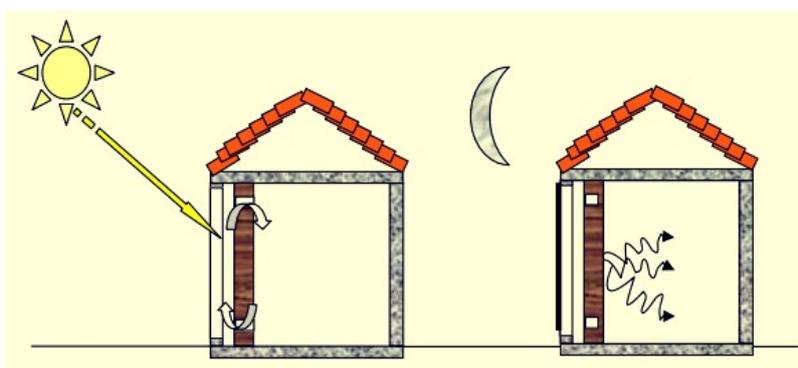


Figura 3.16 - Parede de Trombe - Sistema solar passivo de ganho indirecto (Adaptado de Silva, 2006).

Na Figura 3.17, apresenta-se um exemplo da aplicação destas paredes na “Casa Schäfer”.

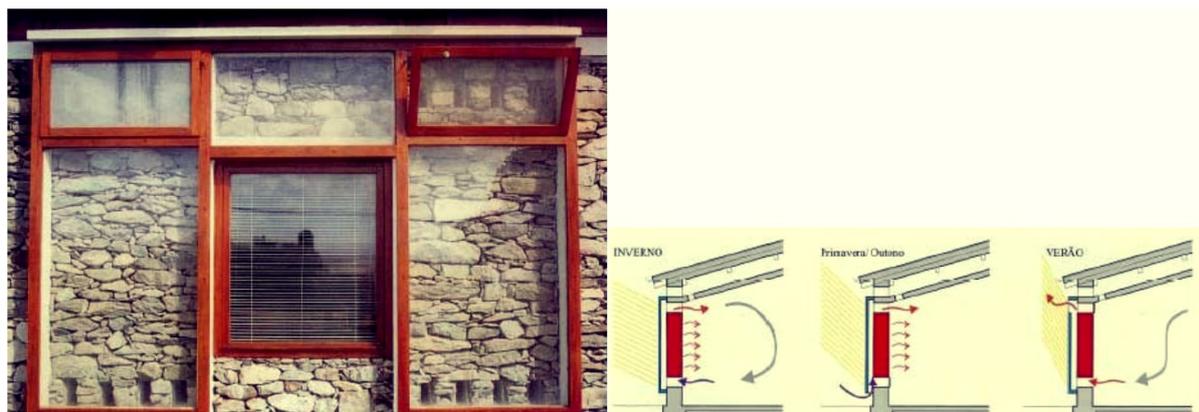


Figura 3.17 - “Casa Schäfer”, Porto Santo: fotografia do aspecto exterior da parede de Trombe e esquema do seu funcionamento consoante as estações do ano (Adaptado Lanham, Gama e Braz, 2004).

### Paredes e Colunas de Água

Neste sistema é a água, ou outro líquido, que desempenha a função de armazenamento. A radiação solar ao incidir sobre a água origina calor que será transmitido por radiação e convecção, para o espaço que se pretende aquecer.

Na Figura 3.18, referente à Casa Termicamente Optimizada, construída no Porto no Campus do Ex-INETI, as colunas de água, constituídas por cilindros de fibra de vidro pintados de escuro e cheios de água, estão posicionados atrás dos vidros, armazenando a energia resultante da incidência directa do sol durante o dia e libertando a mesma de noite.

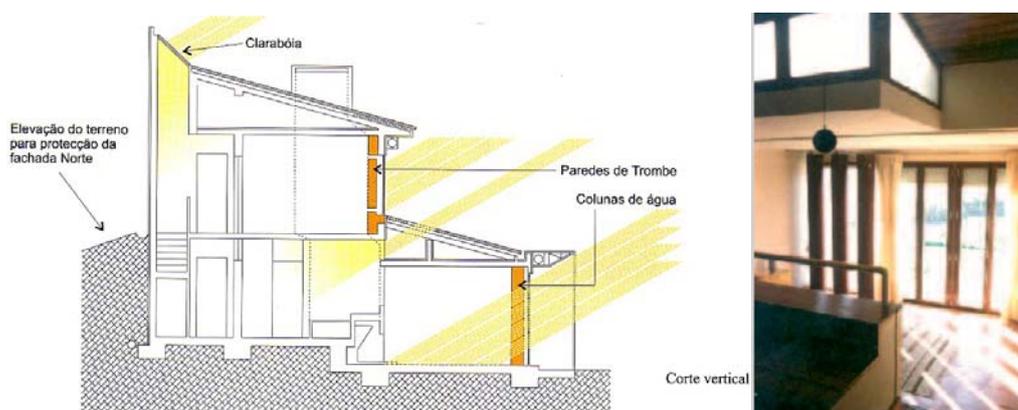


Figura 3.18 – À esquerda, corte vertical da Casa Termicamente Optimizada (CTO) - (Gonçalves; Cabrito; Oliveira; Patrício, 1997) e à direita, fotografia das colunas de água na CTO (Gonçalves; Graça, 2004).

### 3.3.3 Sistemas de Ganho Isolado

Nos sistemas de ganho isolado (ou Separado), a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que operam independentemente do edifício. Os espaços estufa são exemplos deste sistema e

utilizam a combinação dos efeitos de ganho directo e indirecto. A energia solar é transmitida ao espaço adjacente à estufa por condução através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitam a circulação de ar (Gonçalves e Graça, 2004).

Os colectores a ar, são um outro exemplo de sistemas de Ganho Isolado. Funcionam em termosifão e são compostos por uma superfície de vidro e permitem ventilar os espaços interiores adjacentes ao longo de todo o ano. No Inverno o ar é aquecido ao entrar na caixa de ar, é aquecido e posteriormente insuflado no espaço adjacente permitindo assim, a renovação sem perdas de calor (Figura 3.19)

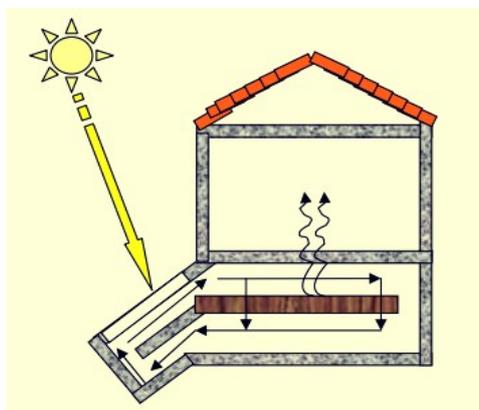


Figura 3.19 - Termosifão - Sistema solar passivo de ganho isolado (Adaptado de Silva, 2006).

### 3.4 Estratégias de arrefecimento passivo (Conforto de Verão)

As técnicas de arrefecimento passivo são amigas do ambiente e têm vindo a ser desenvolvidas desde os métodos mais antigos utilizados na arquitectura vernacular até aos mais sofisticados meios modernos. Apesar de algumas das técnicas a seguir apresentadas poderem apenas ser aplicadas eficientemente nos edifícios na fase de projecto, muitas intervenções que tenham como objectivo reduzir as necessidades de arrefecimento no Verão podem ser implementadas em edifícios já existentes com custos aceitáveis.

As estratégias de arrefecimento a adoptar no design solar passivo, por forma a combinar o impedimento de ganhos de calor com a dissipação do mesmo, são (Vieira, 2008; AAVV (2008)): adopção de adequada orientação por forma a aproveitar as correntes de ar fresco; aumentar a ventilação natural do edifício, removendo as barreiras ao movimento do ar; estudar e prever a utilização de meios artificiais de ventilação, tais como ventiladores, para o caso de ausência de correntes de ar; planeamento cuidadoso da localização dos compartimentos,

permitindo condições de conforto diurnas e nocturnas; protecção solar adequada (nas janelas, paredes e cobertura, utilizando barreiras artificiais ou naturais); uso adequado da inércia térmica, recomendando-se materiais pesados em zonas climáticas com grandes amplitudes térmicas e matérias mais leves para zonas amplitudes térmicas mais baixas e a utilização de cores claras de forma a minimizar a absorção da radiação solar (inclusive reflexão solar do meio-ambiente, por exemplo, através da criação de espaços verdes) (Figura 3.20).

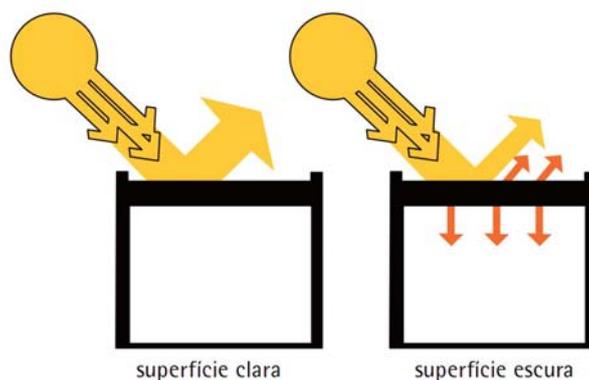


Figura 3.20 - Influência da cor do revestimento no impacto térmico da radiação solar (AAVV, 2008a).

Podemos assim dividir as técnicas de arrefecimento passivo em dois grandes grupos: as que limitam as cargas térmicas (cargas solares, cargas internas, etc.) e as que contribuem para a remoção das cargas térmicas para outros ambientes: água, ar, solo, etc.

Os sistemas solares passivos de arrefecimento podem classificar-se, tal como os de aquecimento, em Sistemas Directos, Sistemas Indirectos e Sistemas Separados. As práticas de projecto a adoptar são apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 3.3 - Práticas de projecto de sistemas passivos de arrefecimento (adaptado de Rocheta; Farinha, 2007).

Ganho Directo	- Limitação das aberturas a Oeste e Este (sujeitas a intensa radiação no Verão)
	- Promoção da ventilação natural e utilização de chaminés solares, aspiradores estáticos e torres de vento
	- Desenho de edifícios com Factor de Forma baixo (minimização da superfície exterior)
	- Introdução de elementos de elevada Inércia Térmica e acabamentos de cor clara
	- Colocação de elementos de sombreamento exterior e de palas de protecção
	- Utilização de sistemas de arrefecimento evaporativo
Ganho Indirecto	- Utilização da refrigeração por radiação nocturna
	- Implementação do arrefecimento por ventilação nocturna
Ganho Separado	- Utilização de Sistemas de Termosifão

### 3.4.1 Ventilação Natural

A circulação de ar contribui para a diminuição da temperatura interior e ainda para a remoção do calor sensível armazenado na massa térmica. Tem também implicações em termos de conforto térmico, ao incentivar perdas de calor por convecção e evaporação nos ocupantes.

A ventilação natural, dá-se através do movimento do ar entre a edificação e o exterior para o qual a implantação das edificações tem grande influência na promoção ou diminuição da ventilação, devendo, para a eficácia da ventilação ser considerada na implantação da edificação os elementos que representem obstruções externas ao fluxo do vento, como muros, cercas, vegetação (Figura 3.21).

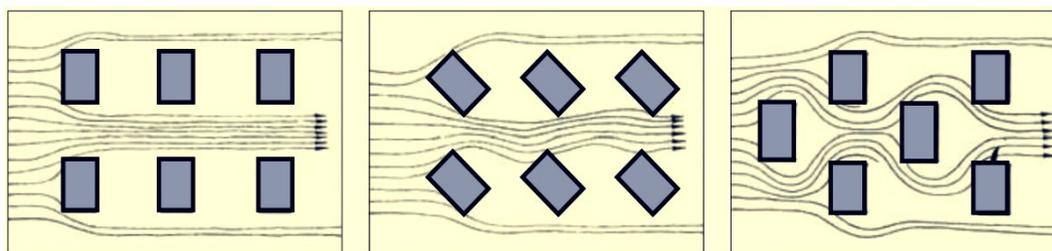


Figura 3.21 - Fluxo dos ventos com edificações dispostas de forma linear, a 45° da direcção do vento e de maneira intercalada. (OLGYAY, 1968, p. 99) (adaptado de Lamberts, 2007).

A ventilação natural depende igualmente da geometria do edifício, do posicionamento das janelas e da velocidade e ângulo de incidência do vento, já que o vento provoca uma pressão positiva sobre a face incidente na edificação (barlavento), e uma pressão negativa na face da sotavento (Figura 3.22) - (Lamberts, 2007).

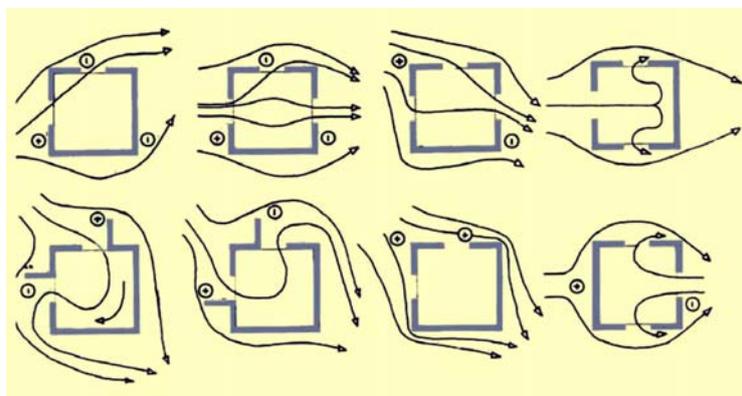


Figura 3.22 - Pressões positivas (+) e negativas (-) ao redor de diferentes configurações de edificações (adaptado de Lamberts, Triana 2007).

Existem diversas estratégias de aplicação da ventilação natural ao projecto, que podem ser utilizadas isoladamente ou combinadas (Figura 3.23).

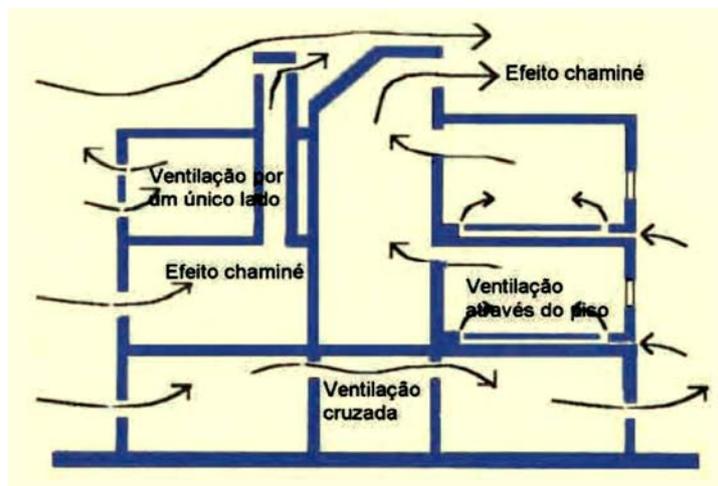


Figura 3.23 - Várias estratégias de ventilação natural numa mesma edificação (adaptado de Lamberts, 2007).

### Ventilação de conforto diurna

No Verão, a ventilação é uma das formas mais simples de garantir o conforto térmico dos ocupantes de um edifício. Existem duas estratégias possíveis: a primeira, que tem um impacto imediato no bem estar dos ocupantes, consiste em movimentar o ar no interior do edifício por agitação, com ventoinhas (de tecto, ou outras) ou então pela circulação de ar, eventualmente com a ajuda do ar exterior (correntes de ar), desde que não esteja mais quente que o ar interior. A *Ventilação Cruzada* ocorre quando o ar entra na edificação por um lado, passa pelo espaço interno e sai por outro lado (Figura 3.24).

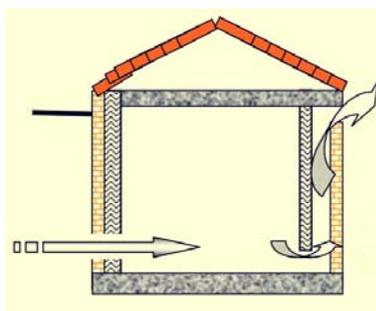


Figura 3.24 - Sistema de Ventilação Cruzada (adaptado de Silva, 2006).

Em ambos os casos, o objectivo pode ser atingido de forma mecânica ou de forma natural com correntes de ar. Para tal, torna-se necessário dispor de divisões com dupla orientação (pelo menos duas paredes exteriores e com direcções opostas) ou de paredes com aberturas para espaços pouco ruidosos para permitir aberturas de tomada de ar (Figura 3.25) - (AAVV, 2002; AAVV, 2008a).

