



Redução do Consumo de Energia de Origem Fóssil e da Emissão de CO₂ no Sector da Construção

Álvaro Gomes Pereira

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof.^a Doutora Ana Paula Ferreira Pinto

Orientador: Prof. Doutor Pedro Manuel Gameiro Henriques

Vogal: Prof.^a Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Junho de 2013

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais, por toda a sua paciência, carinho e sobretudo motivação que sempre me transmitiram ao longo de todo o meu percurso no Instituto Superior Técnico.

Ao Professor Doutor Pedro Henriques também o meu obrigado, não só por toda a sua disponibilidade, amizade, simpatia e conselhos, mas também por todo o entusiasmo que revelou relativamente ao tema deste trabalho. Não poderia ter tido melhor orientação na elaboração desta dissertação.

Ao Nuno e ao Patronilo, pela sua amizade desde os nossos cinco anos e por terem estado sempre ao meu lado, mesmo nos momentos mais difíceis.

Finalmente para a Sara, pelo seu exemplo e pela sua voz de incentivo que me acompanhou sempre ao longo destes anos académicos. Obrigado por teres acreditado sempre em mim, foi um privilégio ter partilhado contigo todas as horas de estudo, todas as pausas de estudo e todas as expectativas e sonhos que sentimos durante a nossa formação, não só como engenheiros mas também como seres humanos.

A todos o meu muito obrigado

Resumo

Este trabalho visa o estudo da redução do impacto ambiental do sector da construção civil, sendo este o que exige um maior consumo energético de origem fóssil e de recursos naturais finitos. Esta redução é estudada de acordo com três pontos fundamentais: climatização natural das edificações, utilização de sistemas de produção de energias renováveis e utilização de materiais de construção sustentáveis.

São abordados, numa primeira fase, os diferentes sistemas passivos e a linha de pensamento da Biomimética como formas de climatizar naturalmente as construções, os diferentes sistemas de produção de energias renováveis e de que forma estes se incorporam nas edificações, e finalmente a madeira e a cortiça enquanto materiais de construção de elevada sustentabilidade.

Numa segunda e última fase, são apresentados três casos de estudo de edifícios que colocam em prática as matérias abordadas.

As principais conclusões a reter são que a climatização natural permite uma grande redução do consumo energético de origem fóssil e consequentes emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal e mais nocivo dos gases de efeito de estufa (GEE). Esta redução é também obtida pela utilização de energias renováveis como alternativa energética limpa e livre de resíduos e a utilização da madeira e cortiça enquanto materiais de construção, não apenas devido à eficiência de isolamento térmico que permitem, mas sobretudo devido à capacidade única que ambas possuem em reter o CO₂ da atmosfera durante a sua vida útil.

Palavras-Chave: Climatização Natural, Energias Renováveis, Materiais Sustentáveis.

Abstract

This work aims to study how the environmental impact of the construction industry can be reduced, being this industry the one that requires a higher fossil based energy and limited natural resources consumption.

This reduction is studied according to three fundamental points: natural heating and cooling of buildings, the use of renewable energy production systems and the use of sustainable construction materials.

The first part will deal with all the different existing passive systems and Biomimicry as ways to obtain a natural heating and cooling, as well as how the existing renewable energy systems can be incorporated in the constructions and what will be the sustainable gain of using timber and cork as constructive materials.

Secondly and finally, three case studies that put into practice the covered topics will be presented.

The main conclusions are that a natural heating and cooling allow a great reduction in fossil based energy consumption as well as the correspondent carbon dioxide (CO₂) emissions, being this reduction also achieved by using renewable energy as an alternative energy source and by using timber and cork as construction material, not only due to their thermal insulation efficiency but mostly due to their unique ability to retain CO₂ from the atmosphere.

Keywords: Natural Heating and Cooling, Renewable Energy, Sustainable Materials

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Tabelas	xii
Índice de Gráficos	xiii
Índice de Figuras	xiv
Índice de Abreviaturas	xviii
1. Introdução	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Objectivos Propostos e Estrutura	3
1.3. Metodologia Utilizada	5
2. Climatização Natural de Edifícios	7
2.1. Sistemas Passivos de Climatização	8
2.1.1. Sistemas Passivos de Aquecimento	10
2.1.1.1. Ganho Directo	10
2.1.1.2. Ganho Indirecto	11
2.1.1.2.1. Paredes de Trombe	11
2.1.1.2.2. Paredes e Cobertura de Água	13
2.1.1.2.3. Pavimento de Armazenamento Térmico	14
2.1.1.3. Ganho Isolado	15
2.1.1.3.1. Estufas	15
2.1.1.3.2. Sistemas de Termossifão	16
2.1.2. Sistemas Passivos de Arrefecimento	17
2.1.2.1. Ventilação Natural	18
2.1.2.2. Chaminé e Câmara Solar	18
2.1.2.3. Aspiradores Estáticos	19
2.1.2.4. Arrefecimento pelo Solo	20
2.1.2.5. Radiação Nocturna	20
2.2. Biomimética	21
2.2.1. Exemplos da Biomimética na Construção	22
2.2.1.1. Complexo Cultural Esplanade Theatre	22
2.2.1.2. Sistema de Ventilação Vawtex	23
2.2.1.3. Eastgate Center	24
3. Sistemas de Produção de Energias Renováveis	27
3.1. Energia Solar	28
3.2. Energia Eólica	30

3.3. Energia Hídrica	32
3.4. Energia da Biomassa	34
3.5. Novos Sistemas de Energias Renováveis	35
Fotossíntese Artificial	35
4. A Madeira como Material de Construção Estrutural	39
4.1. Fisiologia da Árvore e Produção de Madeira	39
4.2. Propriedades Naturais da Madeira.....	41
4.2.1. Contribuição para a redução de CO2 na Atmosfera	42
4.2.2. Recurso Renovável	42
4.3. Resistência Mecânica da Madeira	44
Resistência à Compressão	44
Resistência à Tracção.....	45
Resistência ao Corte	45
Resistência à Flexão	45
4.4. Factores que Influenciam a Resistência da Madeira	45
4.4.1. Teor de Humidade.....	46
4.4.2. Inclinação do Fio	46
4.4.3. Tempo de Actuação de Cargas.....	46
4.4.4. Defeitos	47
4.5. A Madeira como Material Sustentável.....	47
4.5.1. Energia Incorporada.....	48
4.5.2. Poupança Energética	50
4.5.3. Potencial de Reutilização e Reciclagem	52
4.6. Produtos Derivados da Madeira.....	52
4.6.1. Contraplacados	53
4.6.2. Aglomerados de Partículas Longas e Orientadas.....	54
4.6.3. Painéis de Madeira Lamelada Colada	54
4.7. Durabilidade	55
4.8. Comportamento ao Fogo	56
Reacção ao Fogo	57
Resistência ao Fogo.....	58
4.9. Protecção da Madeira ao Fogo	60
Protecção com Retardantes de Fogo.....	60
Sistemas de Protecção Mecânica	61
4.10. Comportamento Sísmico	61
5. A Cortiça como Material de Isolamento Térmico Sustentável	63
5.1. Estrutura e Propriedades da Cortiça	64
5.2. A Cortiça como Recurso Natural Sustentável.....	66

5.3. Peso da Cortiça na Economia Nacional.....	67
5.4. Produtos Baseados em Cortiça na Construção	67
5.4.1.Placas de Aglomerados Compostos de Cortiça.....	68
5.4.2.Placas de Aglomerados Expandidos de Cortiça	69
5.5. Estudo de Sustentabilidade das Placas de Aglomerados Expandidos de Cortiça	72
5.5.1.Extracção da Matéria Prima	72
5.5.2.Processos de Produção	73
5.5.3.Utilização	75
5.5.4.Reutilização/Reciclagem	75
6. Casos de Estudo	77
6.1. Edifício Solar XXI.....	77
6.1.1.Caracterização do Edifício	79
6.1.2.Detalhes Construtivos	80
6.1.3.Comportamento Térmico.....	81
6.1.4.Sistemas Fotovoltáicos	82
6.1.5.Aquecimento do Edifício.....	83
6.1.6.Arrefecimento do Edifício	85
6.1.7.Iluminação Natural	88
6.2. Edifício Stadthaus Murray Grove	89
6.2.1.Descrição Estrutural e Construtiva.....	90
6.2.2.Isolamento Térmico e Acústico	92
6.2.3.Comportamento ao Fogo	93
6.2.4.Vantagens Comparativamente com outras Soluções	93
6.3. Pavilhão de Portugal na Expo Shangai 2010.....	94
7. Considerações Finais	97
8. Referências Bibliográficas	99

Índice de Tabelas

Capítulo 4

Tabela 4.1 – Valores da condutibilidade térmica da madeira e outros materiais	50
Tabela 4.2 – Classes portuguesas de reacção dos materiais ao fogo	57
Tabela 4.3 – Comparação entre as classes de reacção ao fogo portuguesas e europeias	58

Capítulo 5

Tabela 5.1 – Constituintes químicos da cortiça	66
Tabela 5.2 – Massas volúmicas das placas de cortiça consoante a sua finalidade	68
Tabela 5.3 – Características médias do aglomerado de cortiça expandida	71

Capítulo 6

Tabela 6.1 – Composição do pavimento e valores de isolamento acústico e vibrático	92
---	----

Índice de Gráficos

Capítulo 1

Gráfico 1.1 – Distribuição do consumo energético por sector de actividade 1

Capítulo 2

Gráfico 2.1 – Distribuição do consumo energético por actividades domésticas 7

Capítulo 4

Gráfico 4.1 – Distribuição mundial das áreas florestais 43

Gráfico 4.2 – Distribuição do consumo energético do ciclo de vida das construções 49

Capítulo 5

Gráfico 5.1 – Distribuição da produção mundial de cortiça 67

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 – Esquema dos campos dissertados	3
---	---