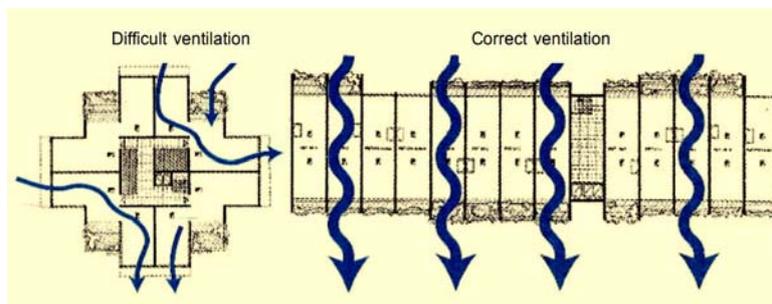


Figura 3.25 - A ventilação natural depende da configuração do edifício. Os locais que disponham de pelo menos duas aberturas exteriores, em fachadas opostas, permitem uma boa ventilação (adaptado de AAVV, 2002).

Em compartimentos com apenas uma parede exterior, também é possível aplicar a ventilação natural. Tal é conseguido com recurso à colocação de duas janelas na mesma fachada e utilização dos gradientes de pressão criados. De forma a potenciar os gradientes de pressão, são necessárias algumas modificações de design, como a integração das chamadas “Paredes-asa”, que são pequenas projecções arquitectónicas, em relação ao compartimento (Figura 3.26) - (Silva, 2006).

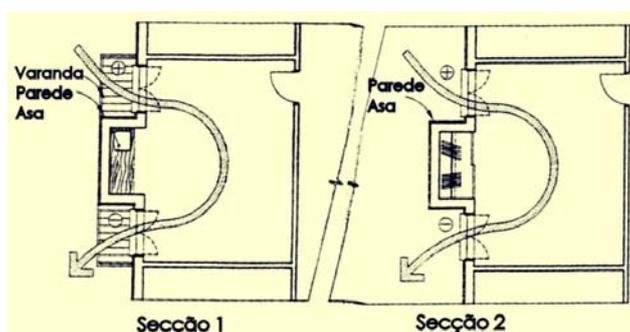


Figura 3.26 - Configurações de paredes-asa (adaptado de Silva, 2006).

### **Ventilação de conforto nocturna**

Este sistema utiliza o ar frio nocturno para arrefecer a massa térmica interior. A massa térmica absorve os ganhos de calor durante o dia. De forma a reduzir os ganhos de calor, os envidraçados devem estar fechados durante o dia. Muitas vezes utilizam-se ventiladores de tecto para aumentar as trocas de calor entre os ocupantes e a massa térmica. Neste sistema, quanto menor for a temperatura nocturna, mais eficiente é o sistema (Silva, 2006).

### **Ventilação por baixo da edificação**

Estratégia usada pelas construções em “*pilotis*”, que são os sistemas construtivos baseados na sustentação de uma edificação através de uma grelha de pilares (ou colunas) no pavimento térreo.

### **Ventilação pela cobertura**

As saídas de ar podem estar junto a cumeeira ou ventilação através do forro por meio de câmara de ar ventilada.

### **Ventilação através de espaços intermediários (pátios)**

Estratégia usada geralmente para climas quentes e secos, que poderia estender-se para outras regiões climáticas, através da qual se permite, maior circulação do ar por meio de espaços intermediários associados a corredores e quartos que permitam uma circulação cruzada nos ambientes, o que pode ser alcançado por meio de venezianas associadas às portas internas dos ambientes (Lamberts, 2007).

### **Fachada dupla ventilada**

Actuam como zonas de transição entre o exterior e o interior, já que reduzem a perda de calor no Inverno e o ganho de calor no Verão por não ter-se uma radiação directa no ambiente. Quando se combina ventilação do espaço entre as duas fachadas, melhora o seu desempenho. A fachada dupla pode consistir também numa fachada verde por meio de pergolado vertical com vegetação.

### **Ventilação através do efeito chaminé**

A taxa de ventilação aumenta com a diferença de temperatura do ar, já que o ar interno mais quente tende a sair através de aberturas mais altas da edificação, sendo substituído por ar mais frio que entra através das aberturas mais baixas. A distância vertical entre as aberturas influi aumentando a taxa de ventilação quanto maior a distância na altura entre as aberturas. (Lamberts, 2007).

A Chaminé Solar permite extrair o ar quente dos espaços ocupados e deve terminar a uma altura superior à cobertura.

### **Ventilação com efeito chaminé balanceado**

Nesta estratégia o ar entra numa chaminé onde a temperatura está perto da externa, passa através do ambiente e sai através de outra chaminé que carrega o ar mais quente (Figura 3.27). Para climas quentes e secos pode ser colocado spray de água dentro da chaminé de entrada do ar, incorporando junto à estratégia de arrefecimento evaporativo passivo. Também através do aquecimento de uma das condutas de ventilação, aumenta-se a pressão o que resulta numa diferença de temperatura maior do que nos sistemas convencionais (Lamberts, 2007).

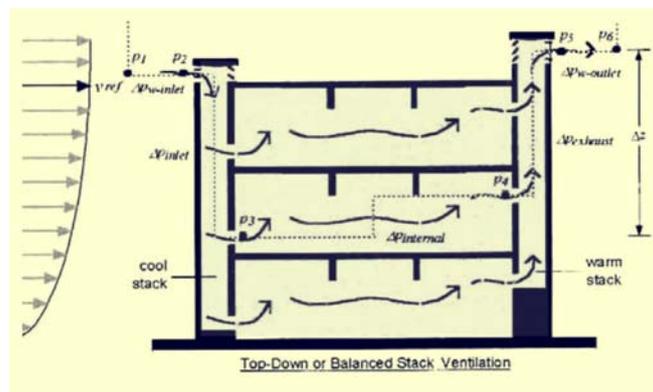


Figura 3.27 - Ventilação com efeito chaminé balanceado (adaptado de Lamberts, 2007).

### Arrefecimento pelo Solo

No Verão, o solo apresenta temperaturas inferiores à temperatura exterior, constituindo-se assim como uma importante fonte fria e podendo, neste período, intervir como uma fonte de dissipação de calor, que pode ocorrer por processos directos ou indirectos.

### Arrefecimento Evaporativo

Esta estratégia baseia-se na diminuição de temperatura associada à mudança de fase da água do estado líquido ao estado de vapor (evaporação). O ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício e se for um Sistema Directo, o processo evaporativo arrefece a temperatura do ar e aumenta a humidade. Os Sistemas Indirectos fornecem água fria, de forma a arrefecer a temperatura do ar através de um permutador de calor.

Um exemplo de um sistema deste tipo é o “roof-spaying”, onde através de um jacto de água projectado do telhado se cria uma cortina de ar frio na fachada do edifício, promovendo assim o arrefecimento (Figura 3.28).

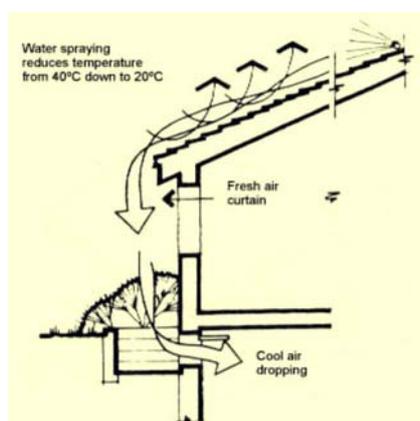


Figura 3.28 - Exemplo de um sistema “roof spraying” (Adaptado de Lanham; Gama; Braz, 2004).

### Arrefecimento Radiativo

estes sistemas removem o calor dos elementos exteriores do edifício através da troca de radiação entre estes e o céu. Um exemplo deste sistema pode ser observado na Figura 3.29 (Silva, 2006).

A emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior de um edifício poderá ser utilizada no arrefecimento do mesmo. As perdas por radiação ocorrem durante os períodos diurnos e nocturnos, tratando-se pois de um processo contínuo. É, no entanto, durante o período nocturno que os seus efeitos se fazem mais sentir em virtude da ausência de radiação solar directa.

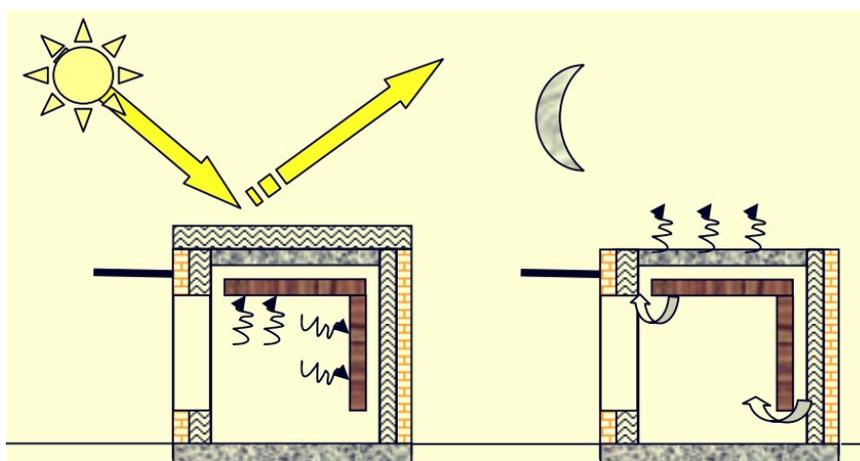


Figura 3.29 - Arrefecimento radiativo (sistema com isolamento de tecto amovível) - (adaptado de Silva, 2006).

### 3.5 Conclusões e exemplos de boas práticas (Best Practices)

Na Europa em Janeiro, no mês mais frio do ano, verifica-se que, para atingir um mínimo de condições de conforto interior torna-se necessário aumentar no mínimo mais de 10°C acima da temperatura média exterior, ou seja na prática é quase impossível atingir uma temperatura interior de conforto apenas com os ganhos solares, mas o isolamento da envolvente pode contribuir consideravelmente para a diminuição das perdas. Neste caso um meio auxiliar de aquecimento pode tornar-se necessário. Contudo antes de avançar para a introdução de meios mecânicos utilizando fontes de energia convencionais, algumas estratégias passivas e/ou de introdução de energias renováveis poderão ser equacionadas.

Por outro lado (Figura 3.30), verifica-se que em Agosto, no mês mais quente do Verão, em grande parte da Europa se registam temperaturas medias exteriores próximas do intervalo de conforto interior (25-26°C), tornando-se neste caso perfeitamente possível projectar e

construir habitações que na ausência de excessivas cargas internas, possam ser naturalmente confortáveis durante todo o verão. Nos casos em que nas regiões do sul da Europa as temperaturas médias exteriores estão muito próximas ou acima das temperaturas de conforto interior ( $>23^{\circ}\text{C}$ ), para se evitar o sobreaquecimento dos espaços, quando as temperaturas interiores são muito superiores às médias exteriores, nestes casos torna-se necessário aplicar tecnologias de arrefecimento passivo tais como *arrefecimento radiativo*, *arrefecimento evaporativo ou tubos enterrados*. Ainda nestes casos, limitar os ganhos solares e aplicar um adequado isolamento na envolvente, pode oferecer um apreciável contributo à estratégia de arrefecimento e à redução das cargas térmicas, contribuindo assim para diminuir as necessidades de consumo energético para arrefecimento (TAREB, 2009).

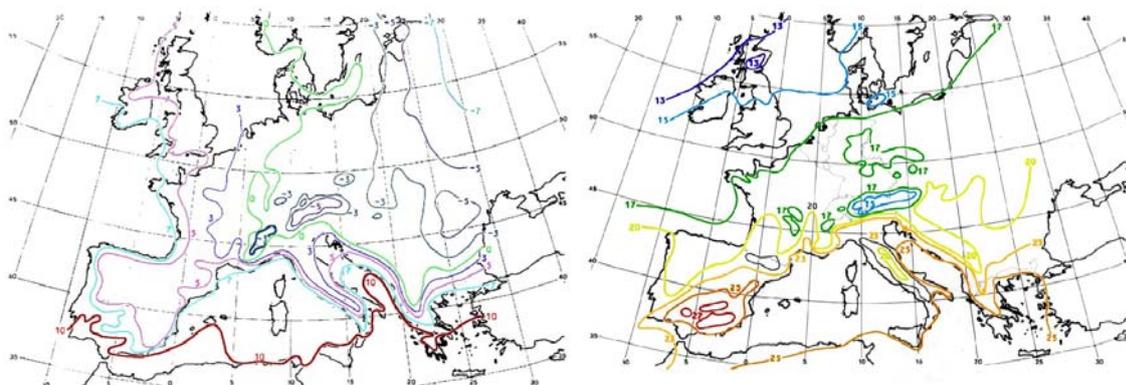


Figura 3.30 - Temperaturas médias na Europa: à esquerda, em Janeiro e à direita, em Agosto (adaptado de TAREB, 2009).

Em Portugal, a construção de edifícios com características específicas de aproveitamento das condições climáticas (Arquitetura Bioclimática) ou edifícios que utilizem os denominados sistemas solares passivos (Edifícios Solares Passivos) é relativamente recente. Os primeiros exemplos surgem durante a década de 80 por iniciativa de alguns arquitectos que assumidamente integraram essa perspectiva no projecto.

Os primeiros projectos, tiveram sobretudo uma preocupação de integrar a perspectiva do “aquecimento solar”, sendo que se verifica em alguns dos projectos mais recentes, a preocupação do “arrefecimento passivo” (Gonçalves; Cabrito, 2004).

Na Figura 3.31, apresentam-se alguns exemplos de edifícios comumente apresentados na literatura como sendo exemplos de boas práticas na aplicação destes conceitos. Para saber mais sobre estes e outros recomenda-se a leitura do livro “*Edifícios Solares Passivos em Portugal*” (Gonçalves; Cabrito; Oliveira; Patrício, 1997).



Figura 3.31 - Edifícios Solares Passivos Residenciais em Portugal (Ga - Área de envidraçados; Fa - Área da sala; Fas - Área da estufa) - (Gonçalves, Oliveira, Patricio e Cabrito).

## 4. INTEGRAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM EDIFÍCIOS

### 4.1 Energias Renováveis

Em termos de formas de energia existem três fundamentais, a *energia calorífica*, a *energia mecânica* e a *energia eléctrica* (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Três formas fundamentais de energia (AAVV, 2004a).

São fontes de Energias não renováveis, *o petróleo, o carvão mineral, o gás natural, o urânio e o plutónio*. As fontes de energias renováveis também designadas por alternativas, incluem *a energia solar térmica, a energia solar fotovoltaica, a energia eólica, a bioenergia, a biomassa sólida, o biocombustível líquido, o biogás, a energia hídrica, a energia geotérmica, a energia hídrica e a energia dos oceanos* (ondas, marés, correntes e gradiente de temperatura) e *a energia do hidrogénio*.

A integração de energias renováveis nos edifícios permite captar energia de fontes renováveis, como o Sol ou o vento, para a produção de electricidade, de calor ou frio, reduzindo assim as necessidades de energia da rede eléctrica. A utilização da energia de fontes renováveis, como o Sol e a energia da biomassa, são formas para as quais Portugal dispõe de recursos de grande abundância

No sistema solar térmico, a energia do Sol pode ser convertida para aquecimento de águas sanitárias e aquecimento e arrefecimento ambiente e no sistema solar fotovoltaico a energia do Sol pode ser convertida em electricidade para uso doméstico ou venda à “rede”. No sistema de mini-turbinas eólicas, a energia do vento pode ser convertida em electricidade.

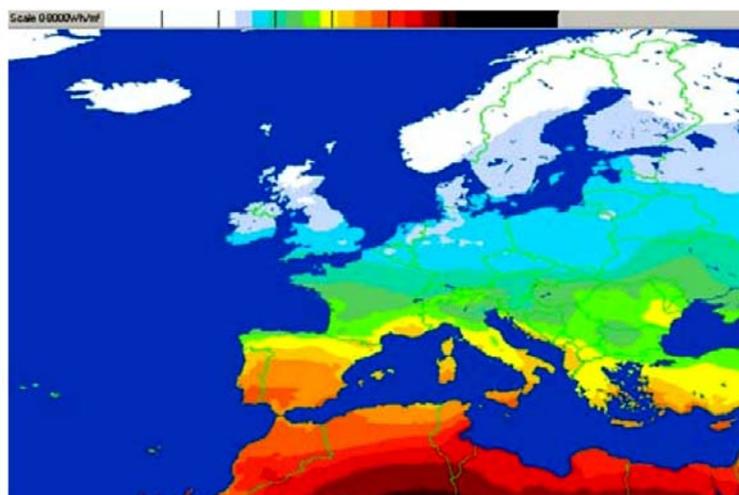
A energia da terra pode igualmente ser convertida para aquecimento de águas sanitárias e aquecimento ambiente através do sistema de geotermia.

## 4.2 Energia Solar Térmica Activa

É preciso começar por esclarecer que todas as formas de energia se podem converter entre si e, portanto, a energia da radiação solar pode transformar-se, mais ou menos directamente e com melhor ou pior rendimento, em calor (energia térmica), e electricidade (energia eléctrica). Por sua vez, qualquer destas duas formas de energia pode converter-se em movimento (energia mecânica).

Porque a atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozono, vapor de água, oxigénio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição), apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre, correspondendo à irradiância disponível. A radiação solar divide-se em três componentes: *a directa*, que chega directamente do disco solar; *a difusa*, que provém dos processos de difusão da luz na atmosfera e *a reflectida*, proveniente da reflexão na crosta terrestre e em objectos circundantes

O nível de irradiância na Terra atinge um total aproximado de 1 000 W/m<sup>2</sup> ao meio-dia, em boas condições climatéricas, independentemente da localização. Ao adicionar a quantidade total da radiação solar que incide na superfície terrestre durante o período de um ano, obtém-se a irradiação global anual, medida em kWh/m<sup>2</sup>. Este parâmetro varia de um modo significativo com as regiões, como se pode observar na Figura 4.2 (AAVV, 2004b)



Fonte: Atlas Europeu de Radiação Solar - referência Scharmer, K and J. Greif, Eds (2000)

Figura 4.2 – Distribuição global da irradiação solar em Wh/m<sup>2</sup> (AAVV, 2004b)

A irradiação solar, em algumas regiões situadas perto do Equador, excede 2 300 kWh/m<sup>2</sup> por ano, enquanto que no sul da Europa não deverá exceder os 1 900 kWh/m<sup>2</sup>. Em Portugal, este valor poderá situar-se entre os 1 300 kWh/m<sup>2</sup> e os 1 800 kWh/m<sup>2</sup>. São notáveis as diferenças

azonais existentes por toda a Europa, quando se observa a relação entre a radiação solar para os períodos de Verão e de Inverno (tabela 4.1) (AAVV, 2004b).

Tabela 4.1 - Média mensal (1966-1975) de radiação global diária (adaptado de AAVV, 2004b).

Dados: Palz, W., Greif, J., European Solar Radiation Atlas, Springer, Berlim 1996									
Irradiação em kWh/m <sup>2</sup> d)	Bergen	Estocolmo	Berlim	Londres	Viena	Nice	Roma	Lisboa	Atenas
Latitude	60°24'N	59°21'N	52°28'N	51°31'N	48°15'N	43°39'N	41°48'N	38°43'N	37°58'N
Jan.	0,2	0,32	0,61	0,56	0,76	1,72	1,70	1,99	1,75
Fev.	0,72	0,95	1,14	1,10	1,42	2,46	2,54	2,96	2,62
Mar.	1,71	2,24	2,44	2,07	2,64	3,91	3,78	4,28	3,82
Abr.	3,27	3,68	3,49	3,04	3,95	5,36	4,99	5,50	5,15
Mai.	4,13	5,29	4,77	4,12	5,10	6,10	6,03	6,67	6,41
Jun.	4,85	6,58	5,44	4,99	5,33	6,79	6,59	7,18	6,84
Jul.	4,15	5,59	5,26	4,38	5,44	7,13	6,86	7,54	6,88
Ago.	3,49	4,52	4,58	3,62	4,52	5,92	6,16	6,96	6,18
Set.	1,86	2,70	3,05	2,71	3,30	4,59	4,69	5,22	4,86
Out.	0,94	1,24	1,59	1,56	2,05	3,27	3,29	3,70	3,38
Nov.	0,30	0,46	0,76	0,81	1,01	1,99	2,02	2,51	2,33
Dez.	0,12	0,23	0,45	0,47	0,69	1,65	1,51	2,15	1,69
Média	2,15	2,83	2,81	2,46	3,03	4,25	4,19	4,73	4,33

A integração dos sistemas de aproveitamento da energia solar nos edifícios pode ser feita de duas formas distintas: a *forma passiva* e a *forma activa*.

A forma de aproveitamento passiva consiste no aproveitamento da energia para aquecimento de edifícios, através da concepção cuidada e de técnicas de construção inovadoras. Em qualquer edifício habitacional, de escritórios ou industrial, podem ser aplicadas soluções de eficiência energética, nomeadamente medidas solares passivas, de forma a maximizar este tipo de aproveitamento energético.

A arquitectura solar passiva resulta da análise de um conjunto de conceitos e princípios que caracterizam a envolvente local dos edifícios e a sua interacção com o próprio edifício, para que seja possível a concepção de um edifício com uma temperatura interior confortável. Nesse sentido, a atenção recai em aproveitar os ganhos solares no Inverno, minimizando também as suas perdas para o exterior, e em restringir os ganhos excessivos de calor no Verão. Este tipo de aproveitamento de energia solar apresenta uma vantagem de grande relevo, o baixo custo de algumas soluções, em particular quando consideradas em fase de projecto do edifício. Esta forma passiva de aproveitamento de energia solar pode alcançar-se por diversos meios (Consultar o Capítulo 3).

A forma activa apresenta duas formas de transformação, a conversão térmica e a conversão eléctrica. No caso de energia solar térmica, a energia solar é captada através do recurso a colectores solares, e é utilizada, na maioria dos casos para aquecimento de águas sanitárias, existindo outras aplicações possíveis (PER, 2009):

### **Produção de Água Quente Sanitária (AQS)**

Para temperaturas inferiores a 60°C, com períodos mínimos de utilização do equipamento solar entre oito e dez meses por ano. Estas instalações dimensionam-se, normalmente, para as necessidades energéticas anuais, evitando assim excedentes energéticos nos meses de verão;

### **Aquecimento de piscinas**

Dependendo do tipo e finalidade da piscina, os valores da temperatura de utilização variam entre 25°C a 35°C, sendo possível a aplicação a piscinas de utilização anual ou sazonal (verão);

### **Aquecimento ambiente**

Do ponto de vista tecnológico é possível a utilização da energia solar para o aquecimento ambiente de forma activa dos edifícios, no entanto esta aplicação está limitada pela utilização em apenas 3 a 4 meses por ano, sendo assim economicamente menos interessante;

### **Arrefecimento do ambiente**

É possível produzir frio combinando energia solar com máquinas de absorção ou sistemas híbridos (solar-gás), que operam a temperaturas na ordem dos 80 °C (máquinas de Brometo de Lítio), ou 120°C (máquinas de Amónia/H<sub>2</sub>O), o que, combinado com o aquecimento ambiente no Inverno, tornam estas aplicações muito interessantes, quer do ponto de vista ambiental com a redução de consumo de energia primária, quer do ponto de vista económico, com a rentabilização total do sistema;

### **Produção de água a elevadas temperaturas destinada a uso industrial**

Para temperaturas superiores a 80°C e 100°C (água saturada ou vapor), com aplicações industriais directas, de pré-aquecimento de água de processo ou vapor para produção de energia eléctrica (temperaturas superiores a 450°C);

### **Outras aplicações:**

Aplicações de baixa ou intermédia temperatura, como estufas, secadores desalinizadores, secadores, destoxificadores (Ultra Violeta) e ainda cozinhas solares (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Cozinhas solares (fotos de Nuno Amaral).

Também existem sistemas solares térmicos activos que podem ser utilizados na produção de energia eléctrica. Estes sistemas produzem calor a “alta temperatura”, utilizando colectores concentradores, que são equipamentos que reflectem a radiação solar incidente para um tubo ou para um ponto, onde circula o fluido e que vai absorver a energia solar. Este fluido aquecerá até atingir uma temperatura elevada (entre centenas a milhares de graus Celsius) sendo depois encaminhado para uma turbina ou motor, produzindo movimento mecânico de rotação, o qual será convertido em energia eléctrica por um alternador (CEETA, 2009).

### 4.3 Energia Solar Fotovoltaica

Na energia solar fotovoltaica, a conversão de energia solar em electricidade ocorre em células fotovoltaicas, usualmente constituídas por silício, e outros materiais semi-condutores (Figura 4.4).

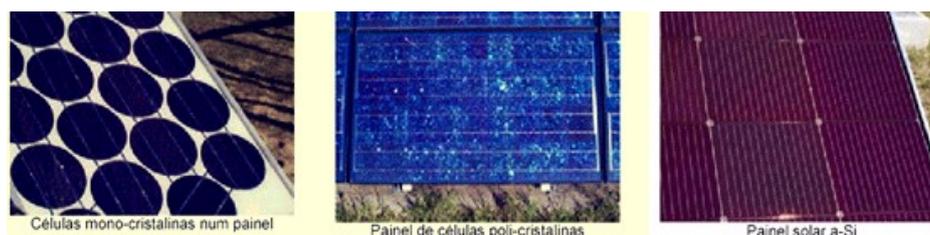


Figura 4.4 – Células fotovoltaicas (<http://www.raplus.pt/>).

O sistema é constituído essencialmente pelo colector fotovoltaico, pelo grupo acumulador para armazenamento de energia, por um controlador de carga de bateria e um inversor de corrente, pois os colectores produzem corrente contínua e a maioria dos electrodomésticos consome corrente alterna (Figura 4.5).

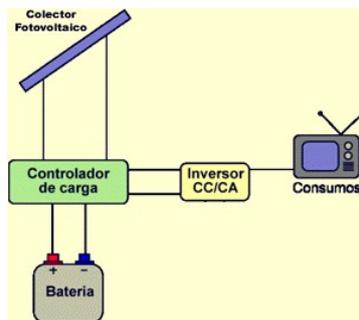


Figura 4.5 – Sistema solar fotovoltaico (<http://www.raplus.pt/>).

No caso do proprietário se conseguir inscrever como microprodutor de energia eléctrica, torna-se mais vantajoso vender a energia produzida a rede e consumir da mesma por um preço 5 vezes inferior (Figura 4.6).

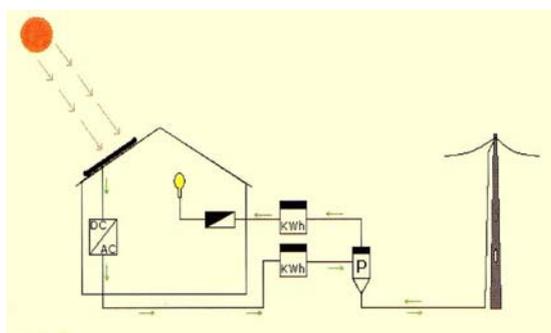


Figura 4.6 – Microgeração para venda à rede (T&T, Multimétrica).

A integração dos colectores, pode ser feita de modo a substituir os elementos construtivos quer em elementos de fachada quer em coberturas, integrando assim de forma harmoniosa a arquitectura e produzindo electricidade (Figura 4.7).



Figura 4.7 – Adição de colector em elemento de fachada (EREC).

#### 4.4 Energia da Biomassa

A energia solar é armazenada sob a forma de energia química, a partir do processo de fotossíntese. Esta energia pode depois ser convertida em outras formas de energia através de

processos de conversão directa, tal como a combustão, ou de forma indirecta como no caso da produção de biogás, que posteriormente pode dar origem a energia térmica e eléctrica (ENERGAIA, 2009).

A utilização de biomassa, é a forma mais antiga de fornecer energia à humanidade. Contudo, as fontes modernas de bioenergia, tais como as *briquetes*, *pelletes* ou *estilhas de madeira*, *troncos de madeira*, *gás* proveniente da madeira, *biogás* e *óleo vegetal* ou *biodiesel*, oferecem um elevado potencial para utilização de energias inovadoras. Estes combustíveis naturais podem ser usados em aplicações estacionárias, para fornecimento de calor e energia a habitações, edifícios públicos, na agricultura e na indústria (Figura 4.8) - (AAVV, 2004a).



Figura 4.8 - Aplicações da bioenergia (AAVV, 2004a).

As fontes de biomassa mais importantes, disponíveis no mercados são os toros, as estilhas de madeira, as pelletes de madeira e as briquetes de madeira (Figura 4.9).



Figura 4.9 - À esquerda estilhas de madeira, ao centro pelletes de madeira e à direita briquetes de madeira armazenados (AAVV, 2004a).

Os sistemas estáticos de aquecimento ambiente a biomassa mais divulgados, são as *lareiras* e as *salamandras*, que poderão, ou não, produzir igualmente águas quentes sanitárias. Nos sistemas de aquecimento central, é mais comum a utilização de caldeiras que poderão igualmente consumir gás ou gasóleo.

As lareiras podem ser abertas ou fechadas e podem ainda ter acopladas um recuperador de calor. As salamandras, de menores dimensões que as lareiras, são câmaras de queima fechadas e são normalmente metálicas (Figura 4.10).



Figura 4.10 – À esquerda, lareira aberta e à direita salamandra (<http://www.sitiodaslareiras.com>).

Uma grande vantagem das utilização das estilhas e pellets de madeira, passa pela possibilidade de introdução de um sistema de alimentação automática das caldeiras (Figura 4.11).

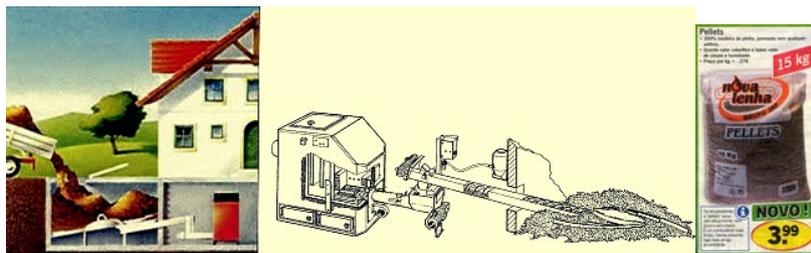


Figura 4.11 – À esquerda sistema de alimentação automática (<http://www.rapplus.pt/>) e à direita, exemplo de embalagem de pellets disponível numa superfície comercial (folheto LIDL).

O custo relativamente baixo da biomassa, torna esta fonte de energia como uma boa alternativa às energias convencionais. A solução mais eficaz passa pela combinação dum sistema de combustão de biomassa, através de recuperadores embutidos em lareiras ou de caldeiras, apoiando um sistema solar térmico (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Sistema combinado de aquecimento com pellets e solar térmico (AAVV, 2004a).

Nestes casos, o edifício será completamente aquecido com calor solar, de uma forma amiga do ambiente. Por um lado, através da radiação solar recolhida e, por outro, através da energia solar armazenada na madeira (Figura 4.13).

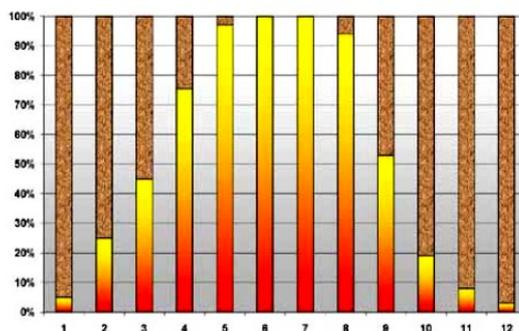


Gráfico: [www.sesolutions.de](http://www.sesolutions.de)

Figura 4.13 - Distribuição do tipo de fornecimento de calor para um ano tipo (AAVV, 2004a).

## 4.5 Energia Eólica

É possível criar energia eléctrica através da utilização de um aerogerador. Os aerogeradores mais comuns são os que têm que ser colocados no terreno, no entanto, causam perda de espaço utilizável. Para que não seja necessário abdicar de terreno na implementação de um aerogerador, têm vindo a ser desenvolvidos modelos que podem ser colocados no topo das habitações (Figura 4.14).



Figura 4.14 – À esquerda e ao centro, Gerador Eólico de eixo horizontal em ambiente urbano (INETI) e à direita, Aerogerador TURBAN de 2.5kw (Loureiro, 2009).

A velocidade do vento é muito importante para determinar a energia que pode produzir com o aerogerador. No entanto, tem havido um desenvolvimento nestes equipamentos para que consigam aproveitar velocidades baixas do vento para produzir electricidade, aumentando assim a sua capacidade de produção.