Capítulo 2

Figura 2.1 – Ganho directo	10
Figura 2.2 – Ganho indirecto	11
Figura 2.3 – Parede de trombe ventilada e esquema do seu funcionamento	12
Figura 2.4 – Cobertura de água	14
Figura 2.5 – Pavimento de armazenamento térmico	15
Figura 2.6 – Ganhos isolados por estufa	16
Figura 2.7 – Sistema de termossifão	16
Figura 2.8 – Chaminé Solar	18
Figura 2.9 – Câmara solar numa cobertura	19
Figura 2.10 – Aspirador estático	19
Figura 2.11 – Arrefecimento pelo solo	20
Figura 2.12 – Vista exterior do edifício Esplanade.....	22
Figura 2.13 – Vista interior do edifício	22
Figura 2.14 – Fruto durian	22
Figura 2.15 – Pormenor do sombreamento exterior	22
Figura 2.16 – Vista do sistema de sombreamento pelo interior.....	23
Figura 2.17 – Sistema Vawtex	24
Figura 2.18 – Sementes do fruto sâmara	24
Figura 2.19 – Edifício Eastgate Center	24
Figura 2.20 – Vista interior do edifício	24
Figura 2.21 – Chaminé solar do edifício e ninho de térmitas.....	25
Figura 2.22 – Comparação da estrutura interior do ninho de térmitas com a do edifício	26

Capítulo 3

Figura 3.1 – Painéis fotovoltaicos	28
Figura 3.2 – Aplicação de painéis fotovoltaicos numa cobertura	28
Figura 3.3 – Colectores solares	29
Figura 3.4 – Sistema de funcionamento de colectores solares	29
Figura 3.5 – Torres eólicas	30
Figura 3.6 – Componentes de uma torre eólica	30
Figura 3.7 – Vista exterior da sede da Oklahoma Medical Research Foundation	31

Figura 3.8 – Turbinas eólicas na cobertura	32
Figura 3.9 – Instalação das turbinas	32
Figura 3.10 – Barragem	32
Figura 3.11 – Componentes de uma turbina hidráulica	32
Figura 3.12 – Turbina da Ibasei	33
Figura 3.13 – Ciclo da Biomassa enquanto fonte energética	34
Figura 3.14 – Recuperador de calor e sua aplicação numa habitação.....	35
Figura 3.15 – Célula solar para fotossíntese artificial	36
Figura 3.16 – Funcionamento da célula	36

Capítulo 4

Figura 4.1 – Floresta	40
Figura 4.2 – Árvore	40
Figura 4.3 – Secção transversal de um tronco de árvore	40
Figura 4.4 – Floresta	43
Figura 4.5 – Principais direcções relativamente às fibras da madeira	44
Figura 4.6 – Ciclo de vida da madeira na construção.....	48
Figura 4.7 – Contraplacado	53
Figura 4.8 – Detalhe da secção transversal de um contraplacado	53
Figura 4.9 – Painel OSB	54
Figura 4.10 – Aplicação em acabamentos interiores	54
Figura 4.11 – Painéis de madeira lamelada colada	55
Figura 4.12 – Templo Kiyomizu-dera	55
Figura 4.13 – Ensaio da IVALSA à propagação do fogo em edifícios de madeira	59
Figura 4.14 – Ensaio da IVALSA ao comportamento sísmico de um edifício de madeira	62

Capítulo 5

Figura 5.1 – Sobreiro	64
Figura 5.2 – Cortiça.....	64
Figura 5.3 – Esquema do crescimento da cortiça no sobreiro (secção transversal)	65
Figura 5.4 – Estrutura microscópica da cortiça	65
Figura 5.5 – Painéis de linóleo	69
Figura 5.6 – Aplicação de painéis de linóleo em pavimento	69
Figura 5.7 – Painéis de corkrubber	69
Figura 5.8 – Placas ICB	70
Figura 5.9 – Aplicação como isolamento térmico pelo exterior	70
Figura 5.10 – Extração da cortiça	72
Figura 5.11 – Etapas da produção das placas de aglomerados de cortiça expandida	74

Capítulo 6

Figura 6.1 – Edifício solar XXI.....	77
Figura 6.2 – Planta do Edifício Solar XXI	79
Figura 6.3 – Fachada Norte e Oeste	79
Figura 6.4 – Planta com orientação das fachadas.....	79
Figura 6.5 – Construção dos panos de alvenaria do edifício	80
Figura 6.6 – Colocação do isolamento térmico na cobertura do edifício	80
Figura 6.7 – Fachada Sul do edifício	81
Figura 6.8 – Painéis fotovoltaicos incorporados na fachada	82
Figura 6.9 – Colectores solares na cobertura	82
Figura 6.10 – Sistema de painéis fotovoltaicos no parque de estacionamento	83
Figura 6.11 – Exterior da parede de trombe	83
Figura 6.12 – Interior da parede de trombe	83
Figura 6.13 – Funcionamento da parede de trombe para aquecimento	84
Figura 6.14 – Esquema de funcionamento da chaminé solar central	86
Figura 6.15 – Detalhe dos orifícios de ventilação nas portas	86
Figura 6.16 – Funcionamento da parede de trombe para arrefecimento	87
Figura 6.17 – Poço de alimentação	87
Figura 6.18 – Sistema de arrefecimento pelo solo	87
Figura 6.19 – Conexão das tubagens às coretes	88
Figura 6.20 – Saídas de ventilação para entrada do ar.....	88
Figura 6.21 – Iluminação natural no poço de escadas	89
Figura 6.22 – Iluminação natural pela clarabóia	89
Figura 6.23 – Stadthaus Murray Grove	89
Figura 6.24 – Estrutura do edifício por camadas	89
Figura 6.25 – Caixa de escadas	90
Figura 6.26 – Caixa para elevador	90
Figura 6.27 – Assemblagem dos painéis CLT durante a obra	91
Figura 6.28 – Detalhe das ligações metálicas entre placas CLT	91
Figura 6.29 – Composição transversal do pavimento	92
Figura 6.30 – Construção do edifício com recurso a guindastre móvel	94
Figura 6.31 – Vista exterior do pavilhão	95
Figura 6.32 – Revestimento exterior em ICB	95

Índice de Abreviaturas

ANPC – Autoridade Nacional de Protecção Civil

CLT – Cross Laminated Timber

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FR – Fire Retardant

FSC – Forest Stewardship Council

GEE – Gases de Efeito de Estufa

ICB – Insulation Cork Board

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Informação

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IVALSA – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PEFC – Programme for the Endorsement of Forest Certification

PVC – Policloreto de Vinil

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RGSCIE – Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

OSB – Oriented Strand Board

SCIE – Segurança Contra Incêndios

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação elaborado pelo Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC) e apresentado em 2007 (Solomon et al, 2007), o crescente aumento da concentração de Gases de Efeito de Estufa (GEE), provocarão um aquecimento do planeta entre 1,8 a 4°C até ao final do século. Este documento prevê ainda que devido a este aumento de temperatura, não só o nível do mar poderá subir até 58 cm, roubando desta forma enormes porções de terra, como as consequentes secas e ondas de calor poderão provocar grandes e gravosas reduções na produção de alimentos afectando, por exemplo, o cultivo de cereais.

O Homem, em toda a sua actividade industrial, é um dos maiores responsáveis por este aquecimento global e gradual destruição do planeta. Enormes quantidades de recursos naturais são consumidos para que se alimente a crescente produção de bens de cada um dos diferentes sectores de actividade, correspondendo todo este processo a elevadas emissões de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais e mais nocivos gases de efeito de estufa.

Como tal é absolutamente necessário que exista um esforço global e em todos os sectores de actividade para que se pare com este consumo desenfreado de recursos naturais limitados, que se pare com este desenvolvimento desprovido de lógica e sustentabilidade, que se pare com a destruição do nosso maior e mais precioso bem, o planeta terra, o nosso planeta.

O sector da construção civil é um dos grandes responsáveis por esta degradação ambiental crescente, sendo que o seu impacto ambiental é transversal a todas as fases de vida das construções.

De acordo com dados referentes à União Europeia, este é mesmo o sector de actividade que mais energia de origem fóssil consome (Europa, 2012), sendo que este consumo representa elevadas emissões de CO₂ para a atmosfera (Gráfico 1.1).

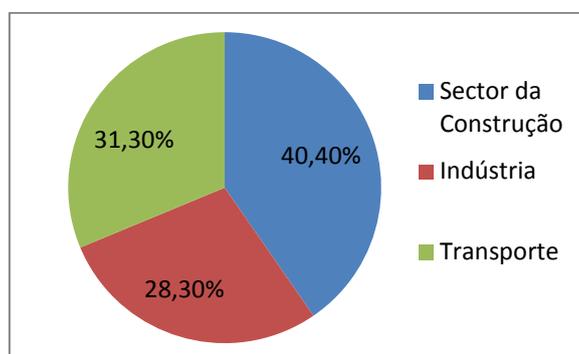


Gráfico 1.1 – Distribuição do consumo energético por sector de actividade (Europa, 2012)

Este elevado consumo energético traduz-se numa também elevada emissão de CO₂ para a atmosfera. Alguns estudos indicam que, nas grandes capitais europeias, este sector é

responsável por cerca de 25% do valor anual total de emissões deste gás (Giaconia et al., 2010).

Também na exploração de recursos naturais limitados, este sector assume um pesado fardo ambiental, sendo responsável por 20 a 50% do consumo dos recursos naturais disponíveis no planeta (Andreis et al., 2009).

Tem-se então que, desde o consumo de recursos naturais limitados para produção dos materiais de construção, passando pelo elevado consumo energético que estas representam durante a sua utilização, até ao fim da sua vida útil, onde são geradas enormes quantidades de resíduos, muito se pode fazer para reduzir a pegada de carbono deste sector.

Esta dissertação aborda três pontos cruciais para um ganho de sustentabilidade das edificações:

- Climatização natural das edificações como forma de reduzir o consumo energético associado à climatização artificial das mesmas;
- Utilização de sistemas de produção de energias renováveis, incorporadas nas edificações, como alternativa limpa e livre de resíduos poluentes à energia de origem fóssil;
- Recurso a materiais sustentáveis, com baixa energia incorporada, provenientes de fontes renováveis e com elevadas possibilidades de reutilização ou reciclagem.