Para instalar um sistema desta natureza é necessário avaliar a disponibilidade de ventos no local, com a colocação de um anemómetro à altura a que se prevê que o aerogerador seja

instalado. Estes sistemas são desenhados para normalmente terem um período de vida de cerca de 20 anos. A energia eléctrica produzida por sistemas eólicos pode ser consumida na habitação e/ou vendida à rede eléctrica nacional.

#### 4.6 Sistemas de Energia Geotérmica

A energia geotérmica, dependendo das temperaturas disponíveis, é classificada nas seguintes três categorias:

**-alta entalpia (>150°C); média entalpia (100-150°C) e baixa entalpia (<100°C).**

A terra, possuindo uma elevada inércia, constitui um natural acumulador de calor. Se atendermos que à profundidade de 5 m a temperatura é de 15°C aproximadamente e que se mantém estável durante todo o ano, teremos então disponível uma fonte de energia que poderá ser aproveitada para a satisfação de necessidades térmicas nos edifícios, quer para a produção de água quente sanitária quer para a climatização dos espaços.

Actualmente, os sistemas geotérmicos em desenvolvimento envolvem a tecnologia de bombas de calor com aproveitamento da energia geotérmica – bombas de calor geotérmicas e a captação da energia é conseguida através de tubagens enterradas onde circula um fluido de transferência, geralmente água e um aditivo anti-congelante. Na estação fria a energia é libertada no espaço a aquecer e inversamente na estação quente, o excesso de calor do mesmo espaço é transferido para o solo (Figura 4.15) - (AAVV, 2008b).

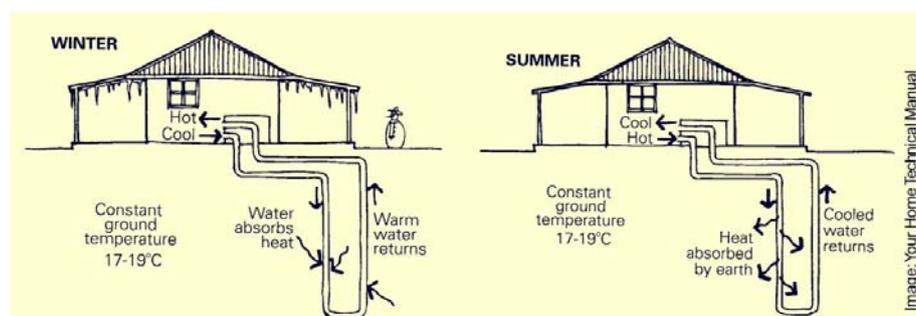


Figura 4.15 – Aproveitamento da energia geotérmica.

#### 4.7 Exemplo de boas práticas (Best Practices) - Edifício Solar XXI

O Edifício Solar XXI, pretende ser um bom exemplo da integração e aplicação de energias renováveis num edifício de serviços, bem como um exemplo de um edifício energeticamente eficiente e de baixo consumo energético.

Construído no Campus do INETI, ao paço do Lumiar, entre 2004/2005 e inaugurado em Janeiro de 2006, corresponde a um conceito de integração de Sistemas Solares Passivos e Activos, procurando eliminar a necessidade de recorrer aos tradicionais sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento para se atingirem níveis satisfatórios de conforto ambiental, tanto no Inverno, como no Verão (Figura 4.16).



**SOLAR XXI building**  
An Energy Efficient Building in Lisbon  
Campus of INETI, Lumiar

Figura 4.16 – Edifício Solar XXI – Campus do actual LNEG (Guedes, 2007).

Neste projecto, procurou-se que os sistemas utilizados não fossem meros elementos adicionados à arquitectura, mas que eles próprios integrassem o edifício, resultando assim numa lógica de conjunto (Gonçalves; Cabrito, 2004).

É um edifício com funções de serviços e laboratório com uma área total de 1500 m<sup>2</sup> dividida em 3 pisos, um dos quais enterrado na parte sul do edifício. Apresenta uma distribuição dos espaços interiores, nos quais as salas de ocupação permanente se colocaram na parte orientada a sul, de forma a tirar partido dos sistemas de aquecimento e arrefecimento directo, colocados nesses espaços. As zonas norte do edifício, são ocupadas por espaços laboratoriais e salas de reunião cuja ocupação é de carácter menos permanente. Na zona central do edifício encontra-se um corredor de separação, no qual se encontra uma clarabóia de iluminação comum aos três pisos.

### **Estratégia do edifício**

O edifício foi concebido de forma a potenciar o uso de energias renováveis e de acordo com uma lógica de aproveitamento passivo e apresenta as seguintes estratégias (Gonçalves; Cabrito, 2004):

- Optimização da envolvente, reduzindo as cargas térmicas do edifício;
- Fachada Solar a Sul, como um Sistema de Ganho Directo para aquecimento;

- Fachada Fotovoltaica, para aproveitamento eléctrico (100m<sup>2</sup> e 12 kWp);
- Aproveitamento Térmico da Fachada Fotovoltaica, por convecção natural;
- Sistema de Arrefecimento Passivo por tubos enterrados;
- Sistema de Ventilação Natural;
- Sistema Solar Activo para aquecimento;
- Sistema de Iluminação Natural.

### Fachada Fotovoltaica

Na fachada sul do edifício, foi integrado um conjunto de painéis fotovoltaicos com cerca de 100m<sup>2</sup>, totalizando perto de 12 kWp, e que produzem energia eléctrica para consumo directo no edifício (Figura 4.17).

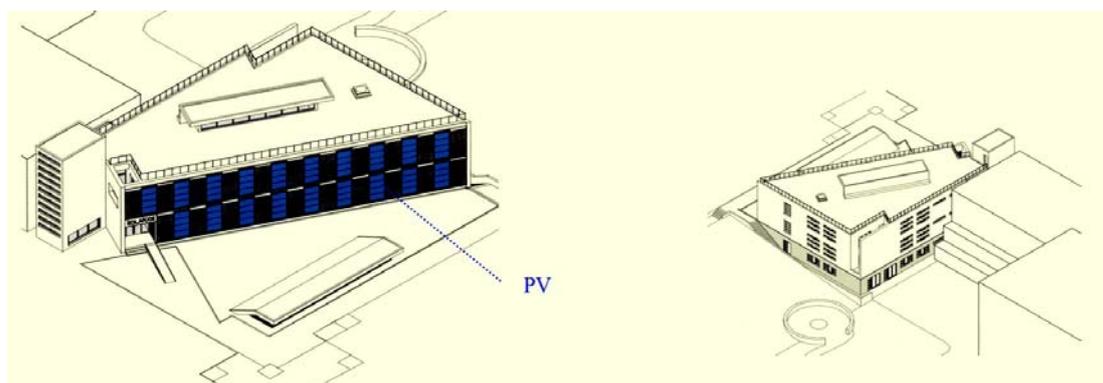


Figura 4.17 – À esquerda, Fachada Sul do Edifício Solar com painéis Fotovoltaicos e à direita, Fachada Nascente e Norte do Edifício Solar (Gonçalves; Cabrito, 2004).

A cada sala na zona sul do edifício, corresponde um conjunto de 4 painéis, instalados de forma a propiciar o aproveitamento térmico das células fotovoltaicas no período de Inverno. Cada sala comunica directamente com o espaço posterior das células, onde recupera o calor produzido pelas mesmas no Inverno através de dois orifícios, um inferior e outro superior, controlados pelo utilizador da sala, que abrindo os dois orifícios e permitindo a circulação do ar entre a sala e o espaço contíguo à sala, poderá desta forma aquecer a mesma.

No período de verão, poderão ocorrer duas situações funcionais, o calor produzido nas células é evacuado para o exterior por dois orifícios que comunicam directamente entre os células fotovoltaicas e o exterior. A outra situação corresponde ao aproveitamento do efeito de chaminé, e conseqüente evacuação do calor interno da sala para o exterior.

Finalmente o sistema poderá funcionar na meia estação como um sistema de pré-aquecimento do ar novo, no qual se admite o ar do exterior por intermédio do orifício de comunicação entre as células e o exterior e esse ar é injectado directamente no interior da sala por convecção natural através do orifício superior de comunicação entre as células e a sala (Figura 4.18).

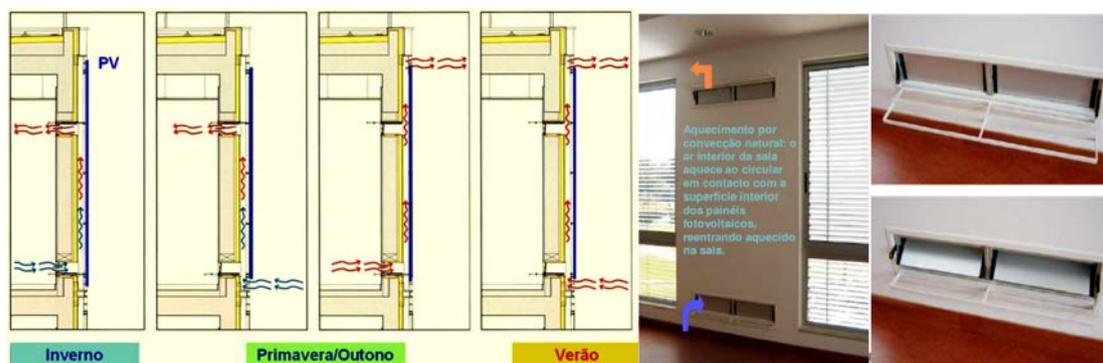


Figura 4.18 –Aproveitamento térmico dos painéis fotovoltaicos para climatização ambiente (Guedes, 2007).

### Sistema de Arrefecimento Passivo

No período de Verão, o edifício utiliza um conjunto de estratégias que permitem o arrefecimento natural do edifício. Estas estratégias conjugam o efeito da obstrução aos ganhos solares quer na envolvente opaca quer nos vãos envidraçados através de estores exteriores reguláveis, a ventilação natural no edifício e o arrefecimento do ar através de tubos enterrados que permitem a entrada de ar arrefecido no interior.

Aproveitando o diferencial de temperatura entre a temperatura do ar exterior (diurna, que pode chegar aos 30-35°C) e a temperatura da terra (14-18°C), foram colocados 32 tubos de manilhas de cimento (com um diâmetro de 30 cm) enterradas a 4,6 m, constituindo o “permutador de calor”, a partir de um poço de alimentação colocado a cerca de 15 metros do edifício. Desta forma pretende-se utilizar esta fonte fria para arrefecer o ar a injectar nas salas.

Os tubos entram no edifício pela cave, subindo pelas coretes centrais do edifício, efectuando-se a distribuição do ar directamente nas salas no R/C e no 1º piso, (Figuras 4.19 e 4.20) sendo que cada sala recebe dois tubos, que o utilizador, individualmente poderá controlar.

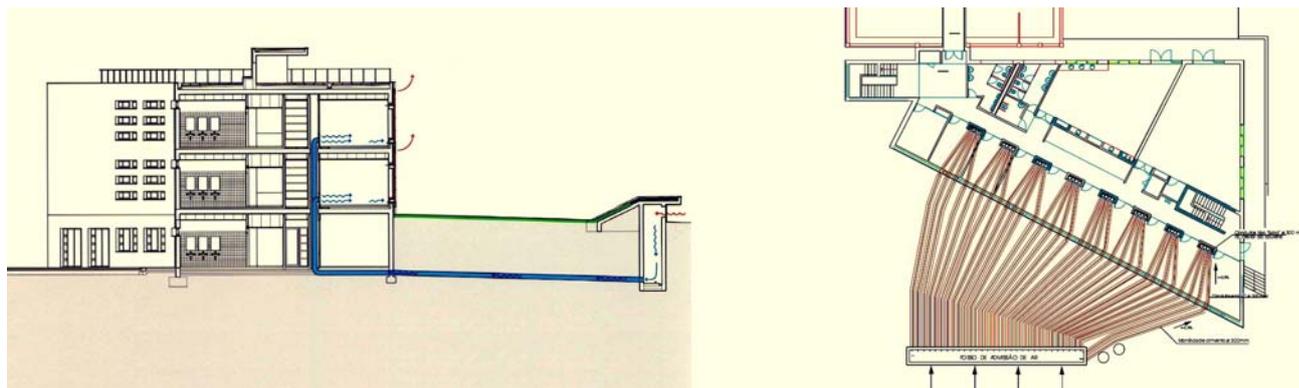


Figura 4.19 – À esquerda, localização dos tubos enterrados e à direita, esquema dos tubos enterrados para arrefecimento do edifício (Gonçalves; Cabrito, 2004).



Figura 4.20 – Pormenores da fase de construção e instalação dos tubos enterrados (Loureiro, 2009).

A ventilação natural e sobretudo a ventilação nocturna, permitem uma gestão da cargas internas do edifício, fundamental para a boa prestação térmica do mesmo. Foram desenhados sistemas que permitem ao utilizador a gestão individual da sua sala em termos de ventilação transversal (Figura 4.21).



Figura 4.21 – Sistemas de ventilação com intervenção manual do utilizador (Guedes, 2007).

O interior de todo o edifício apresenta um excelente nível de iluminação natural do mesmo. No centro do edifício verifica-se a existência de uma clarabóia central aberta nos três níveis que alimenta não só os corredores mas também as salas a norte e a sul (Figura 4.22).



Figura 4.22 – Sistemas de iluminação natural (Guedes, 2007).



## 5. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS (AQS E CLIMATIZAÇÃO)

### 5.1 Águas Quentes Sanitárias

A correcta concepção e dimensionamento do sistema destinado à produção e distribuição de água quente implicam uma definição adequada das necessidades previsíveis dos utentes a servir, as quais dependem da temperatura da água distribuída, dos caudais instantâneos assegurados nos dispositivos de utilização e do volume de água quente disponibilizado. O dimensionamento em questão deve ter por objectivo uma, resposta adequada aos consumos previsíveis nas condições mais frequentes de utilização, através da optimização do seu rendimento térmico, com a conseqüente minimização dos consumos energéticos (Pedroso, 2000).

Os valores dos consumos revelam uma enorme variação, quer no decorrer do dia, quer em termos do dia da semana, quer ainda em termos de mês do ano. A figura 5.1 mostra a influência dos factores temporais atrás referidos nos níveis de consumo de água quente.

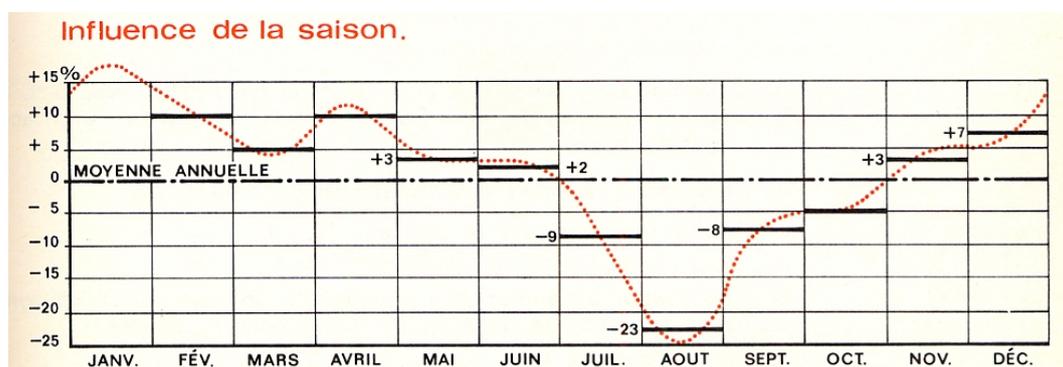


Figura 5.1 - Curvas de consumo de água quente - influência da estação do ano (Delebecque, 1977).

A temperatura da água na rede pública é de cerca de 10°C e a temperatura de conforto da água destinada ao contacto com o corpo humano não deverá exceder os 38°C. As temperaturas da água na distribuição de água quente não devem exceder os 60°C e, sendo necessário manter temperaturas superiores a esta, terão de ser tomadas precauções especiais na escolha do material a utilizar, na instalação e ainda com a segurança dos utentes.