A climatização natural das edificações pode ser efectuada, quer pelos designados sistemas passivos de climatização, quer por uma nova linha de pensamento na construção designada por Biomimética. Ambas utilizam os diferentes princípios de transferência de calor entre os materiais para o aquecimento ou arrefecimento dos espaços interiores das construções. Evita-se desta forma o recurso a uma climatização artificial que exige um elevado consumo energético.

Os sistemas de produção de energias renováveis permitem a obtenção de uma energia limpa e sem emissões de CO₂. O recurso à energia solar, eólica, hídrica, de biomassa e mesmo a novas formas de energias renováveis, tais como a fotossíntese artificial, apresenta-se como uma alternativa sustentável à energia de origem fóssil.

Finalmente, a utilização da madeira e da cortiça como materiais de construção, permite uma enorme redução do impacto ambiental das edificações, não só por estes provirem de fontes renováveis que se encontram em constante crescimento (as florestas e os montados de sobro), mas também pela sua capacidade única de reter CO₂ na sua estrutura. São também materiais com uma baixa energia incorporado e com um excelente comportamento térmico, o que permite também reduzir o recurso à climatização artificial.

Que se estude, que se discuta, que se promova a questão da sustentabilidade, que se use toda a sapiência humana para reequilibrar a balança natural do planeta, não apenas pelas actuais mas por todas as futuras gerações.

"If you tolerate this, then your children will be next" – Manic Street Preachers

1.2. Objectivos Propostos e Estrutura

A presente dissertação apresenta um objectivo muito claro: o estudo da redução da pegada ambiental das edificações por climatização natural, recurso a energias renováveis e utilização de materiais sustentáveis.

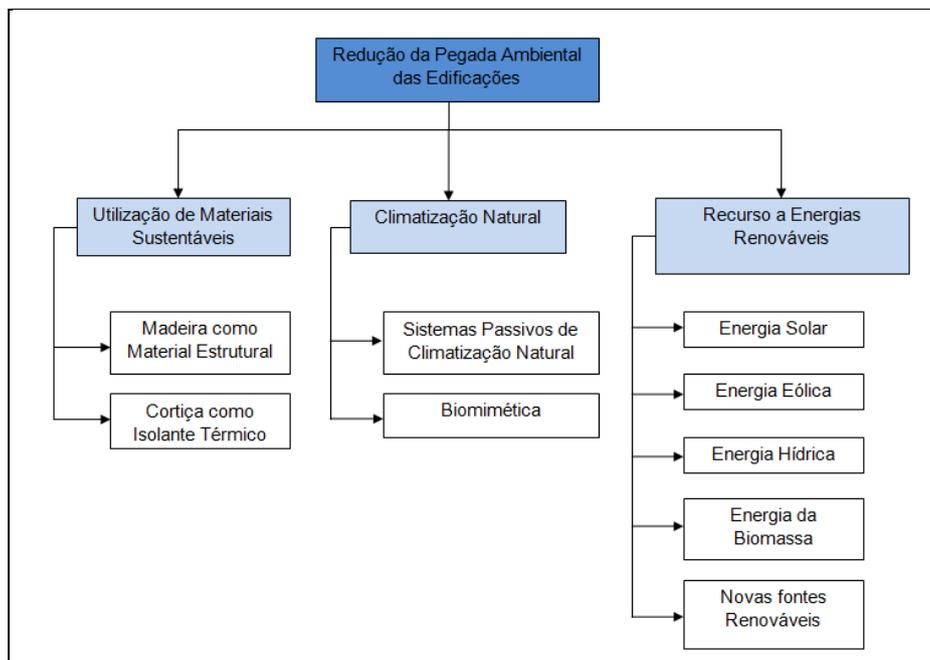


Figura 1.1 – Esquema dos campos dissertados

Como tal, esta, para cada um dos domínios referidos, propõe-se a:

- **Climatização Natural** – Estudar os diferentes sistemas passivos de climatização natural e o seu funcionamento, assim como introduzir o conceito da Biomimética aplicada à construção;
- **Recurso a energias renováveis** – Demonstrar o funcionamento e rendimento de sistemas de produção de energia solar, eólica, hídrica e de biomassa, fazendo também referência a uma possível aplicação da tecnologia de fotossíntese artificial no sector da construção;
- **Utilização de materiais sustentáveis** – Estudar as características mecânicas e sustentáveis da madeira, como material estrutural alternativo ao betão armado e aço, e da cortiça como isolante térmico, alternativo aos habituais isolantes sintetizados.

A análise do ganho de sustentabilidade dos pontos anteriores será enquadrada nas respectivas fases da vida das construções em que cada um interfere, e em que possibilitam uma redução do impacto ambiental das mesmas.

A estrutura desta dissertação organiza-se, então, segundo os seguintes capítulos:

- 1. Introdução** – Presente capítulo onde a temática desta dissertação é enquadrada e são expostos os seus objectivos, estrutura e metodologia de trabalho utilizada na sua elaboração;
- 2. Climatização Natural de Edifícios** – Neste capítulo serão aprofundados os principais sistemas passivos de climatização natural, descrevendo-se o seu funcionamento e aplicação nas construções. Introduce-se também a temática da Biomimética, apresentando-se alguns exemplos da sua aplicação na construção civil que permitiram obter grandes reduções do consumo energético de origem fóssil, para climatização artificial;
- 3. Sistemas de Produção de Energias Renováveis** – Aqui serão descritos os princípios e funcionamento dos sistemas de produção de energias renováveis das quatro principais fontes naturais: a solar, a eólica, a hídrica e a de biomassa, assim como a sua aplicabilidade nas habitações e rendimento que permitem obter. Será também apresentado um novo e promissor sistema, baseado na produção de energia através da fotossíntese artificial;
- 4. A Madeira como Material de Construção Estrutural Sustentável** – Neste capítulo, pretende-se demonstrar de que forma a madeira pode constituir uma alternativa sustentável e ecológica enquanto material de construção estrutural aos mais vulgarmente utilizados betão, aço e alumínio. Desta forma, depois de uma descrição deste material e das suas características naturais e mecânicas, serão aprofundadas algumas das suas propriedades que a tornam num material único em termos ecológicos, sendo realçada a sua capacidade de retenção de CO₂, a sua baixa energia incorporada, a eficiência energética que permite na fase de utilização das construções e finalmente o seu potencial de reutilização/reciclagem. Serão também abordados os principais produtos derivados da madeira e a melhoria em termos de resistência estrutural que permitem;
- 5. A Cortiça como Material de Isolamento Térmico Sustentável** – Depois de uma descrição da estrutura e propriedades da cortiça, serão aprofundadas as suas características sustentáveis, realçando-se, tal como na madeira, a sua capacidade de retenção de CO₂. Serão descritos os principais produtos com base neste material sendo focado o caso das placas de aglomerados expandidos de cortiça e promovendo-se para este um estudo de sustentabilidade que engloba todas as suas fases de vida enquanto material de construção;
- 6. Casos de Estudo** – Realiza-se neste capítulo, o estudo e análise de três edifícios que recorrem às opções construtivas e materiais defendidos ao longo desta dissertação. Pretende-se demonstrar a redução do recurso à energia de origem fóssil que os sistemas passivos de climatização natural e de produção de energias renováveis permitiram obter no caso do edifício solar XXI, o primeiro caso de estudo apresentado. Pretende-se também apresentar as vantagens construtivas e poupança na emissão de CO₂ que o Standthaus Murray Grove atingiu pelo recurso à madeira como material estrutural, demonstrando que a construção em altura com este material é já uma realidade viável, tendo para isso contribuído o aparecimento de um produto seu derivado, as placas de madeira lamelada colada (CLT- cross laminated timber). Finalmente, o último caso de estudo refere-se ao pavilhão de Portugal na exposição mundial de Shanghai em 2010. Este é um exemplo demonstrativo da aplicabilidade da cortiça como material de construção, principalmente

como revestimento exterior através das placas de aglomerados de cortiça expandida (ICB-insulation cork board);

7. Considerações Finais – Neste último capítulo serão apresentadas as principais conclusões retiradas de todos os assuntos dissertados.

1.3. Metodologia Utilizada

A elaboração deste trabalho assentou em duas fases distintas:

- Uma primeira, correspondente ao terceiro, quarto e quinto capítulo, onde existe uma intensa pesquisa em diversos documentos, livros, dissertações e na World Wide Web, de forma a recolher informações respeitantes aos tópicos propostos. Procurou-se sempre apresentar dados concretos e quantificáveis, comprovativos das posições defendidas. Estes proveem de diversos estudos efectuados por entidades oficiais e especialistas das matérias referidas, sendo por isso considerados como fidedignos;
- Uma segunda fase, correspondente ao sexto capítulo, onde se efectuou o estudo de três edificações, o edifício solar XXI, o Stadthaus Murray Grove e finalmente, o pavilhão português da exposição mundial de 2010 realizada em Shangai. Estes três casos de estudo, pretendem demonstrar de que forma os conhecimentos aprofundados são colocados na prática e quais os reais ganhos desta aplicação.

2. Climatização Natural de Edifícios

A redução do consumo energético das edificações, na fase de utilização, é uma das grandes metas do sector da construção civil. Cada vez mais, ao entrarmos num espaço comercial, escritório ou habitação, constatamos que estes espaços se encontram artificialmente climatizados.

Os sistemas de climatização artificial utilizados permitem um controlo total e exacto da temperatura interior pretendida, representando no entanto, um enorme consumo energético.

Também actividades como o aquecimento ou transporte de água nas edificações, a iluminação dos espaços interiores e a utilização de diversos aparelhos eléctricos, tais como computadores, televisões, electrodomésticos, entre outros, representam uma grande parcela da fatia correspondente ao consumo de energia na fase de utilização dos edifícios actuais.

De acordo com dados de 2010, em Portugal, a fase de utilização das edificações corresponde a cerca de 30% do total de consumo energético, correspondendo este valor a uma emissão de 4,5 milhões de toneladas de CO₂ para a atmosfera (INE, I.P./DGEG, 2011).

Pode-se verificar no gráfico 2.1 o peso que cada uma das diferentes actividades e necessidades domésticas tem nesta fatia de consumo:

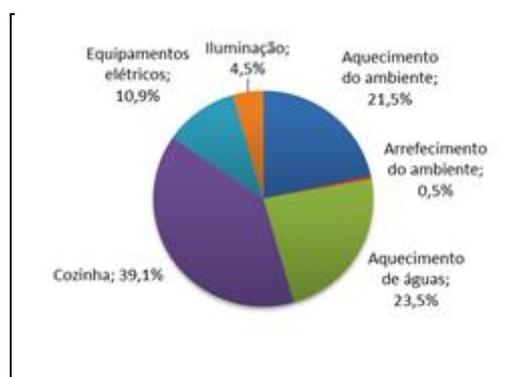


Gráfico 2.1 – Distribuição do consumo energético por actividades domésticas (INE, I.P./DGEG, 2011)

Neste capítulo serão abordadas duas formas de reduzir este consumo excessivo, recorrendo a uma climatização natural das edificações. Uma delas refere-se utilização de sistemas passivos de climatização e a outra por recurso a uma nova filosofia que começa a tornar-se influente no sector da construção, a Biomimética.

Tanto os sistemas passivos de climatização como a Biomimética são duas formas de rentabilizar as condições atmosféricas envolventes das edificações e os fenómenos de transferência de calor, para redução do consumo energético.

2.1. Sistemas Passivos de Climatização

Um dos grandes desafios que se coloca a quem projecta uma edificação é a sua climatização e ventilação, ou seja, é o projectar de forma a permitir que a temperatura e a qualidade do ar nos seus espaços interiores correspondam às designadas condições de conforto térmico e de boa salubridade para os seus utilizadores.

Relativamente à condição de conforto térmico, existem duas abordagens possíveis, uma utilizada quer pelo RCCTE (regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios), quer pelo RSECE (regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios), que estipula uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento, o inverno, e de 25°C para a estação de arrefecimento, o verão (RCCTE, Capítulo V Disposições Transitórias, Artigo 16º, Condições interiores de referência, alínea a), e outra, designada por adaptativa, que avalia o conforto necessário em função das condições ambientes exteriores da zona de implementação da edificação e da própria percepção térmica dos seus utilizadores (Matias, 2010).

A abordagem adaptativa permite assim uma maior flexibilidade na avaliação e imposição de valores limites da temperatura de conforto dos espaços interiores.

A respeito desta temática o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), realizou um estudo, tendo como amostra uma vasta gama de diferentes tipos de edifícios localizados em diferentes zonas climáticas ao longo de Portugal. Este concluiu que as temperaturas de referência de conforto térmico utilizadas, 20 e 25°C, não traduzem de forma rigorosa as reais necessidades de conforto sendo que, de forma a poderem ser cumpridas, acabam por conduzir a um excessivo consumo energético (Matias, 2010).

Revelou também que a tolerância dos utilizadores às temperaturas verificadas nos espaços interiores dos edifícios depende muito da capacidade destes em adaptarem-se termicamente às condições exteriores.

Esta adaptação permite uma maior abertura a uma climatização natural dos edifícios, realizada por recurso aos designados sistemas passivos de climatização, que serão abordados de seguida. Uma boa utilização destes sistemas permite uma redução significativa do consumo energético de um edifício, sendo que o LNEC defende que a sua utilização deve ser valorizada e devidamente quantificada numa futura revisão da regulamentação térmica em Portugal (Matias, 2010).

A definição de sistema passivo de climatização é a de todo o processo de arrefecimento ou aquecimento de espaços interiores em edificações que não represente consumo energético.

Estes sistemas baseiam-se em princípios físicos, tais como a radiação, a condução e a convecção térmicas, que podem ser caracterizados como:

- **A radiação térmica** consiste na transmissão do calor acumulado nos elementos constituintes da edificação para o seu ambiente envolvente, através de ondas electromagnéticas. Não é necessário, portanto, o contacto físico entre corpos para que se efectue a transmissão de calor, sendo que este é irradiado directamente do elemento acumulador para o ar a aquecer (Moret, 2010);

- **A condução térmica** dá-se entre dois elementos em contacto físico ou entre diferentes zonas de um mesmo elemento. Consiste na condução de calor por transferência de energia cinética das moléculas com temperatura mais elevada para as com temperatura mais baixa. Este processo dá-se em meios sólidos e não implica o transporte de matéria para que se processem as trocas térmicas (Moret, 2010);
- **A convecção térmica** consiste no deslocamento de uma massa de ar ou de líquidos. Estes, quando aquecidos, apresentam uma densidade inferior ao seu estado normal, o que propicia a sua ascensão e conseqüente formação de correntes de convecção de calor (Moret, 2010).

Convém também abordar aqui três propriedades dos materiais constituintes de uma edificação que representam um importante factor na sua capacidade em pôr em prática os princípios físicos de trocas térmicas, acima mencionados. Como tal referem-se:

- **A emissividade térmica**, que é a capacidade que um corpo possui de emitir calor por radiação. Quanto maior a emissividade de um corpo, mais calor este liberta por radiação. Como tal, no que toca a necessidades de aquecimento, a utilização de elementos com grande emissividade torna-se um aspecto importante do projecto construtivo e do planeamento de materiais a utilizar na edificação (Moret, 2010);
- **A inércia térmica**, que é a capacidade que um elemento possui de armazenar energia térmica na sua estrutura. Quanto maior a inércia térmica de um material, mais calor este consegue acumular. Desta forma, quando a temperatura exterior é elevada, o calor daí proveniente para os espaços interiores das habitações como que é absorvido, numa primeira instância, pelos elementos construtivos, impedindo-se, desta forma, que os espaços interiores das edificações sofram um aumento excessivo da sua temperatura do ar. Quando a temperatura exterior desce, como por exemplo durante o período nocturno, o calor acumulado nos elementos é libertado por radiação de forma gradual para o meio envolvente, promovendo o aquecimento dos espaços interiores nos períodos mais frios (Moret, 2010);
- **A condutibilidade térmica**, que representa a “permeabilidade” de um material à passagem do calor pela sua estrutura, ou seja, é a resistência que este oferece à transmissão interna de calor através da sua estrutura. Um material com baixa condutibilidade térmica representa um bom isolante térmico, visto que impede a transmissão de calor do exterior para o interior do edifício, no verão, assim como a perda deste do interior para o exterior do mesmo, no inverno. A espessura do elemento influencia também esta propriedade dos materiais e a capacidade que estes oferecem enquanto isolantes térmicos (Moret, 2010).

É então por recurso aos princípios referidos e tomando especial atenção às propriedades térmicas dos materiais utilizados que os sistemas passivos de climatização permitem o aquecimento ou arrefecimento de um edifício.

Dentro dos sistemas passivos de climatização, podemos distinguir dois géneros, os de aquecimento e os de arrefecimento.

2.1.1. Sistemas Passivos de Aquecimento

No inverno é necessário promover o aquecimento dos espaços interiores das edificações, por forma a que estes ofereçam condições de conforto térmico aos seus utilizadores.

Este aquecimento pode ser efectuado por recurso aos já referidos sistemas passivos de aquecimento, de três formas distintas: por ganhos solares directos, indirectos ou isolados (Paul, 1979).

De referir que muitos dos sistemas estudados em seguida permitem também promover o arrefecimento dos espaços interiores, apesar de o seu rendimento ser superior para o aquecimento das edificações.

2.1.1.1. Ganho Directo

Os sistemas passivos de aquecimento por ganho directo consistem num conjunto de opções construtivas que permitem o aquecimento dos espaços interiores por incidência directa da radiação solar. Destas referem-se:

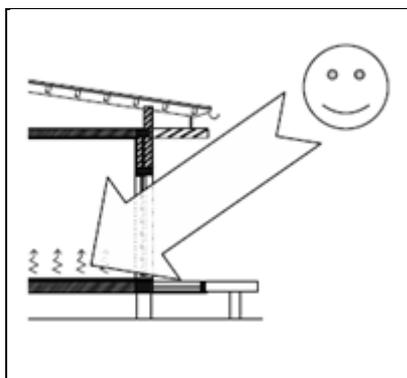


Figura 2.1 – Ganho directo (Fabute, 2003)

- Orientação a Sul da fachada com uma maior área total e de envidraçado. Desta forma, maximiza-se a área e a capacidade de absorção de radiação solar pelo edifício, visto que, no inverno, o nível de radiação solar é máximo nesta direcção. Também o uso de clarabóias e lanternins na cobertura promove uma maior entrada de radiação solar, permitindo não só o aquecimento, mas também uma boa luminosidade natural no interior do edifício (Mitjà et al., 1986);
- Um bom isolamento térmico dos espaços opacos das fachadas exteriores, e a utilização de vidros duplos permitem um maior controlo no que a perdas térmicas diz respeito. Estes diminuem as trocas térmicas com o exterior e conseqüente perda de calor. No caso dos vidros duplos, a lâmina de ar existente entre os dois vidros, para

além de reduzir as trocas térmicas por convecção, confere ainda uma redução na condutibilidade térmica verificada nos vidros simples. Além, disso conferem isolamento sonoro às divisões, proporcionando conforto acústico aos utilizadores (Mitjà et al, 1986);

- Ao utilização de cores claras nas paredes interiores do edifício permite uma maior reflexão da radiação solar para todo o espaço interior e, conseqüentemente, a distribuição de calor dá-se de forma mais uniforme e abrangente. Neste caso, deve-se também utilizar cores escuras nos pavimentos, não só para maximizar a absorção de radiação, como também para que o calor seja armazenado a um nível mais baixo (Mitjà et al., 1986).