Na tabela 5.1, apresenta-se as temperaturas mais usuais da água distribuída nas canalizações de água quente, em função do fim a que se destinam: uso pessoal, utilização nas cozinhas, lavagem de roupas e finalidades médicas ou industriais:

Tabela 5.1 - Temperaturas de água quente mais usuais

Utilização	Temperatura (°C)
Uso pessoal em banhos ou para a higiene	35 – 50
Em cozinhas (dissolução de gorduras)	60 – 70
Em lavandaria	75 – 85
Em finalidades médicas (esterilização)	100 ou mais

O aquecimento de água sanitária é um processo no qual é consumido uma grande quantidade de energia, aproximadamente 50% da factura energética. Numa família de cinco pessoas que tomem diariamente um duche, o consumo diário de água será de 350 litros, o que corresponde a um consumo de energia da ordem de 10 kWh (ENERGAIA, 2009).

Relativamente à forma de produção, esta poderá ser *instantânea*, *semi-instantânea*, *com acumulação* ou com *semi-acumulação* e os combustíveis poderão ir desde o carvão à energia solar e a transferência de calor, a partir da fonte energética, necessária para a produção de água quente, pode ainda ser feita de *modo directo* ou *indirecto*.

No aquecimento directo, a fonte energética actua directamente no reservatório ou serpentina que contém a água a aquecer, enquanto que no indirecto a fonte energética aquece um determinado volume de fluido o qual, por condução através de um permutador mergulhado na água a aquecer, lhe eleva a temperatura.

As instalações prediais de água quente são, geralmente, classificadas de acordo com o tipo de produção, podendo os sistemas ser *centrais*, *individuais* ou ainda *individuais isolados* (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Classificação dos Sistemas de produção de AQS

Tipo de Produção	Forma de Produção	Energia consumida	Transferência de Calor
Individual	Instantânea	Carvão	Directa
Central	Semi-instantânea	Fuel	Indirecta
	Acumulação	Gás canalizado	
	Semi-acumulação	GPL	
		Lenha	
		Energia solar	
		Outras	

Os sistemas isolados, sendo pouco utilizados, consistem na alimentação de um único ponto de utilização, sem necessidade de uma rede de água quente (Figura 5.2).

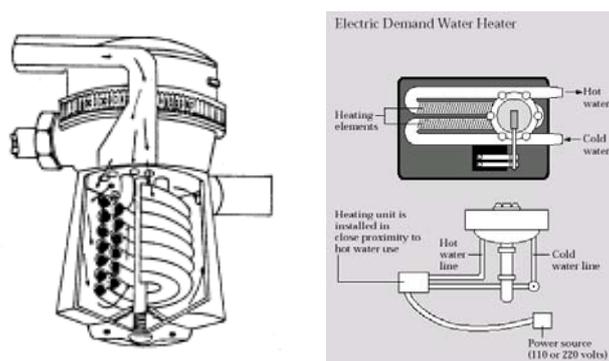


Figura 5.2 - Sistemas isolados de produção de água quente: à esquerda chuveiro eléctrico e à direita, aquecedor para lavatório.

Na instalação central, utilizada, entre outros, em hotéis, hospitais e instalações militares e em edifícios de habitação colectiva, dispõe-se de um equipamento produtor de água quente afastado dos pontos de consumo e através de uma rede de canalizações conduz-se a água aquecida até aos pontos de utilização dos edifícios.

Na instalação individual, mais utilizada em moradias ou apartamentos, o equipamento produtor de água quente é instalado no próprio fogo de habitação e a água quente é distribuída através da canalização aos pontos de utilização da mesma unidade. Neste caso, os aparelhos de produção de água quente utilizados são os de produção para uso instantâneo ou os de acumulação.

### 5.1.1 Equipamentos convencionais

Os aparelhos de produção instantânea a gás mais divulgados são os esquentadores. Estes permitem o fornecimento instantâneo de água quente e são utilizados, em função das necessidades dos utilizadores em termos de água quente, apenas em pequenos períodos do dia e devido às suas características, o número de dispositivos de utilização a alimentar pelos esquentadores deverá ser reduzido. Mais raramente, pode recorrer-se à utilização de caldeiras tipo mural, estas com funcionamento muito semelhante aos esquentadores, mas que diferem destes, fundamentalmente, por serem dotados de um circuito de circulação de água e de regulação termostática de temperatura.

Na Figura 5.3, ilustra-se o esquema de funcionamento, bem como a constituição destes aparelhos de produção instantânea de água quente.

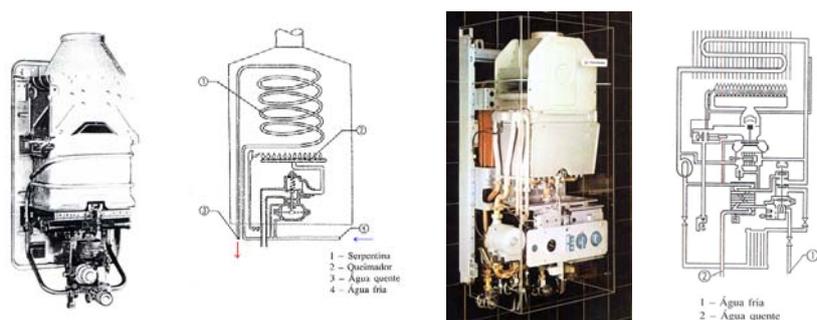


Figura 5.3 - À esquerda, esquentador e à direita, caldeira mural (imagens e esquemas de funcionamento).

No caso dos aparelhos com acumulação, temos os termoacumuladores eléctricos ou a gás ou ainda os sistemas de bomba de calor e os sistemas solares para aquecimento, que dispendo de um sistema de controlo da temperatura (termóstato), permitem o armazenamento da água aquecida num reservatório isolado termicamente, de forma a poder ser utilizada quando necessário.

Relativamente aos termoacumuladores eléctricos, apesar desta não ser uma boa solução em termos da eficiência, estes ainda são muito utilizados nas casas portuguesas. Nestes aparelhos, genericamente designados por cilindros, a água quente é armazenada num depósito isolado termicamente, normalmente de forma cilíndrica e instalado na vertical (Figura 5.4).

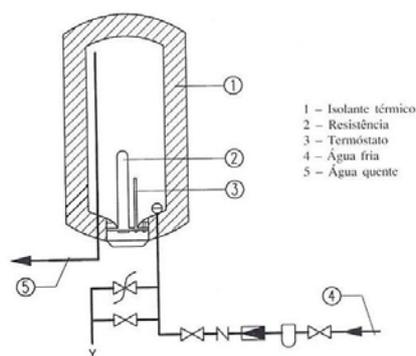


Figura 5.4 - Instalação de termoacumulador eléctrico (Pedroso, 2000).

As caldeiras murais possuem potências que permitem já a produção de água quente para fins sanitários e para aquecimento central, quer alimentando irradiadores ou piso radiante e toalheiros nas casas de banho. Caso se pretenda um nível de conforto maior e assegurar que a água seja distribuída a uma temperatura perfeitamente estabilizada, conforme se ilustra na Figura 5.5, pode-se então acoplar à caldeira mural um reservatório de acumulação:

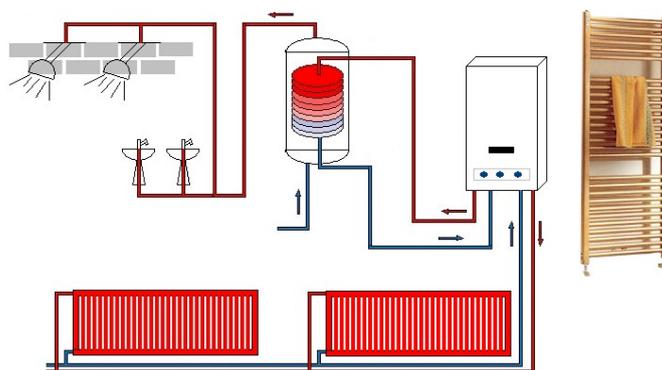


Figura 5.5 - Combinados: à esquerda, aquecimento central e abastecimento de águas quentes instantâneas com depósito de acumulação e à direita, toalheiro de casa de banho aquecido.

### 5.1.2 Cogeração

A cogeração é a produção simultânea de energia térmica e de energia mecânica a partir de um único combustível, sendo esta última geralmente convertida em energia eléctrica por intermédio de um alternador.

Os sistemas de cogeração mais utilizados são as turbinas a gás ou a vapor, o motor alternativo e a célula de combustível, tendo todos em comum o aproveitamento útil da energia primária (gás natural, fuel, ou recursos naturais) superior a 80%, sendo por isso a introdução da cogeração como uma medida de aumento da eficiência energética.

### 5.1.3 Sistemas solares térmicos

Os sistemas solares para aquecimento de águas quentes sanitárias, que começam já a ter grande aplicação no mercado, basicamente são constituídos por um colector onde se efectua a conversão térmica da radiação solar e por um depósito de acumulação para armazenamento do calor produzido.

A ligação e transferência de calor, entre o colector solar e o depósito, podem ser efectuadas por um circuito hidráulico, funcionando em circuito directo ou em circuito indirecto (Figura 5.6).

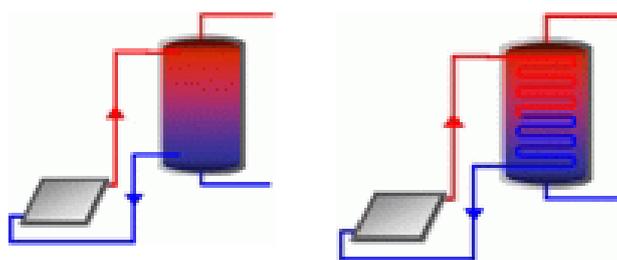


Figura 5.6 – Circuitos hidráulicos: à esquerda, circuito directo e à direita, circuito indirecto.

O tipo de sistemas disponíveis, são os de *termosifão*, e os de *circulação forçada*:

No sistema em termosifão, a circulação natural do fluido é realizada com base na diferença de densidades, verificando-se o princípio de que um fluido quente é menos denso que um fluido frio, fazendo que o que está quente suba do colector para o depósito e o que está frio desça do depósito para o colector. Estes sistemas são compostos pelo colector solar, depósito acumulador termicamente isolado e dotado de uma resistência eléctrica para apoio, purgador, vaso de expansão e outros acessórios, apresentando como único inconveniente que, para evitar a circulação inversa, o depósito tenha de estar a um nível superior ao do colector, significando normalmente que terá de ser instalado e ficar visível no telhado.

Nas situações em que não é viável a colocação do depósito acima da parte superior dos colectores, a circulação em termosifão não se torna possível e é necessário usar bombas electrocirculadoras para movimentar o fluido térmico. Estes sistemas são compostos pelo colector solar com sonda, depósito acumulador termicamente isolado e dotado de sonda e sistema de apoio, através de resistência eléctrica ou outro, bomba, comando para controlo da bomba através do diferencial de temperatura das sondas do colector e do depósito, purgador, vaso de expansão e outros acessórios (Figura 5.7).

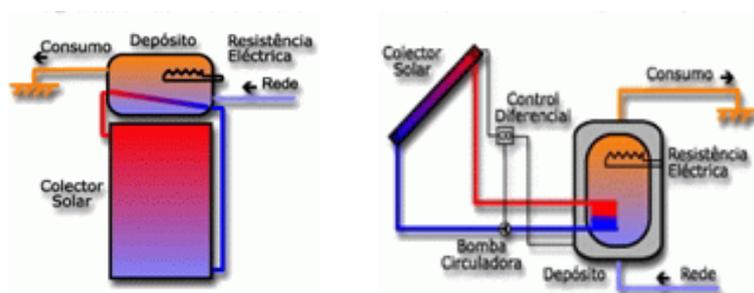


Figura 5.7 - À esquerda, sistema em termosifão e à direita, em circulação fechada.

Os colectores solares térmicos, diferindo na protecção térmica que utilizam, na utilização, ou não, de concentração e adequados a diferentes temperaturas de utilização, podem ser de diversos tipos e sobre os mesmos nos debruçaremos em pormenor mais à frente.

## 5.2 Climatização

*Climatização* é um termo de origem francófona que se utiliza para designar uma instalação que visa a obtenção do conforto térmico de um local e tem um alcance anual, enquanto que *Air condicionado* é um termo utilizado pelos anglo-saxónicos que pode designar um aparelho ou uma instalação, desde que esse aparelho tenha associado um processo de refrigeração do ar,

podendo controlar, nos espaços interiores, ao longo duma temporada, só a temperatura, ou esta e a humidade relativa bem como a pureza e movimento do ar dentro do local e está referido mais ao Verão. Quando se fala em *Climatização* pressupõe-se que a instalação efectua as funções de aquecimento ou arrefecimento conforme seja necessário, enquanto ao referir-nos ao Ar Condicionado não está implicada a função de aquecimento. Actualmente, devido à proliferação de equipamentos reversíveis, produzindo calor e frio, os termos tendem a assumir o mesmo significado (EFRIARC, 2009).

Em termodinâmica, o termo climatização refere-se a uma instalação que garante um valor pré-definido para a temperatura (e em alguns casos para a taxa de humidade).

Sempre que é ventilado um local, o ar proveniente do exterior traz *calor sensível* se a temperatura externa é superior à temperatura ambiente do local, e *calor latente* em função do teor de vapor de água. O ar húmido é considerado uma mistura de ar seco e de vapor de água, contendo ainda outras substâncias em suspensão, como sejam poeiras, microorganismos, CO e outros poluentes.

Calor sensível, é a soma do calor que resulta apenas no aumento da temperatura. É proveniente do exterior e resulta da radiação solar e da diferença de temperatura entre o exterior e o interior do edifício (transmissão de calor por condução através da envolvente). É proveniente também das cargas internas, como as pessoas e todas as fontes de calor (iluminação, equipamento informático, máquinas, etc.) (AAVV, 2008a).

O calor latente, é a soma do calor que conduz ao aumento da quantidade de vapor de água no ar. É proveniente da humidade emitida pelas pessoas através da respiração e transpiração e por todas as fontes geradoras de vapor (AAVV, 2008a).

### **5.2.1 Equipamentos convencionais de climatização**

A maioria dos Aparelhos convencionais de climatização são baseados em sistemas de bombas de calor do tipo “split”, ou seja têm um elemento de condensação e de evaporação no interior e outro no exterior, ligados a uma unidade central montada no exterior (Figura 5.8), mas também existem os chamados sistemas compactos em que a unidade é montada no exterior e o ar frio ou aquecido é enviado para o interior através de condutas instaladas nas paredes ou nos tectos.



Figura 5.8 - Montagem de mini-split (fonte: <http://www.thermospace.com/>).

Chamamos bomba de calor a uma máquina térmica capaz de transferir calor de uma fonte fria a outra mais quente, como é o caso de aquecer um ambiente interior retirando calor a um ambiente exterior a temperatura mais baixa. São do tipo reversível se produzem calor ou frio para o ambiente a climatizar ou do tipo irreversível se apenas o podem aquecer (Figura 5.9).

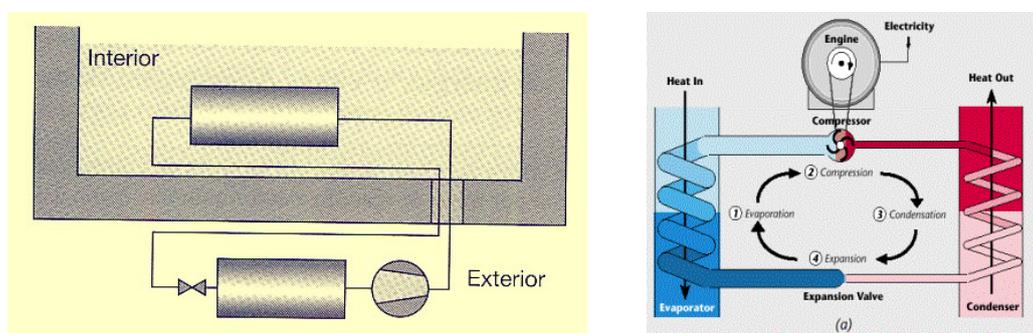


Figura 5.9 - À esquerda, sistema simples de bomba de calor (adaptado de Roriz) e à direita, princípios básicos de funcionamento (<http://www.daviddarling.inf>).

Um sistema de refrigeração por bomba de calor, funcionando em tudo com o mesmo princípio do frigorífico apenas com a diferença que o aproveitamento é feito na fonte quente, i.e., aproveitando o calor rejeitado pelo condensador, é constituído por um *compressor*, uma *válvula de expansão* e por dois *permutadores* de cobre ligados por finas lâminas de alumínio (Evaporador e condensador), um no exterior e outro no interior.