2.1.1.2. Ganho Indirecto

Nos sistemas passivos de aquecimento por ganho indirecto, o calor é acumulado em elementos construtivos com boa inércia térmica, sendo depois libertado para os espaços a aquecer por radiação térmica ou por criação de correntes de convecção térmica (Figura 2.2). A libertação de calor pelos elementos acumuladores é feita de uma forma gradual e dá-se quando a temperatura do seu meio envolvente é inferior à verificada na sua estrutura.

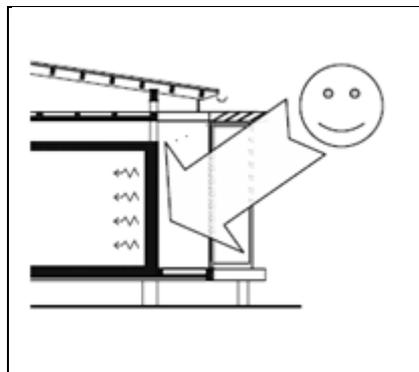


Figura 2.2 – Ganho indirecto (Fabute, 2003)

Como exemplos mais significativos destes sistemas, temos as paredes de trombe, as paredes e coberturas de água, e os pavimentos de armazenamento térmico (Construlink, 2006).

2.1.1.2.1. Paredes de Trombe

As paredes de trombe são constituídas por uma parede interior de material com boa inércia térmica, como pedra, betão ou terra compacta, por exemplo, uma superfície exterior em

envidraçado e uma caixa-de-ar com cerca de 5 a 20 cm, existindo duas variantes deste sistema, as ventiladas e as não ventiladas (Mitjà et al., 1986).

Nas paredes de trombe não ventiladas, o aquecimento é obtido através da transferência de calor da face da parede interior para as divisões a aquecer. Devido às altas temperaturas geradas na caixa-de-ar, desenvolvem-se fluxos de calor que, por condução térmica, atravessam a parede. No período nocturno, o calor aí acumulado é então emitido gradual e lentamente para os espaços interiores por radiação térmica. É crucial que, neste período, se utilize um sistema de oclusão exterior para minimizar as perdas térmicas (Mitjà et al., 1986).

As paredes de trombe ventiladas, para além da estrutura já descrita, possuem ainda orifícios de termo-circulação, na parte superior e inferior, quer da parede interior, quer do envidraçado (Mitjà et al., 1986).

Estes orifícios permitem que se criem correntes de convecção térmicas que, consoante a necessidade, tanto poderão ajudar no aquecimento como no arrefecimento dos espaços interiores (Figura 2.3).



Figura 2.3 – Parede de trombe ventilada e esquema do seu funcionamento (Gonçalves e Mariz, 2004)

No inverno, os orifícios de termo-circulação da superfície envidraçada devem estar fechados durante a noite e o dia para que se minimizem as perdas térmicas. Os orifícios da parede interior devem estar abertos durante o dia para que se criem correntes de convecção, onde o ar frio entra pelo orifício inferior, é aquecido na zona da caixa-de-ar da parede de trombe, sendo libertado de volta para os espaços interiores pelo orifício de termo-circulação superior.

Desta forma, o aquecimento é conseguido não pela condução do calor ao longo da parede e radiação desta para o ambiente interior da divisão, como também pela criação destas correntes de convecção térmicas do ar interior das divisões.

Quando a radiação solar deixar de ter uma intensidade significativa, os orifícios de ventilação da parede interior acumuladora de calor devem ser fechados para que se evite perdas de calor

por inversão da circulação do ar, e deve ser colocado o já referido sistema de oclusão exterior no envidraçado.

No verão, quer para o caso ventilado quer para o não ventilado, o envidraçado deve ser protegido por um sistema de sombreamento, para que se evitem ganhos térmicos em excesso.

No caso das paredes de trombe ventiladas, a abertura do orifício inferior da parede interior e do orifício superior do envidraçado favorece a ventilação das divisões a arrefecer, isto durante o dia. Durante a noite, ambos os orifícios do envidraçado devem estar abertos para que se proceda ao arrefecimento, quer da caixa-de-ar, quer da parede acumuladora de calor (Mitjà et al., 1986).

2.1.1.2.2. Paredes e Coberturas de Água

As paredes de água têm um funcionamento semelhante ao das paredes de trombe, sendo que nestas é a água o elemento acumulador de calor, estando contida em recipientes de coloração escura para que se absorva o máximo de radiação solar.

Estes recipientes não devem ser totalmente preenchidos por água, pois é necessário ter em atenção a sua dilatação, aquando do seu aquecimento. Como tal, deve ser deixado aproximadamente 10% do seu volume total vazio, para atender a este fenómeno (Mitjà et al., 1986)

Devido ao elevado calor específico e grande capacidade condutora, a transferência de calor para os espaços interiores é efectuada de forma muito mais rápida do que o verificado nas paredes de trombe. Torna-se então necessário um controle mais apertado, com recurso a isolamento móvel do sistema, para regrar e controlar a distribuição de calor para o interior do edifício (Mitjà et al., 1986).

É necessário também prever condições em que a água possa gelar, tais como no período de inverno de muitos países do norte e centro da Europa. Para tal, é necessário acrescentar à água propilo-glicol, substância que impede não apenas que esta gele, como também a protege e evita o desenvolvimento de fungos. Também, caso o recipiente seja metálico, devem ser acrescentados óleos anti-corrosão (Mitjà et al., 1986).

Este sistema apresenta algumas vantagens relativamente às paredes de trombe. Não só a água tem uma maior capacidade de armazenamento de calor que os materiais utilizados nas paredes de trombe (cerca de dez vezes mais que alvenaria de tijolo furado e cinco vezes mais que o betão), como também para a mesma quantidade de calor a acumular, necessita apenas de, por exemplo, um quinto da massa do betão (Mitjà et al., 1986).

Por outro lado, existe também o perigo de derrame da água depositada, sendo então necessário grande cuidado para que os reservatórios sejam totalmente estanques. Para além disto, a água, ao dilatar sobre as paredes dos depósitos, provoca também um ruído ocasional que se pode apresentar como um desconforto acústico para o utilizador.

Nas coberturas de água (Figura 2.4), são colocados reservatórios de água na cobertura do edifício. Estes reservatórios são, geralmente, em chapa metálica com tratamento anti-humidade, para facilitar a transmissão de calor para o interior do edifício por radiação. Eles possuem também uma cobertura de isolamento térmico móvel, cuja função é a de não permitir

que o calor acumulado pela massa de água se perca para o exterior durante a noite, quando a temperatura exterior é menor do que a verificada na água.

O calor é transmitido então por radiação, sendo uma parte dele imediatamente libertado para os espaços interiores, durante o dia e outra parte, que fica acumulada na massa, libertada durante a noite (Fabute, 2003).

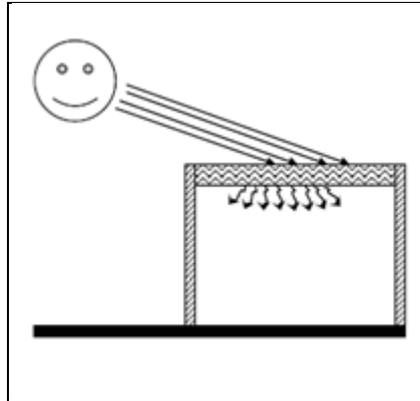


Figura 2.4 – Cobertura de água (Fabute, 2003)

Este sistema de aquecimento passivo pode também promover o arrefecimento do edifício no período de verão. O segredo para tornar este num sistema quer de aquecimento, quer de arrefecimento, consiste na cobertura de isolamento térmico móvel, dos reservatórios onde se encontra a água (Mitjà et al., 1986):

- Durante o inverno, esta cobertura é retirada, recebendo a água energia térmica por radiação solar. Esta energia é então irradiada para os espaços interiores do edifício, quer durante o dia, quer durante a noite, pois, parte do calor é acumulado na massa de água e não libertado imediatamente. Nas noites de inverno, é colocada a cobertura móvel para que não existam perdas térmicas do reservatório para o exterior;
- Durante o verão, a cobertura móvel é colocada durante o dia, não permitindo que a radiação solar incida sobre a massa de água. Como tal a temperatura da água é inferior à verificada quer no espaço exterior, quer no interior. Desta forma dá-se transferência de calor, do interior do edifício para o reservatório, refrigerando-se assim os espaços interiores. Durante a noite a cobertura é retirada e o calor acumulado durante o dia é libertado para o exterior.

2.1.1.2.3. Pavimento de Armazenamento Térmico

Os pavimentos de armazenamento térmico consistem num depósito de pedras, água ou outro material capaz de acumular calor, colocado debaixo do pavimento do compartimento a climatizar (Figura 2.5).

É necessária a incorporação de um sistema de captação solar, colocado preferencialmente na direcção a sul. O calor produzido pela radiação solar incidente neste sistema passa então por convecção natural até ao material acumulador de calor (Fabute, 2003).

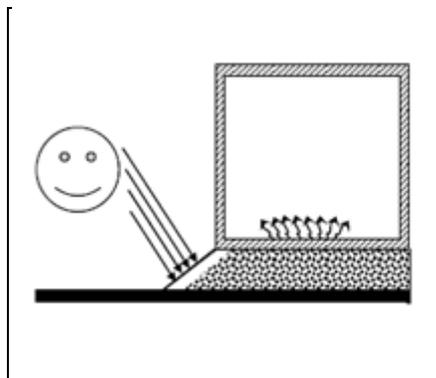


Figura 2.5 – Pavimento de armazenamento térmico (Fabute, 2003)

Nesta solução é também possível, por recurso a um sistema de convecção forçado, fazer passar o ar interior pelo espaço onde se localiza o material acumulador, no caso de este ser sólido como pedras, aquecendo-o. Este sistema de convecção forçado seria conseguido por colocação de aberturas reguláveis que fariam comunicar o espaço interior do edifício com o espaço onde se dá a acumulação de calor (Fabute, 2003).

A libertação de calor por este sistema é mais lenta e gradual em termos de oscilação da temperatura.