As bombas de calor podem trabalhar no *princípio da absorção* ou no da *compressão do vapor*, no entanto as primeiras são pouco utilizadas, dado que a sua eficiência seria pouco superior a uma máquina frigorífica semelhante (Luís Roriz)

Estes tipos de bombas de calor podem ainda ser agrupadas da seguinte forma, em função do fluído que banha a bateria exterior e a interior (do exterior para o interior):

- **reversíveis para aquecimento e arrefecimento do ar** (Ar exterior/Ar; Ar extraído/Ar; Água/Ar);
- **reversíveis para aquecimento e arrefecimento da água** (Ar exterior/Água; Ar extraído/Água);

- **irreversíveis para aquecimento de água, para água quente sanitária ou aquecimento central** (Ar exterior/Água; Ar extraído/Água; Água/Água; Terra/Água).

Se a temperatura do ar exterior for muito baixa, mais energia temos que despende para lhe retirar o calor, porque o calor produzido na bomba de calor é igual ao retirado ao exterior adicionado ao que é fornecido pelo compressor. No caso de o salto térmico ser muito elevado este tipo de equipamento deixa de ser rentável.

A medida desta dificuldade é dada pelo COP ("Coefficient Of Performance" ou Coeficiente de Desempenho) e é dado pela razão entre potência térmica útil que expressa a energia térmica (calor ou frio) fornecida por uma bomba de calor (ou um equipamento de refrigeração) e a potência consumida, que expressa a energia eléctrica consumida pelo sistema. Quanto maior for o COP, mais eficiente será o sistema.

A vantagem fundamental da bomba de calor, trabalhando em aquecimento, é que reduz substancialmente o consumo de energia eléctrica, porque enquanto através do efeito de joule gastamos 1kW para produzir 1kW, com uma bomba de calor para produzirmos (2 - 4)kW gastamos o mesmo 1kW. Os sistemas de bomba do calor, são consequentemente 2 a 4 vezes mais eficientes do que um termoacumulador eléctrico.

### 5.2.2 Sistemas de climatização solar

Já existem disponíveis inúmeras aplicações com tecnologia solar que nos permitem obter, praticamente a custo zero, aquecimento de águas quentes sanitárias, aquecimento ambiente no Inverno e arrefecimento no Verão.

A situação ideal para máximo aproveitamento das instalações solares será aquela em que a demanda nos edifícios coincide com a disponibilidade de radiação solar (Figura 5.10).

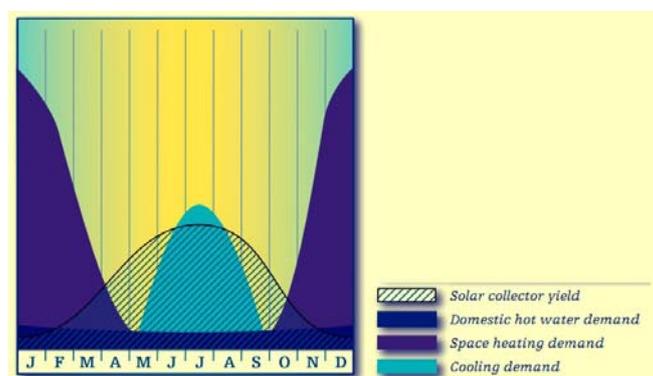


Figura 5.10 - Procura e disponibilidade: a energia solar térmica pode cobrir grande parte das necessidades energéticas (adaptado de ESTIF).

Os sistemas solares para produção de frio podem ser de *ciclo fechado* (máquinas de absorção ou de adsorção) e máquinas de *ciclo aberto* (dry-cooling) cujos sistemas mais comuns utilizam uma roda exsicante giratória.

As tecnologias mais aplicadas e divulgadas são as máquinas de *absorção* e as de *adsorção* que produzem água fria e consomem água quente à volta dos 90°C.

Os *chillers* de absorção são os mais utilizados em todo o Mundo. A compressão térmica do refrigerante é conseguida através da utilização de uma solução refrigerante/absorvente líquido, e uma fonte de calor, substituindo assim o consumo de electricidade de um compressor mecânico. Para água arrefecida acima dos 0°C, tal como é utilizada na climatização, é usada normalmente uma solução água/brometo de lítio (H<sub>2</sub>O/LiBr), em que a água é o refrigerante (Figura 5.11).

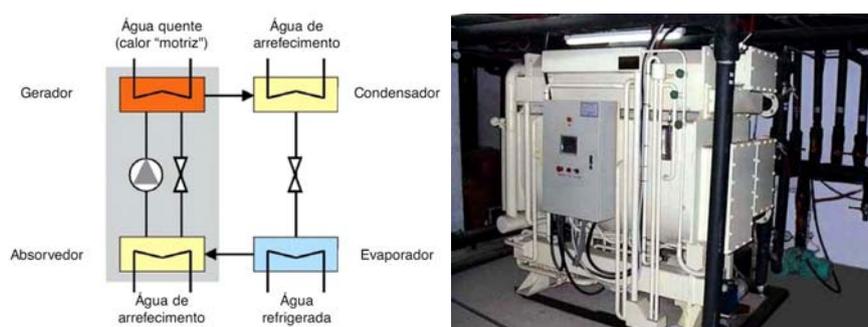


Figura 5.11 – À esquerda, esquema de princípio de um Chiller de Absorção e à direita, Chiller de Absorção no Hotel de Rethymnon - Creta (Grécia) - (AAVV, 2008a).

No caso dos chillers de adsorção, em vez de uma solução líquida, são utilizados materiais adsorventes sólidos. As máquinas disponíveis no mercado utilizam a água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. A máquina consiste em dois compartimentos adsorventes, um evaporador e um condensador (Figura 5.12).

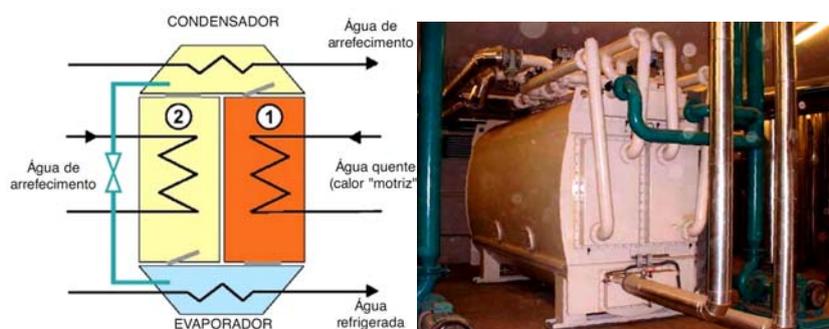


Figura 5.12 – À esquerda, esquema de princípio de um Chiller de Adsorção e à direita, Chiller de Adsorção em Sarantis na Grécia (AAVV, 2008a).

Os sistemas de arrefecimento excicantes são, basicamente, sistemas de ciclo aberto, que utilizam água como refrigerante em contacto directo com o ar. O ciclo de arrefecimento é uma combinação de arrefecimento evaporativo com uma desumidificação através de um excicante. A tecnologia mais actual usa rodas excicantes rotativas, equipadas com gel de sílica ou com cloreto de lítio como material adsorvente (Figura 5.13).

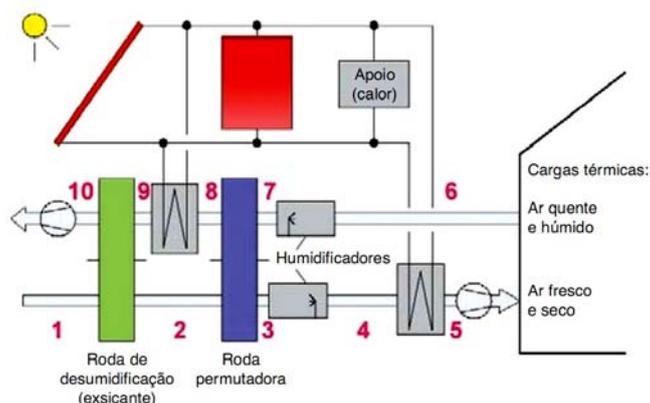


Figura 5.13 - Esquema de princípio de um sistema excicante (AAVV, 2008a).

### 5.2.3 Pavimento Radiante (Aquecimento/Arrefecimento)

Nos banhos e nas salas das casas romanas, os seus pavimentos eram construídos assentes sobre pilares ou arcos de alvenaria de tijolos, criando assim uma caixa de ar sob os mesmos por onde era feito circular ar quente de forma a aquecê-los. Este sistema designado por *Hypocaustum*, utilizava um meio de transferência convectivo para o elemento construtivo que funcionava assim como radiador (Figura 5.14). Foi provavelmente neste sistema que se inspiraram os modernos sistemas de pavimento radiante.

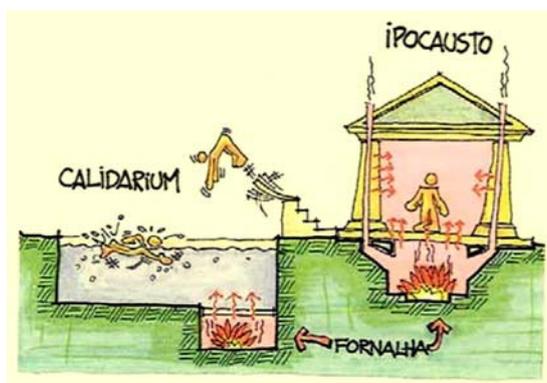


Figura 5.14 - Calidarium e Hypocaustum (Dutra, 1997).

Os principais sistemas de climatização por piso radiante hidráulico, são os sistemas embebidos na laje de tecto ou de pavimento, constituídos por tubagens de plástico (PEX ou

PP-R), por onde circula o fluido de aquecimento ou de refrigeração através de um electrocirculador, os sistemas em painéis, geralmente de alumínio, com as tubagens metálicas montadas posteriormente e por último os sistemas capilares, compostos por um fina malha de tubos de plástico e que são embebidos na superfície de acabamento do pavimento ou do tecto que sendo os mais divulgados e os mais indicados na renovação ou reabilitação de construções (Figura 5.15).

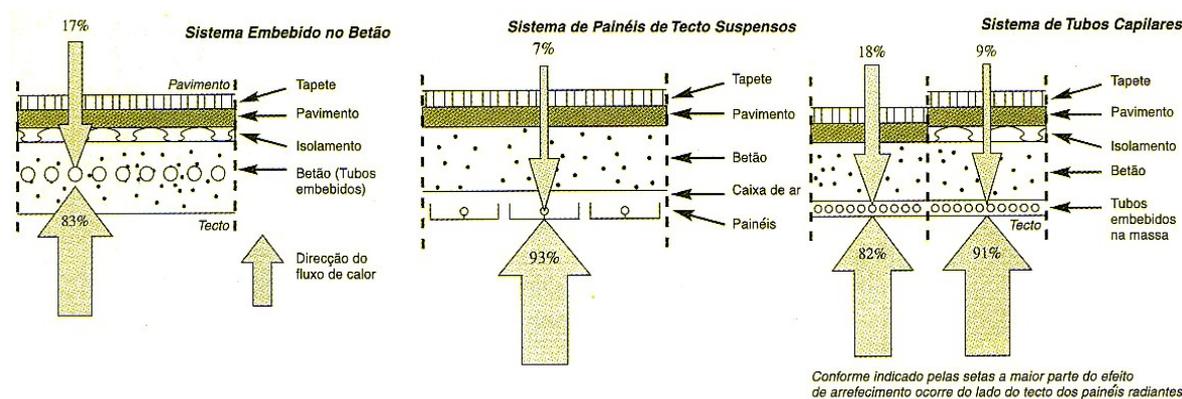


Figura 5.15 - Integração arquitectónica dos sistemas de aquecimento/arrefecimento radiante (adaptado de Green Vitruvius).

As cargas de aquecimento e/ou de arrefecimento são adaptados a todas as fonte energéticas: caldeira de baixa temperatura, sistema de painéis solares, bomba de calor ou no caso de arrefecimento por um sistema de refrigeração eficiente.

### 5.3 Colectores Solares

A mais comum das tecnologias de aproveitamento da energia solar térmica activa é o colector solar. É o dispositivo responsável pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido sob a forma de energia térmica e é neste ponto que difere do painel fotovoltaico, o qual serve para gerar electricidade. São muito utilizados no aquecimento de água de casas ou edifícios, hospitais, piscinas, para climatização de ambientes e processos industriais de aquecimento. (Gouveia, 2007).

Existem vários tipos de colectores solares, de modo a melhor se adaptarem às exigências de cada situação, sendo os principais:

os *colectores planos*; os *colectores concentradores*; os *colectores concentradores parabólicos* (CPC) e os *colectores de tubo de vácuo*.

A escolha do colector a utilizar passa ainda por considerações de natureza económica, já que os colectores mais sofisticados são normalmente mais caros.

O calor resultante da conversão térmica da radiação solar é armazenado num depósito de acumulação.

### 5.3.1 Colector Plano

Este tipo de colector é o mais comum e destina-se a produção de água quente a temperaturas inferiores a 60 °C. Este é formado por:

- **cobertura transparente:** para provocar o efeito de estufa e reduzir as perdas de calor e ainda assegurar a estanquicidade do colector.
- **placa absorvora:** serve para receber a energia e transformá-la em calor, transmitindo-a para o fluido térmico que circula por uma série de tubos em paralelo ou serpentina. Para obter maiores rendimentos existem superfícies selectivas que absorvem como um corpo negro mas perdem menos radiação.
- **caixa isolada:** serve para evitar perdas de calor uma vez que deverá ser isolada termicamente, para dar rigidez e proteger o interior do colector, dos agentes externos.

Ao fazer circular o fluido térmico através dos tubos dos colectores, retira-se calor destes podendo aproveitar este calor para aquecer um depósito de água (Figura 5.16) - (PER, 2009).

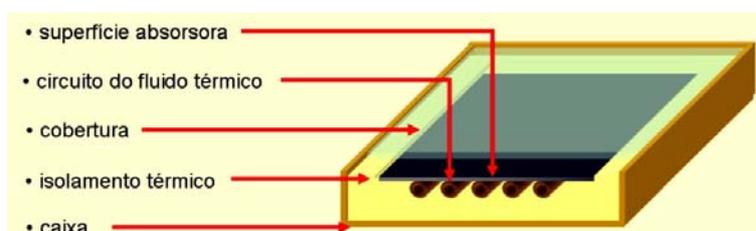


Figura 5.16 – Constituintes de um colector solar (adaptado de Gouveia, 2007).

### 5.3.2 Colectores Concentradores

Para atingir temperaturas mais elevadas há que diminuir as perdas térmicas do receptor. Estas são proporcionais à superfície deste. Reduzindo-a em relação à superfície de captação, consegue-se reduzir as perdas térmicas na proporção dessa redução. Os sistemas assim concebidos chamam-se concentradores, e concentração é precisamente a relação entre a área de captação (a área de vidro que serve de tampa à caixa) e a área de recepção (Figura 5.17).

Acontece que, quanto maior é a concentração mais pequeno é o ângulo com a normal aos colectores segundo o qual têm que incidir os raios solares para serem captados, pelo que o colector tem de se manter sempre perpendicular aos raios solares, seguindo o sol no seu movimento aparente diurno.

Esta é uma desvantagem, pois o mecanismo de controle para fazer o colector seguir a trajectória do sol, é bastante dispendioso e complicado, para além de só permitir a captação da radiação directa. (PER, 2009)

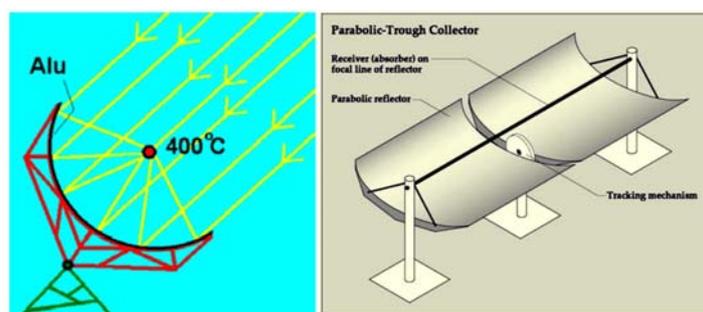


Figura 5.17 – À esquerda, esquema da reflexão da radiação solar no colector concentrador e à direita, sistema de orientação do colector concentrador (adaptado de Gouveia, 2007).

### 5.3.3 Colectores Concentradores Parabólicos (CPC)

O desenvolvimento da óptica permitiu muito recentemente a descoberta de um novo tipo de concentradores (chamados CPC ou Winston) que combinam as propriedades dos colectores planos (também podem ser montados em estruturas fixas e têm um grande ângulo de visão o que também permite a captação da radiação difusa) com a capacidade de produzirem temperaturas mais elevadas ( $>70^{\circ}\text{C}$ ), como os concentradores convencionais do tipo de lentes (Figura 5.18) - (PER, 2009).

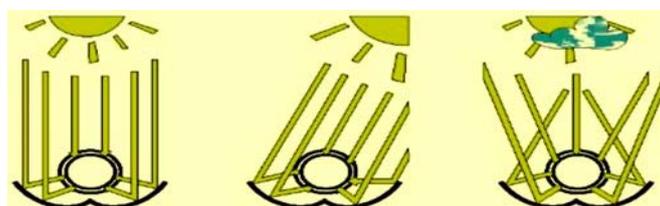


Figura 5.18 – Esquema da reflexão da radiação solar nos coletores CPC em função da orientação solar (adaptado de Gouveia, 2007).

A diferença fundamental entre estes colectores e os planos é a geometria da superfície de absorção, que no caso dos CPC's a superfície absorvedora é constituída por uma grelha de alhetas em forma de acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície reflectora. A

captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas já que o sol incide na parte superior das alhetas e os raios que são reflectidos acabam por incidir na parte inferior das alhetas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluido e diminuindo as perdas térmicas (Figura 5.19).

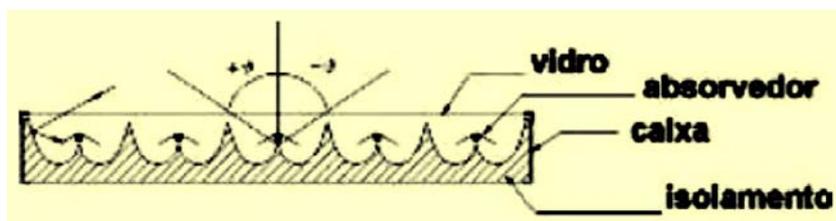


Figura 5.19 – Esquema representativo de um colector CPC (adaptado de Gouveia, 2007).

### 5.3.4 Colectores de Tubo de Vácuo

Estes consistem geralmente em tubos de vidro transparente (tubo de vácuo) cujo interior contém tubos metálicos (absorvedores) - (Figura 5.20). O calor captado por cada elemento é transferido para o absorvedor, geralmente de cobre, que está dentro do tubo. Desta maneira, o fluido térmico aquece e, pelo vácuo, se reduzem as perdas térmicas para o exterior.

A atmosfera interior dos tubos livre de ar o que elimina as perdas por convecção os de tubo de vácuo, elevando assim o rendimento a altas temperaturas devido a menores coeficientes de perda a eles associados.

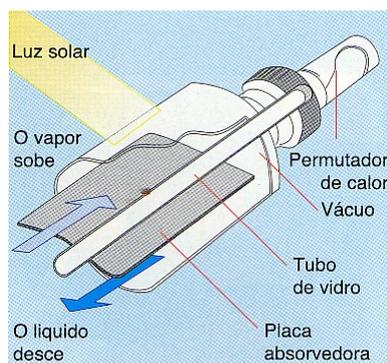


Figura 5.20 – Colector solar de tubo de vácuo (Green Vitruvius).

## 5.4 Instalação dos Colectores

Em princípio os colectores podem ser integrados num telhado inclinado; montados num telhado inclinado; colocados em suportes num telhado plano ou numa superfície livre ou

ainda montados numa fachada. A selecção da solução a adoptar, depende das condições do local, do tipo de colectores e dos requisitos do cliente (Figura 5.21).



Figura 5.21 – Instalação de colectores: à esquerda, Centro de Controlo da BRISA em Carcavelos e à direita, Palácio do Presidente em Belém (Loureiro, 2009).

Quando o sistema de aquecimento solar é adoptado ainda na fase do projecto de arquitectura, deverá incorporar-se os colectores ao desenho da construção, de forma que façam parte do acabamento. Devendo prever-se ainda o fácil acesso aos colectores, para operações de limpeza, de inspecção e de reparação (Figura 5.22).

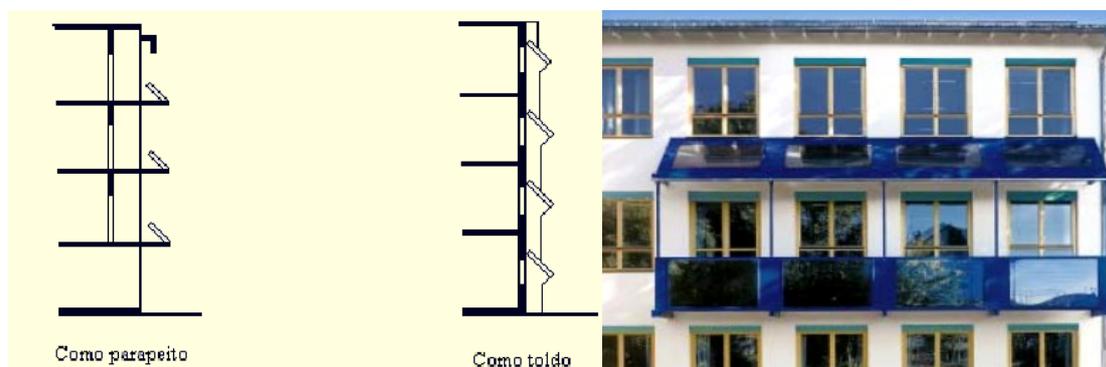


Figura 5.22 – Integração de colectores na arquitectura dos edifícios unifamiliares e multifamiliares.

Nos edifícios multifamiliares, o sistema solar térmico para aquecimento de águas quentes sanitárias deverá ser centralizado, e caso necessário, ter o apoio de uma caldeira central a gás natural, podendo eventualmente ter sistemas individuais de apoio em cada apartamento, existindo quatro opções básicas para a integração destas instalações (Figura 5.23):

#### **A - Sistema totalmente centralizado**

Neste sistema, os colectores são instalados no telhado ou na fachada do edifício e são comuns, bem como o depósito de água quente e o sistema de apoio constituído por uma caldeira a gás.

### B - Sistema centralizado com apoios individuais

Neste sistema, os colectores e depósito solar de água quente são comuns e os sistemas de apoio são individuais para cada apartamento (esquentador, caldeira mural ou termoacumulador).

### C - Sistema de colectores centralizado

Neste sistema, apenas os colectores são comuns. O depósito e sistemas de apoio são individuais para cada apartamento.

### D - Sistema totalmente individual (monoblocos)

Este sistema é o utilizado nas moradias, em que cada habitação possui o seu próprio sistema.

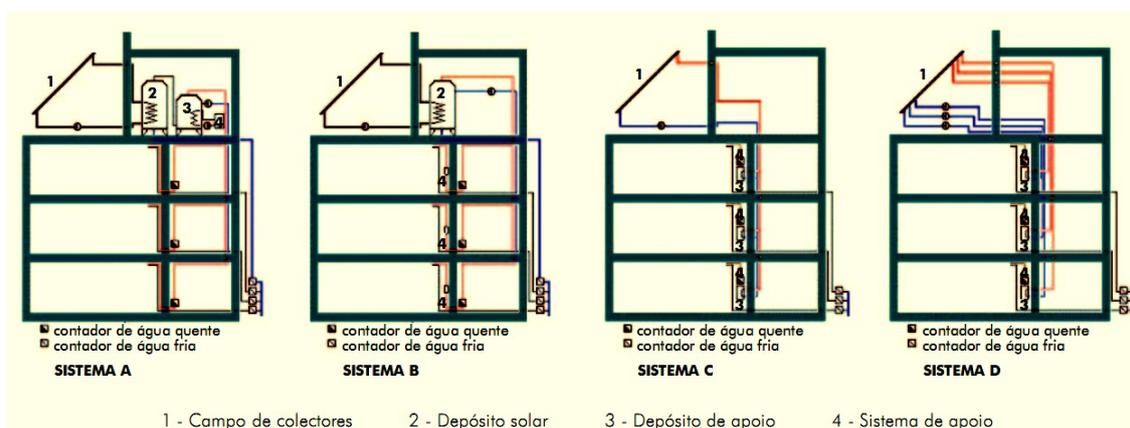


Figura 5.23 - Sistema totalmente centralizado (A); Sistema centralizado com apoios individuais (B); Sistema de colectores centralizados (C); Sistemas individuais (D) - (Programa AQSpP).

Especialmente em construções arquitetonicamente mais exigentes, os colectores de fachada constituem a alternativa ideal à integração em telhado de colectores planos. Tendo em conta que a fabricação destes colectores será a medida, estes podem ser integrados facilmente em qualquer fachada (Figura 5.24).



Figura 5.24 – Integração dos colectores em elementos de fachada (<http://soltermico.pt/sonnenkraft/>).

## 5.5 Estruturas Solares Multifunções - Exemplo de Boas Práticas e de Inovação

Resultado de um projecto português patenteado pela SUNaitec® – *Sol, Arquitectura, Inovação, Tecnologia*, uma empresa de Leiria, estas “Estruturas Solares Multifunções”, formadas por “Colunas técnicas” e por um número variável de “Receptores solares térmicos e/ou fotovoltaicos”, para a captação da energia solar, na forma de tubos horizontais elípticos transparentes de cerca de 2,50m de comprimento, com espelhos e um diminuto tubo colector no seu interior, permitindo uma melhor eficiência na captação da energia solar

São montados na obra, por módulos, arquitectonicamente integráveis, permitindo substituir elementos de construção como os guarda-corpos de varandas e terraços, coberturas interiores e exteriores de piscinas, parques de estacionamento, sombreamento de edifícios, etc. (Figura 5.25).



Figura 5.25 – Estruturas Solares Multifunções - guardas e elementos de fachada (<http://www.sunaitec.pt>).

Além dos aspectos arquitectónicos, outros de cariz tecnológico como a orientação solar inteligente o sistema óptico concentrador, vêm alterar radicalmente a forma de captação da energia do sol, constituindo uma alternativa aos tradicionais colectores solares, por permitir aproveitar sempre com a máxima eficiência a energia do sol, visto que os receptores das estruturas solares se movem procurando o ângulo que maximiza a captação solar, enquanto que nos dias de maior calor, havendo energia produzida superior ao necessário, adoptam a posição vertical para reduzir a captação solar e evitar temperaturas excessivas que levam à perda de água com anti-congelante por ebulição (Figura 5.26).



Figura 5.26 – Estruturas Solares Multifunções – cobertura (<http://www.sunaitec.pt>).

## **6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS**

### **6.1 Conclusões Gerais**

A realização deste trabalho teve como objectivo o levantamento do estado da arte das tecnologias de construção sustentáveis associadas aos edifícios bioclimáticos e aos sistemas com aproveitamento das energias renováveis, para produção de água quente e de climatização nos edifícios.

Falamos de Construção Sustentável, ou de Sustentabilidade na Construção, ao considerar e ponderar, na fase de projecto, as 3 dimensões do Desenvolvimento Sustentável: ambiental, económica e social e cultural. Do estudo dos conceitos relacionados com a construção sustentável e a eficiência energética em edifícios, foi possível apurar que já existem diversas ferramentas para avaliação da sustentabilidade, bem como métodos expeditos para obtenção da classe de eficiência energética.

Em Portugal, as construções com características bioclimáticas ou incorporando sistemas solares passivos ainda não são prática corrente. Contudo, os exemplos apresentados respeitantes às boas práticas recentes em Edifícios Bioclimáticos e da integração das energias renováveis provam que, apesar de haver ainda um longo caminho a percorrer, estamos no trilho certo.

Porque importa dominar as tecnologias solares passivas e os conceitos da Arquitectura Bioclimática, apresenta-se assim um enorme desafio aos projectistas. Para isso, estas matérias terão de ser inseridas nos curricula dos cursos de Engenharia Civil e de Arquitectura, principais intervenientes no processo construtivo, desde a concepção até à utilização e manutenção dos edifícios, contribuindo assim, de forma sustentável, para uma redução da factura energética na fase de utilização, bem como a uma apreciável contribuição para a redução das emissões de Gases com Efeito de Estufa.

Nos edifícios, as energias renováveis podem ter diversas aplicações: aquecimento de águas sanitárias, aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e produção de electricidade.

Em função do estado actual da tecnologia, existem já alternativas sustentáveis, aos aparelhos e equipamentos convencionais para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e para climatização em edifícios, como é o caso dos sistemas solares térmicos e das bombas de calor

que mesmo não fazendo estas últimas uso de fontes renováveis, têm uma elevada eficiência sendo também uma possibilidade a considerar no aquecimento/arrefecimento ambiente.

O Arrefecimento Solar é já uma “*alternativa inteligente*” para as tecnologias de arrefecimento, uma vez que a procura de arrefecimento no período de Verão coincide com a altura em que a radiação solar é mais abundante.

Em conclusão, este trabalho pretende contribuir para o preenchimento de uma lacuna existente sobre a falta de informação sobre os princípios das tecnologias construtivas e práticas sustentáveis e ainda para a sustentabilidade energética dos edifícios, com redução dos consumos domésticos associados aos sistemas convencionais de produção de água quente, de aquecimento e arrefecimento ambiente, contribuindo para a integração de energias renováveis nos edifícios e para a diminuição de emissões de gases com efeito estufa para a atmosfera.

## **6.2 Perspectivas de trabalhos futuros**

Uma das limitações do trabalho foi a metodologia utilizada que envolveu apenas a recolha e compilação de dados, através de uma extensa pesquisa bibliográfica. Nalgumas situações teria sido interessante a possibilidade da comprovação “*in loco*” de algumas situações em obras em decurso ou em edifícios já construídos, o que se sugere e recomenda para trabalhos futuros.

Assim, para trabalhos futuros indicam-se os seguintes 2 vectores temáticos:

### **I - Disposições construtivas e tecnologias associadas a Energias Renováveis**

Elaboração de fichas técnicas contendo uma descrição detalhada dos sistemas de produção de água quente e de climatização, com recurso a energias renováveis, com apresentação das tecnologias construtivas associadas aos diversos aproveitamentos de energia, suas aplicações nos edifícios, metodologias de cálculo e de construção, bem como toda a regulamentação aplicável:

- aproveitamento energético para AQS;
- aproveitamento energético para AQS e aquecimento ambiente;
- aproveitamento energético para AQS, aquecimento e arrefecimento ambiente.

## **II - Avaliação da sustentabilidade energética e estratégias de integração**

De forma a efectuar uma análise de sustentabilidade energética global do sistema-edifício, recorrendo a metodologia a desenvolver, pretende-se avaliar e comparar as diferentes alternativas, tendo em vista promover:

- a utilização das energias alternativas renováveis;
- o aumento da eficiência energética dos edifícios;
- a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>.



## 7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

### 7.1 Publicações Gerais

**AAVV (2001)** - Guia Prático da habitação. Secretaria de Estado da habitação. Lisboa.

**AAVV (2002)** - Projecto ALTENER nº 4.1030/Z/02-121/2002 - Promoting solar air conditioning (technical overview of passive techniques). Disponível 05.07.09 em: [http://www.raee.org/climatisationsolaire/doc/technical\\_overview\\_of\\_passive\\_techniques.pdf](http://www.raee.org/climatisationsolaire/doc/technical_overview_of_passive_techniques.pdf).

**AAVV (2002)a** - Projecto ALTENER nº 4.1030/Z/02-121/2002 - Promoting solar air conditioning (technical overview of active techniques). Disponível 05.07.09 em: [http://www.raee.org/climatisationsolaire/doc/technical\\_overview\\_of\\_active\\_techniques.pdf](http://www.raee.org/climatisationsolaire/doc/technical_overview_of_active_techniques.pdf).

**AAVV (2004)** - Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Direcção-Geral de Geologia e Energia. Lisboa.

**AAVV (2004)a** - Bioenergia - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação - Projecto Europeu GREENPRO, no âmbito do programa Europeu ALTENER. 2004.

**AAVV (2004)b** - Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação - Projecto Europeu GREENPRO, no âmbito do programa Europeu ALTENER. 2004.

**AAVV (2004)c** - Energia Solar Térmica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação - Projecto Europeu GREENPRO, no âmbito do programa Europeu ALTENER. 2004.

**AAVV (2006)** - Principles of Thermal Inertia. Irish Concrete Federation. Ireland.

**AAVV (2006)a** - Energia solar térmica: potencialidades da tecnologia nos diversos sectores. Disponível 27.09.09 em: <http://www.raplus.pt/destaque3.pdf>.