2.1.1.3. Ganho Isolado

Nos sistemas passivos de aquecimento por ganho isolado, o calor é produzido e armazenado em zonas independentes do resto do edifício, como é o caso das estufas ou dos sistemas de termosifão. Nestes, o calor produzido nestas zonas é transmitido aos espaços interiores, quer por condução e radiação do calor pela parede que separa estes dois espaços independentes, quer por convecção térmica, quando existem orifícios de ventilação que estabelecem o contacto entre ambos e permitem a circulação do ar (Construlink, 2006).

2.1.1.3.1. Estufas

As estufas são estruturas que podem ser compostas ou por envidraçados ou por plástico em membrana ou em painéis. Elas produzem o chamado efeito de estufa que consiste na permissividade à passagem de radiação de comprimento de onda curto e à barragem da saída de radiação de comprimento de onda longo que é emitida pelos elementos interiores da estufa, tais como a laje do pavimento ou as paredes.

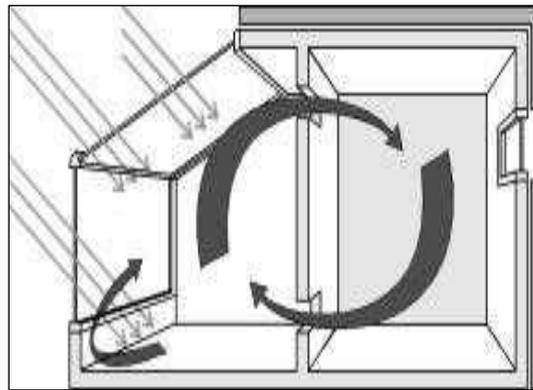


Figura 2.6 – Ganhos isolados por estufa (Construlink, 2006)

O ar aquecido no interior da estufa é depois, injectado no interior do edifício por aberturas ou por ventilação forçada, como é possível verificar na figura 2.6 (isto quando a área útil do edifício é muito superior à área de envidraçado da estufa). Quando a proporção da superfície de vidro da estufa, em relação à área útil de habitação, é de 1/6 ou mais devem ser utilizadas massas térmicas para que a variação de temperatura na estufa seja menos acentuada. Esta é uma solução que se adequa a habitações unifamiliares e não para edificações de maior porte (Mitjà et al., 1986).

2.1.1.3.2. Sistemas de Termossifão

Os sistemas de termossifão são compostos por um captador térmico, cuja função é a de aquecer o ar no interior de um compartimento. Este ar aquecido é então transferido para o interior dos espaços a climatizar através de um circuito de condutas.

No interior destes compartimentos poderemos ter matéria térmica, tal como um leito de britas. Desta forma teremos também armazenamento de energia térmica nestes elementos, que continuará a proporcionar um aquecimento dos espaços a climatizar mesmo durante o período nocturno. (Mitjà et al., 1986)

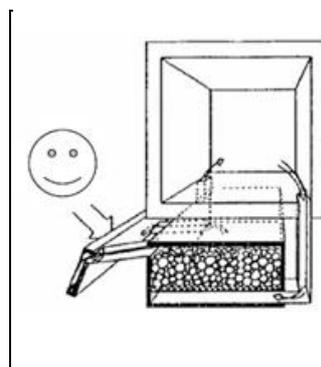


Figura 2.7 – Sistema de termossifão (Fabute, 2003)

É importante que se coloquem estes sistemas a um nível inferior ao dos compartimentos a climatizar, visto que o seu funcionamento baseia-se na ascensão do ar quente devido à sua menor densidade.

2.1.2. Sistemas Passivos de Arrefecimento

No verão, quando as temperaturas exteriores são elevadas, as necessidades das edificações alteram-se. Neste período, é necessário o arrefecimento dos espaços interiores e não o seu aquecimento.

Existem diversas formas de proceder a este arrefecimento, assim como o de evitar ganhos solares em excesso que provocam o aumento exagerado da temperatura interior.

Em primeiro lugar, no projecto e planeamento da edificação, deverão ser tomadas algumas opções construtivas que, bem aplicadas, podem promover uma temperatura dos espaços interiores amena e confortável para os seus utilizadores, mesmo quando a temperatura exterior é elevada. Entre estas podem-se referir:

- Prestar especial atenção às fachadas Este e Oeste, que são as que no Verão sofrem uma maior incidência solar, procurando minimizar a área total e de envidraçados destas. Desta forma reduzem-se os ganhos solares directos e por convecção dos materiais.(Gonçalves e Mariz, 2004);
- Utilizar sistemas de sombreamento pelo exterior do envidraçado, ao invés do interior. Consegue-se desta forma um aumento da eficiência do arrefecimento, sendo que os sistemas de sombreamento interiores reduzem apenas até 20% do consumo energético para o efeito (Schittich, 2001);
- O recurso a vidros duplos permite uma redução em cerca de 10% do consumo energético das habitações, permitindo também uma maior insonorização dos espaços interiores (Gonçalves e Mariz, 2004);
- Utilização de cores claras nas fachadas do edifício que promovam a refração da radiação solar, tornando a acumulação de calor pelos elementos estruturais do edifício menor (Gonçalves e Mariz, 2004).

Existem também sistemas passivos de arrefecimento que utilizam diferentes princípios para proceder ao arrefecimento do edifício, como a ventilação natural, o arrefecimento pelo solo ou a radiação nocturna. Muitos dos sistemas passivos de aquecimento, como as paredes de trombe ventiladas ou os sistemas de termossifão, possibilitam também o arrefecimento como foi referido aquando da sua descrição.

2.1.2.1. Ventilação Natural

A ventilação natural, neste contexto, torna-se também uma forma de não só permitir a qualidade de ar necessária para as edificações, mas também promover a saída de ar quente destas e a entrada de ar mais fresco. Soluções como as chaminés solares e aspiradores estáticos fazem parte dos sistemas passivos de arrefecimento e consistem na utilização do princípio da convecção natural para promover a saída de ar quente pelas zonas superiores dos edifícios e a entrada de ar fresco por zonas inferiores, devido às diferentes densidades de ambos. De entre os sistemas que utilizam este princípio de arrefecimento, referem-se as chaminés ou câmaras solares, os aspiradores estáticos e a radiação nocturna (Gonçalves e Mariz, 2004).

2.1.2.2. Chaminé e Câmara Solar

Estes sistemas baseiam-se no princípio do chamado efeito de chaminé, onde o ar quente, devido à sua menor densidade, eleva-se. As chaminés solares são zonas de elevada altura nos edifícios onde existe comunicação entre todos os pisos. O ar quente do edifício tende a subir por estas estruturas e ser libertado para o exterior, promovendo a entrada de ar mais fresco pelas aberturas inferiores do edifício (Figura 2.8). Estes sistemas servem não só para arrefecimento dos espaços interiores como também promove a ventilação do edifício (Mitjà et al., 1986).

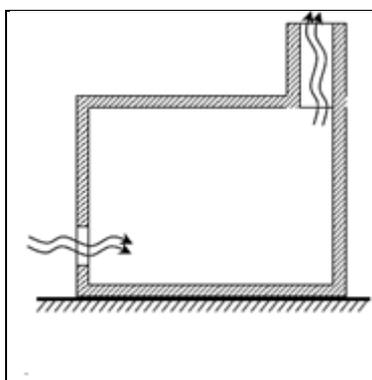


Figura 2.8 – Chaminé solar (Fabute, 2003)

É importante, para que este sistema funcione, que a temperatura na zona superior da chaminé seja superior à temperatura exterior, para que se efectue a libertação do ar quente do interior do edifício (Serra e Coch, 2004). Para tal, são utilizadas câmaras na zona superior que possuem captadores de cor escura, para que se promova a absorção de calor nessa zona (Figura 2.9). O ar, nesta câmara é então aquecido e libertado para o exterior, criando o efeito de sucção que permite a entrada de ar mais fresco pelas aberturas inferiores do edifício.

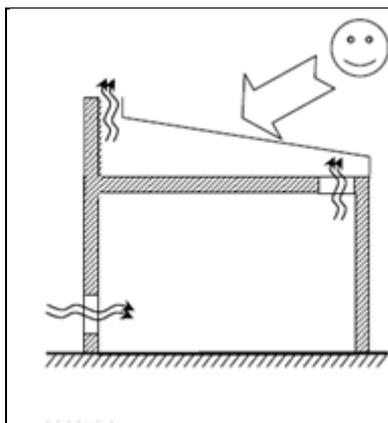


Figura 2.9 – Câmara solar numa cobertura (Fabute, 2003)

Em termos de renovações de ar este sistema não é o mais eficiente, visto que apenas cria 5 a 10 renovações por hora. No entanto, é um sistema que se combina facilmente com outros sistemas de tratamento de ar e que apresenta um maior rendimento quando a intensidade de radiação é maior, que é exactamente quando o sistema é mais necessário. (Serra e Coch, 2004)

2.1.2.3. Aspiradores Estáticos

O aspirador estático (Figura 2.10), funciona de uma forma semelhante às chaminés e câmaras solares, promovendo a sucção do ar quente para o exterior do edifício, por via de um dispositivo colocado na cobertura. Este dispositivo estático, localizado na cobertura, quando atravessado pelo vento, cria sucção e conseqüente libertação do ar interior por efeito de Venturi (Gonçalves e Mariz, 2004).

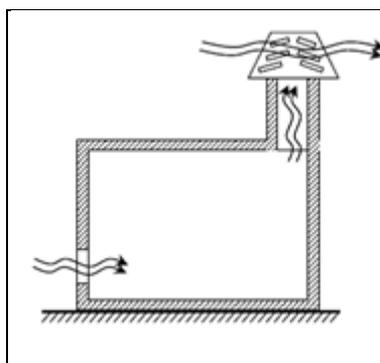


Figura 2.10 – Aspirador estático (Fabute, 2003)

Estes dispositivos possuem diversas formas e tamanhos, podendo ser facilmente adaptados a diferentes tipos de coberturas. Apresenta caudais de extracção muito variáveis e dependentes

da velocidade do vento da zona de implementação. No entanto, em zonas com alguma intensidade de vento gera facilmente mais de 10 renovações por hora (Serra e Coch, 2004).