**AAVV (2007)** - Levantamento do estado da arte: energia Solar. Projecto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável (Projecto Finep 2386/04). São Paulo 2007. Disponível 19.09.09 em: [http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-3\\_energia\\_solar.pdf](http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-3_energia_solar.pdf).

**AAVV (2007)a** - Manual Técnico de Gestão de Energia (177p). ISR (Departamento de Eng. Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra); MVV Consulting GmbH. Disponível 01.09.2009 em: [http://www.eett.info/pt/EETT\\_ManualTecnicoGestaoDeEnergia\\_FINAL.pdf](http://www.eett.info/pt/EETT_ManualTecnicoGestaoDeEnergia_FINAL.pdf).

**AAVV (2007)b** - Passive Homes. Sustainable Energy Ireland, Renewable Energy Information Office. Ireland.

**AAVV (2008)** - A utilização racional de energia nos edifícios públicos. Guia informativo da DECO. 2008.

**AAVV (2008)a** - Climatização Solar. Brochura publicada com o apoio da Comissão Europeia, da Direcção - Geral para a Energia e Transportes da Região Rhône-Alpes e da Câmara Municipal de Sintra. Disponível em: <http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Documentacao/Maisrecentes/Mais+recentes.htm>.

**AAVV (2008)b** - Eficiência energética nos edifícios residenciais. Guia informativo da DECO. 2008.

**AAVV (2008)c** - Technical Manual: Your Home - Design for lifestyle and the future.

Disponível 05.09.2009 em: <http://www.yourhome.gov.au/technical/index.html>.

**Bragança**, Luís; Mateus, Ricardo - Sustentabilidade de soluções construtivas. (disponível 05.09.2009 em: <http://www.engenhariacivil.com/sustentabilidade-de-solucoes-construtivas>).

**Brito**, Jorge - Folhas e elementos audiovisuais de apoio à cadeira de Tecnologia da Construção de Edifícios. Instituto Superior Técnico. 2004.

Conselho dos Arquitectos da Europa - **A Green Vitruvius** - Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável. Ordem dos Arquitectos. Portugal. 2001.

**Costa**, José; Silva, Manuel - Estudo experimental do efeito de vedação térmica da tela Aldageed para isolamento de caixas de estores. Relatório técnico. Associação para o desenvolvimento da aerodinâmica Industrial (ADAI). Coimbra, 2007. Disponível em: [http://www.aldageed.pt/Relatorio\\_ALDAGEED.pdf](http://www.aldageed.pt/Relatorio_ALDAGEED.pdf).

**Delebecque**, R.; Roux, C. - Le formulaire des installations Sanitaires (Tome 2 – Eau Chaude). Ed. Delagrave. Paris. 1977.

**FARIA-Rodrigues**, Paulina - Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias. Forum Museológico do Distrito de Setúbal e Museu de Arqueologia e Etnografia do Distrito de Setúbal. Revista MUSA, nº2 (Junho 2007), p.149-155.

**Ferreira**, Hélder. Estudo exploratório sobre a utilização do RCCTE na avaliação do desempenho passivo de edifícios residenciais. Relatório da dissertação do mestrado integrado em engenharia mecânica (MIEM). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fevereiro de 2008.

**Ferreira**, Vítor; Brito, Jorge - Madeira: um material estrutural amigo do ambiente. Actas da CIMAD 04 - A Madeira na Construção. 1º Congresso Ibérico. Guimarães 2004.

**Francisco**, Filipe - Arquitectura Sustentável para o Presente. Disponível 02.06.09 em: [http://ecocriacoes.pt/uploads/3/8/8/3/388326/ecocriacoes\\_-\\_arquitecturasustentavel.pdf](http://ecocriacoes.pt/uploads/3/8/8/3/388326/ecocriacoes_-_arquitecturasustentavel.pdf).

**Gomes**, Idália - Construção sismo-resistente em terra crua. Dissertação para obtenção do grau de mestre em construção. IST 2008.

**Gomes**, José - Eficiência energética em edifícios: Estratégias Bioclimáticas. Monografia da disciplina de Arquitectura Bioclimática, do Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico. 2006.

**Gomes**, José - Utilização racional de energia em edifícios - Eficiência energética e a produção de águas quentes sanitárias. Monografia da disciplina de Construção Sustentável e Inovação Tecnológica, do Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico. 2005.

**Gomes**, José. - Reabilitação térmica de edifícios. Monografia da disciplina de Reabilitação das Construções e Estudo de Casos, do Mestrado em Construção, no Instituto Superior Técnico. 2005.

**Gonçalves**, Helder; Cabrito, Pedro - Edifício Solar XXI: Um edifício energeticamente eficiente em Portugal. Actas do XII Congreso Ibérico y e VII Congreso Íbero Americano de Energía Solar Vigo. España, 14-18 Septiembre 2004.

**Gonçalves**, Helder; Cabrito, Pedro; Oliveira, Marta; Patrício, Anita - Edifícios Solares Passivos em Portugal. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. 1997.

**Gonçalves**, Helder; Oliveira, Marta; Patrício, Anita; Cabrito, Pedro - Passive Solar Buildings in Portugal. Experiences in the last 20 years. Disponível em:

[http://arquitectologia.org/INETI\\_Passive\\_Solar\\_1.pdf](http://arquitectologia.org/INETI_Passive_Solar_1.pdf)

**Gonçalves**, Hélder; Graça, João Mariz - Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. 2004.

**Gouveia**, Vítor - Integração de energia eólica-solar térmica na produção de água quente. Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia mecânica da Universidade de Aveiro. 2007.

**Guedes**, Manuel - Arquitectura Sustentável. Apresentação na Lisboa E-Nova. 2007.

**Lamberts**, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O.R. - Eficiência Energética na Arquitectura. PW Editores - Brasil - São Paulo, 1997.

**Lamberts**, Roberto; Triana, María - Levantamento do estado da arte: energia. Projecto tecnologias para construção habitacional mais sustentável (Projecto Finep 2386/04). São Paulo 2007. Disponível 19.Set.09 em: [http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-2\\_energia.pdf](http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-2_energia.pdf).

**Lanham**, Ana; Gama, Pedro; Braz, Renato - Arquitectura Bioclimática: perspectivas de inovação e futuro. Seminários de Inovação. IST - Junho de 2004.

**Loureiro**, David – Desenvolvimento da Energia Solar em Portugal. Apresentação na Escola da Energia 2009 – GALP/EcoEscolas. Março 2009. Disponível em: [http://www.abae.pt/programa/EE/escola\\_energia/2009/docs/energia\\_solar\\_david\\_loureiro.pdf](http://www.abae.pt/programa/EE/escola_energia/2009/docs/energia_solar_david_loureiro.pdf).

**Mateus**, Ricardo - Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil. Departamento de engenharia civil da Universidade do Minho. Março de 2004.

**Mendonça**, Paulo - Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacte ambiental de construções solares passivas em climas temperados. Tese de doutoramento em engenharia civil. Universidade do Minho. 2005.

**Moita**, Francisco - Energia Solar Passiva (Volume 1). Direcção-Geral de Energia. Lisboa INCM. 1987.

**Oliveira**, Carlos - A metodologia da avaliação do ciclo de vida na definição de critérios de sustentabilidade em edifícios. Dissertação para obtenção do grau de mestre em planeamento e construção sustentável. Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa. 2008.

**Oliveira**, Carlos; Inácio, Marques; Pinto, A. A metodologia da avaliação do ciclo de vida na definição de critérios de sustentabilidade em edifícios. Actas do congresso de inovação na construção sustentável (CINCOS 08). Plataforma para a Construção Sustentável. 2008.

**Oliveira**, Thaisa - Sustentabilidade e Arquitectura: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção Civil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Brasil. Janeiro de 2006.

**Piedade**, A. Canha da; Rodrigues, A. Moret; Roriz, Luís F. - Climatização em Edifícios (Envolvente e Comportamento Térmico). Edições Orion. 2000.

**Programa AQSpP** - Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico. DGGE / IP-AQSpP. 2004. Disponível em: <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf>

**Ramos**, Hermínio Duarte - Balanço Energético em Edifícios: para uma política da energia

em Portugal. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. 2007. Disponível 21.09.2009 em:

[http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/10437/395/1/tema2\\_3.pdf](http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/10437/395/1/tema2_3.pdf).

**Roaf**, Sue; Fuentes, Manuel; Thomas, Stephanie - Ecohouse: a design guide. Architectural Press, 2001.

**Rocheta**, Vera; Farinha, Fátima - Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável. Actas do Congresso da Construção 2007. Coimbra.

**Rodrigues**, Moret - Reabilitação térmica de edifícios. Elementos de apoio ao Diploma de Formação Avançada em Construção. IST. 2007.

**Santos**, Carlos Pina; Rodrigues, Rodrigo; Vilhena, António – Reabilitação térmica no sector residencial: estratégias e medidas. Actas do Patorreb 2009. Porto. 2009.

**Silva**, Pedro - Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VISualDOE. Tese de mestrado em engenharia civil - ramo de processos e gestão da construção. Universidade do Minho. Janeiro de 2006.

**Silva**, Vanessa - Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de doutor em engenharia. Departamento de engenharia de construção civil. 2003.

**Silva**, Vanessa - Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica. Projecto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável (Projecto Finep 2386/04). São Paulo 2007. Disponível 18.09.2009 em: [http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5\\_metodologias\\_de\\_avaliacao.pdf](http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5_metodologias_de_avaliacao.pdf).

**Simões**, Fausto - Introdução à arquitectura bioclimática. 2009  
Disponível em: <http://arquitectologia.org/Descs/Clifaut10.htm>.

**Vieira**, Miguel. Técnicas construtivas ambientalmente adequadas. Mestrado integrado em engenharia civil. Departamento de engenharia civil da faculdade de engenharia da Universidade do Porto. 2008.

## 7.2 Publicações legais e normativas

Despacho n.º 10250/2008, de 8 de Abril - Modelo dos certificados de desempenho energético e da qualidade do ar interior. Imprensa Nacional - Casa da Moeda. Lisboa.

Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu, de 16 de Dezembro de 2002. Relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril. Relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos.

PNAEE (2008) - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética. Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, publicada a 20 de Maio de 2008. Imprensa Nacional - Casa da Moeda. Lisboa.

prEN 15217/2005 - Projecto de Norma Europeia, preparado pela Comissão Técnica CEN/TC 89 (Desempenho Térmico de Edifícios e seus Componentes).

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (**RCCTE**). Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril. Imprensa Nacional - Casa da Moeda. Lisboa.

Regulamento Geral das Edificações Urbanas (**RGEU**). Decreto-Lei 38382, de 7 de Agosto de 1951. Imprensa Nacional - Casa da Moeda. Lisboa.

Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (**SCE**). Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril. Imprensa Nacional - Casa da Moeda. Lisboa.

### 7.3 Páginas na Internet

<http://arquitecologia.org/index.html> - Página Pessoal do Arquitecto Fausto Simões.

<http://ec.europa.eu/agriculture/rur/leader2/rural-pt/biblio/energy/intro.htm#toc> (17.05.09).

[http://ec.europa.eu/energy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/index_en.htm) - Portal da Comissão Europeia dedicado à energia.

[http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/lists/energy-efficient-buildings\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/lists/energy-efficient-buildings_en.html) (4.07.09).

[http://erg.ucd.ie/heating\\_cooling/index.htm](http://erg.ucd.ie/heating_cooling/index.htm) - Curso na Internet sobre energia (05.07.09).

[http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/index\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/index_en.htm) - Portal Europeu das Sínteses da legislação da União Europeia.

[http://pt.enerbuilding.eu/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2&Itemid=2](http://pt.enerbuilding.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=2) - Projecto ENERBUILDING - Eficiência Energética.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> - Sistema de informação geográfica fotovoltaica (PVGIS).

<http://valeemartins.no.sapo.pt/produtos.html> (02.09.09).

<http://www.adene.pt/ADENE.Portal> - Portal da Agência para a energia (ADENE). (02.09.09).

<http://www.aldageed.pt/>

<http://www.bsc.ca.gov/default.htm> - Portal da comissão de normalização do sector da construção da Califórnia (USA).

<http://www.buildup.eu/> - Portal Europeu da eficiência energética em edifícios. (01.09.2009).

<http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/paredes-trombe>. (09.09.2009).

<http://www.ceeeta.pt/energia/files/> - Portal do Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente (**CEEETA**). (07.07.09).

[http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/easee\\_about.html](http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/easee_about.html) - Portal do projecto Francês para a Educação de Arquitectos para a energia solar e a Ecologia (**EASE**). (05.07.09).

[http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/Tombazis/web\\_2.htm](http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/Tombazis/web_2.htm). (05.07.09).

[http://www.ecocasa.pt/energia\\_content.php?id=14](http://www.ecocasa.pt/energia_content.php?id=14). **Quercus**: Projecto Ecocasa, um projecto para todos os cidadãos. (28.09.09).

<http://www.ectp.org/> - Portal Europeu da plataforma para a tecnologia da construção.

<http://www.eficiencia-energetica.com/>. (03.07.09).

[http://www.efriarc.pt/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://www.efriarc.pt/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1) – Página da Associação Portuguesa dos Engenheiros de Frio Industrial e Ar Condicionado (**EFRIARC**).

<http://www.enat.pt/pt/subpages.php?id=91&sub=24>. (02.09.09).

<http://www.energaia.pt/poupe/agua.php>. (17.05.09).

<http://www.energiasrenovaveis.com/> - Portal das energias renováveis – (**PER**). (19.09.09).

<http://www.energycodes.gov/> - Portal do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE).

<http://www.epbd-ca.org/> - Portal da União Europeia dedicado à Directiva Europeia sobre o desempenho energético dos edifícios (**EPBD**).

<http://www.erec.org/> - Portal Europeu do Conselho para as energias renováveis (**EREC**). (25.09.09).

<http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx> - Portal da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (**ERSE**). (09.09.2009).

<http://www.estif.org/home/> - Portal da Federação Europeia da Indústria do Solar Térmico (**ESTIF**).

<http://www.eurima.org/index.php> - Portal da Associação Europeia dos fabricantes de isolamentos para a construção (**EURIMA**).

<http://www.euroace.org/> - Portal da Aliança Europeia das companhias de Eficiência Energética em Edifícios (**EUROACE**).

<http://www.futursolutions.pt/energias-alternativas.html>. (15.09.08).

<http://www.geoclimadesign.com/kapillar/index.php?m=0&p=0&lang=eng>. (acesso 02.09.2009).

<http://www.iea.org/> - Portal da Agência Internacional de Energia (**IEA**). (15.09.08).

<http://www.iea-pvps.org/tasks/task7.htm> - Task 7 - Sistemas de Energia Fotovoltaica em Ambiente Urbano.

<http://www.iea-shc.org/> - Portal do programa de aquecimento e arrefecimento solar (**SHC**) da agência internacional de energia (**IEA**).

<http://www.ise.fraunhofer.de/publications> - Portal com as publicações em Inglês do Fraunhofer ISE, Instituto Alemão de investigação para os sistemas de energia solar.

[http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv\\_5161/ecv\\_5161.html](http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ecv_5161.html) - Laboratório de eficiência energética em edificações (**LabEE**).

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/tareb/en/index.html> - Portal do Mestrado Europeu de Integração de Energias renováveis em Edifícios (**TAREB**). (07.07.09).

<http://www.naima.org/main.html> - Portal da Associação Americana dos fabricantes de isolamentos para a construção (**NAIMA**).

<http://www.osti.gov/energycitations/> - Base de dados Americana com citações sobre energia (ECD).

[http://www.passiv.de/07\\_eng/index\\_e.html](http://www.passiv.de/07_eng/index_e.html) - Portal Alemão do Passive House Institut, dedicado à investigação e desenvolvimento sistemas energéticos altamente eficientes.

<http://www.raee.org/> - Portal da Agência para a Energia e Ambiente de Rhône-Alpes (05.07.09).

<http://www.solarthermalworld.org/> - Portal do conhecimento para profissionais do Solar Térmico.

<http://www.sunaitec.pt/empresa.htm> - Portal da Sunaitec, empresa de tecnologias solares

inovadoras (**Sunaitec**).

<http://www.usgbc.org/> - Portal Americano da U.S. Green Building Council (**USGBC**), contendo informação sobre o sistema de certificação ambiental de edifícios **LEED**.

<http://www.worldclimate.com/> - Portal com informação sobre o clima a nível Mundial.