2.1.2.4. Arrefecimento pelo Solo

É possível tirar partido do facto de a uma determinada profundidade do solo (cerca de 4,6 metros), este manter temperaturas mais frescas do que o ar exterior no verão. Como potencial de frio, o solo apresenta uma variação, em termos de temperatura, entre os 16 e os 18°C.

Como tal existem sistemas de arrefecimento pelo solo no qual tubos ligam o interior do edifício a um poço localizado no exterior deste, estando estas tubagens enterradas à profundidade referida.

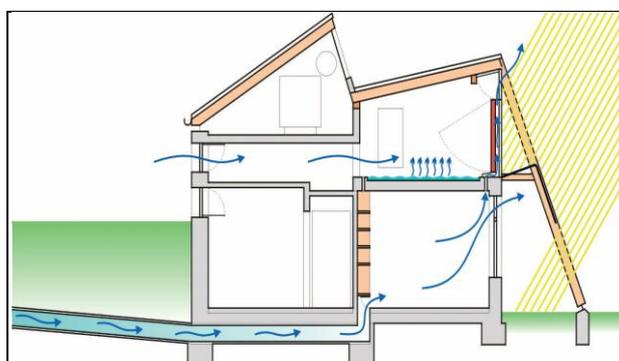


Figura 2.11 – Arrefecimento pelo solo (Gonçalves e Mariz, 2004)

O ar que entra no poço é arrefecido nestes tubos (constituídos preferencialmente por material que permita uma boa troca térmica com o exterior), sendo depois libertado nos espaços interiores do edifício, por convecção e auxílio de sistemas mecânicos de ventilação, proporcionando o seu arrefecimento (Figura 2.11).

2.1.2.5. Radiação Nocturna

Os sistemas passivos de arrefecimento por radiação nocturna baseiam-se na elaboração de mecanismos que permitem a emissão de calor para o espaço exterior ao edifício durante a noite, altura em que a temperatura exterior é mais baixa do que a que se verifica no interior do edifício. Podem também promover a refrigeração dos elementos acumuladores de calor por ventilação natural, permitindo a passagem de ar fresco por estes durante a noite. Como exemplos temos os métodos de ventilação nocturna e de radiação nocturna.

Colocando na cobertura do edifício material com capacidade de armazenamento térmico, como já referido nas coberturas de água, é possível proceder ao arrefecimento dos espaços interiores por condução térmica e posterior radiação do calor para o meio exterior. Estes

elementos são cobertos durante o dia com isolamento térmico, sendo que à noite este é retirado para que a radiação do calor possa ser processada.

Estes sistemas apresentam um melhor rendimento quando o diferencial térmico entre o dia e a noite é superior a 10°C e quando a noite apresenta céu limpo. As nuvens reduzem a capacidade de radiação da energia térmica para o céu (Mitjà et al., 1986).

É também importante notar que é na cobertura onde estes sistemas apresentam melhor rendimento visto que as superfícies horizontais irradiam mais 50% de energia térmica acumulada que as verticais (Mitjà et al., 1986).

2.2. Biomimética

Uma outra forma de se obter uma climatização natural, e consequente redução do consumo energético das edificações, é por aplicação dos princípios de uma nova linha de pensamento: a Biomimética.

A vida no planeta terra tem vindo a sofrer, desde há 3,6 biliões de anos, um processo de selecção natural, de tentativa e erro que culminou no refinamento das espécies que habitam os diferentes habitats terrestres. Estes biliões de anos de teste e selecção culminaram portanto na sobrevivência dos mais fortes e como tal, na sobrevivência dos que melhor se adaptaram às condições que lhes foram impostas. É deste ponto de partida que parte a Biomimética.

A Biomimética surge assim como o estudo e observação da natureza, dos seus organismos e estruturas para obter respostas a problemas contra os quais a civilização humana luta. A melhor descrição é talvez dada por uma das suas grandes impulsionadoras, a dra. Janine Benyus, co-fundadora e presidente do Instituto da Biomimética:

“A Biomimética é a aprendizagem da natureza e a imitação de formas, processos e ecossistemas naturais para a criação de um design e tecnologia mais sustentáveis. Ela estuda a folha para produzir uma melhor célula solar ou os recifes de corais para produzir superfícies resilientes. A ideia principal é a de que a natureza já solucionou muitos dos problemas com os quais nos debatemos: energia, produção de comida, climatização, produtos químicos não nocivos, transporte, entre outros.

Imitando o simples e lógico design natural existente no nosso planeta, podemos aproximar a nossa de tecnologias que consomem menos energia, usando as formas para os propósitos pretendidos. (...)

Esta respeitosa imitação é uma abordagem totalmente nova. Diferente da revolução industrial, a revolução biomimética inaugura uma era cujas bases assentam não naquilo que podemos extrair da natureza, mas no que podemos aprender com ela.”- *Janine Benyus, no prefácio do seu livro “Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza”.*

Apesar de muitas vezes passar despercebida ao conhecimento geral, esta área produziu já muitos produtos que representam um avanço em termos de desempenho e inovação: o velcro foi inspirado numa caminhada em que o seu criador observou que pequenos vegetais de espinho ficavam agarrados às suas calças. Também o aparecimento de adesivos não-tóxicos teve a sua inspiração nas substâncias produzidas pelas salamandras, e a planta de Lotus, através dos seus mecanismos de auto limpeza, inspirou a criação de tintas e ceras para aplicar em vidros e revestimentos de carros e outras superfícies.

2.2.1. Exemplos da Biomimética na Construção

Existem já inúmeras edificações e sistemas para climatização e ventilação natural das mesmas, pensadas e construídas de acordo com os princípios da Biomimética. Entre elas dão-se três exemplos: o centro cultural Esplanade Theatre construído em Singapura, o sistema de ventilação utilizado na Escola Internacional de Harare, localizada no Zimbabué, conhecido como Vawtex, e finalmente, o centro comercial Eastgate Center, situado também na cidade de Harare.

2.2.1.1. Complexo Cultural Esplanade Theatre

O Esplanade Theatre é um complexo cultural localizado na Marina Bay em Singapura e idealizado por uma equipa formada pela DP Architects e pela Michael Wilford&partners.

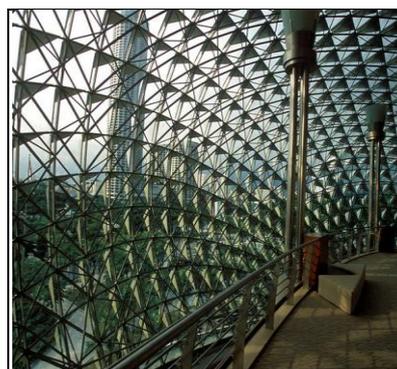


Figura 2.12 – Vista exterior do edifício Esplanade (Wikimedia, 2005) Figura 2.13 – Vista interior do edifício (Biomimetic architecture, 2010)

Este complexo utiliza vidro como elemento principal da sua fachada. No entanto, devido às elevadas temperaturas verificadas no local, os ganhos térmicos seriam extremamente elevados, tornando a estrutura dependente de um elevado consumo energético para climatização artificial dos espaços interiores. Por inspiração na Biomimética, surgiu então a ideia de recriar a superfície de um fruto denominado Durian (Figura 2.14), bastante popular na Singapura (Biomimetic-architecture, 2010).

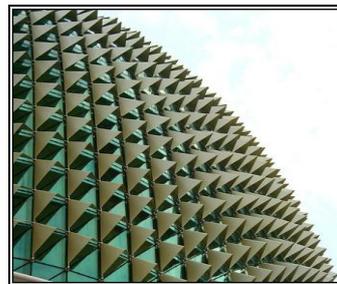


Figura 2.14 – Fruto Durian (Wikipédia, 2012) Figura 2.15 – Pormenor do sombreamento exterior (Wordpress, 2010)

Neste edifício a solução adoptada foi a de criar painéis de alumínio de forma triangular cujo intervalo entre elementos proporciona um efeito de sombreamento aproximado ao que se verifica na casca deste fruto.



Figura 2.16 – Vista do sistema de sombreamento pelo interior (EHSAAN, 2010)

Estes painéis de alumínio ajustam-se automaticamente à incidência solar ao longo do dia, alternando diferentes posições e ângulos. Desta forma esta solução consegue maximizar o sombreamento da superfície de envidraçado, impedindo que as temperaturas interiores no edifício atinjam valores elevados (EHSAAN, 2010).

2.2.1.2. Sistema de Ventilação Vawtex

No Zimbabué, na escola internacional de Harare, capital do país, podemos encontrar mais um exemplo da Biomimética. Trata-se de um sistema de ventilação simples e construído sem grandes recursos financeiros. Este inspira a sua, à forma das sementes das sâmaras, um fruto que se pode encontrar em determinados tipos de árvores da zona.

A semente deste fruto (Figura 2.18), possui uma estrutura em hélice que lhe permite aproveitar e captar as leves brisas de forma a estas a transportarem para o mais longe possível da árvore progenitora.

O sistema Vawtex possui então pás posicionadas em torno de um eixo vertical. Estas permitem captar o vento proveniente de qualquer direcção.



Figura 2.17 – Sistema Vawtex (Brianwilliams, 2012)



Figura 2.18 – Sementes do fruto sâmara(Embrapa, 2012)

Aliado à energia eólica captada no exterior, tem-se o processo natural de convecção que ocorre no interior do ambiente da escola que, ao accionar a hélice deste sistema, torna o conjunto até três vezes mais rápido do que seria, somente com a velocidade do vento no local.

O sistema Vawtex para controlo térmico por energia eólica, possui as vantagens de, para além de não representar qualquer consumo energético, ser também mais silencioso que os sistemas convencionais com um custo de instalação igual (worldaware, 2002).

2.2.1.3. Eastgate Center

Construído também na cidade de Harare, no Zimbabué, fica o complexo de lojas e escritórios Eastgate Center. Esta cidade, localizada a uma altitude de 1500 metros, possui uma variação térmica que pode alternar dos 10 aos 30 °C. Esta variação acentuada exige às construções locais, uma boa preparação e comportamento térmico.



Figura 2.19 – Edifício Eastgate Center (Asknature, 2013)



Figura 2.20 – Vista interior do edifício (Skyscrapercity, 2010)

Projectado pelo arquitecto Mick Pearce, em conjunto com a equipa Arup, e finalizado no ano de 1996, este complexo recria o sistema de climatização natural utilizado por térmitas nos seus ninhos. Desta forma foi solucionado o problema da climatização do edifício, reduzindo-se uma

grande parcela do consumo energético do mesmo, destinado ao arrefecimento/aquecimento e ventilação artificiais.



Figura 2.21 – Chaminé solar do edifício e ninho de térmitas (Fehrenbacher, 2012)

O conceito da estrutura deste complexo foi pensado de forma a se rentabilizar os processos naturais de convecção do ar, e efectuar uma climatização e ventilação dos espaços interiores da forma mais eficiente e com o menor consumo energético possível.

Para tal, os seus projectistas olharam para uma estrutura já existente no meio natural da zona: os ninhos das térmitas locais.

Estas cultivam fungos nos seus ninhos, e para tal necessitam de ter uma temperatura interna estável a rondar os 30°C, sendo que a temperatura externa pode variar entre os 2 e os 38°C nos locais onde estas estruturas foram encontradas. A forma encontrada por esta espécie para criar tal efeito, foi a de construir nos seus ninhos sistemas de tubagens e colunas que funcionam por efeito da convecção natural do ar quente (Figura 2.22) (Fehrenbacher, 2012).

Assim, também este edifício possui chaminés solares que vão permitindo a saída gradual do ar quente produzido durante o dia no seu interior, provocando um efeito de chaminé que promove a entrada de ar fresco através de aberturas em níveis mais baixos.

Pela diferença de pressão produzida por este efeito, o ar fresco é então conduzido para o interior das divisões, promovendo uma temperatura mais amena e confortável para os seus utilizadores.

Todos os espaços estão em contacto, por via de uma abertura superior, com a grande chaminé central do edifício. Desta forma o ar quente é direccionado para esta e torna constante o efeito de refrigeração.

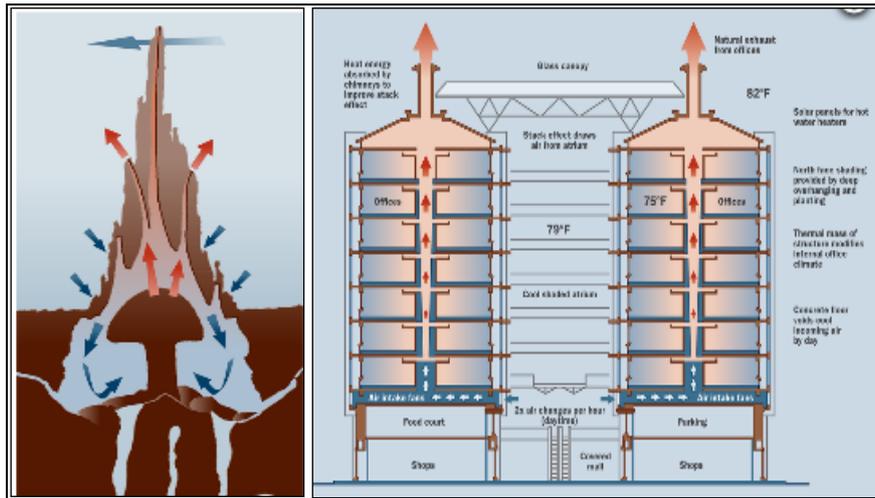


Figura 2.22 – Comparação da estrutura interior do ninho de térmitas com a do edifício (Fehrenbacher, 2012)

De referir que o bom funcionamento do sistema natural utilizado só é conseguido em ambientes, tal como o verificado em Harare, com grande amplitude térmica. Só desta forma os processos naturais de convecção e o efeito de chaminé conseguem ser eficientes, pois só desta forma estes processos se dão com a velocidade necessária para o fim desejado.

Esta inspiração na natureza por aplicação dos princípios da Biomimética, permitiu uma poupança anual de cerca de 3,5 milhões de euros em ar condicionado, sendo que as suas necessidades, quer de aquecimento ou arrefecimento artificiais, são inferiores em 10% às de um edifício convencional de dimensão semelhante (Fehrenbacher, 2012).

Desta forma as rendas dos espaços neste complexo são 20% inferiores às verificadas em edifícios circundantes (Fehrenbacher, 2012).

Este é um exemplo pleno da melhoria que a Biomimética pode trazer às edificações futuras, quer em termos funcionais e económicos, como principalmente em termos ambientais.

3. Sistemas de Produção de Energias Renováveis

Para além de todas as opções construtivas e sistemas passivos de climatização já referidos, existem também sistemas de produção de energias renováveis que se assumem como um passo em frente em termos de sustentabilidade das edificações. Estes permitem que a energia consumida provenha de fontes naturais e inesgotáveis como o sol, o vento e a água, em detrimento das habituais fontes de combustíveis fósseis, que para além de constituírem recursos finitos, são também extremamente poluentes. Estes sistemas de energias renováveis permitem o fornecimento de energia “limpa”, sem produção de resíduos poluentes e não contribuindo para o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, uma das principais causas do efeito de estufa responsável pelo aquecimento global.

Portugal apresenta-se como um país onde, por exemplo, a disponibilidade do recurso solar é muito elevada, sendo que o seu número anual de horas de sol varia entre as 2500 e as 3200. Também se verifica que variação da radiação solar entre o norte e o sul do país difere apenas em 18% (valor comparativo entre o Porto e Faro), sendo possível uma recorrente utilização de energia solar em todo o território nacional (Apren, 2010).

Por exigência da Comissão Europeia e também fruto de várias iniciativas nacionais de promoção à utilização de sistemas de produção de energia renovável, Portugal estipulou como metas para 2020 (Apren, 2010):

- Atingir os 31% de utilização de energias renováveis, meta imposta pela Comissão Europeia a todos os estados membros;
- Aumentar a actual produção de energia eólica de 3750 MW para 8500 MW;
- Aumentar a capacidade de produção de energia hídrica em cerca de 50%;
- Promover a utilização de painéis fotovoltaicos nas habitações de forma a aumentar a produção de energia solar de 150 para 1500 MW.

De referir que a instalação de painéis colectores solares para produção de água sanitária quente é mesmo obrigatória, de acordo com o RCCTE (decreto-lei nº 80/2006), para novas construções, ampliações ou reabilitações profundas de edifícios.

Referem-se em seguida os princípios básicos na produção de energia solar, energia eólica, energia hídrica, energia de biomassa assim como os sistemas utilizados para o seu aproveitamento. Refere-se ainda um novo e promissor sistema de produção de energia renovável, baseado na fotossíntese artificial.

3.1. Energia Solar

A utilização da energia solar para fins habitacionais consiste na captação da energia luminosa e térmica proveniente do sol e sua transformação em energia eléctrica.

Existem dois principais sistemas que utilizam esta energia para reduzir o consumo eléctrico de rede e energético nas habitações: os painéis fotovoltaicos (Figura 3.1), e os colectores solares (Figura 3.3).

Os painéis fotovoltaicos, também designados por painéis solares, conseguem converter a luz solar em energia eléctrica. São um sistema de produção de energia limpa pois utilizam um recurso renovável para a produção energética, a luz solar, e não produzem resíduos com o processo.

Estes painéis são compostos por quatro camadas de materiais diferentes, cada uma com a sua função específica. Existe uma primeira camada, a que se encontra em contacto directo com a radiação solar composta por vidro plano. A camada seguinte é constituída por película antirreflectiva cuja função é minimizar o reflexo da luz pelo vidro, o que permite maximizar a eficiência na conversão. A terceira camada é a mais importante e é constituída pelas células solares que são as responsáveis máximas pela produção energética. Estas células são constituídas por duas camadas de material semiconductor, o silício, enriquecidas com materiais diferentes, uma com fósforo e outra com boro. A última camada pode ser de vidro, tal como a primeira, ou de um polímero como, por exemplo, o poliéster.



Figura 3.1 – Painéis fotovoltaicos (Dern, 2013)



Figura 3.2 – Aplicação de painéis fotovoltaicos numa cobertura (Ecocasa, 2013)

A capacidade deste mecanismo de produção energética depende de muitos factores, sendo que, talvez um dos mais importantes seja a radiação na zona de implementação do sistema. Para se ter uma boa produção é necessário que a zona possua uma boa taxa de insolação, ou seja que tenha bastante luz solar durante o ano. No entanto e a título de exemplo, pode-se referir que ao nível da linha do equador, a incidência solar ao meio dia corresponde a uma energia de aproximadamente 1 KW/m², o que se traduz em que 1 m² de painel fotovoltaico consegue gerar uma potência de 150 W neste horário, o suficiente para alimentar, por exemplo, duas lâmpadas de 75 W cada (Andiv, 2009).

Os colectores solares permitem o abastecimento de água quente para fins de consumo doméstico nas habitações. O seu funcionamento, tal como no caso dos painéis fotovoltaicos, depende da incidência da radiação solar. Nestes equipamentos a água é aquecida através da energia térmica, sendo posteriormente armazenada num ou mais reservatórios (dependendo do consumo da habitação).

Este sistema permite uma redução do peso do consumo energético de origem fóssil para aquecimento de águas sanitárias por via, quer de esquentadores e caldeiras murais a gás, quer de termoacumuladores a gás e eléctricos.

Implica também uma redução no peso da factura mensal de electricidade, pois, apesar de um investimento inicial mais pesado financeiramente, estes equipamentos rentabilizam-se a médio prazo.



Figura 3.3 – Colectores solares (WIKIENERGIA, 2013)

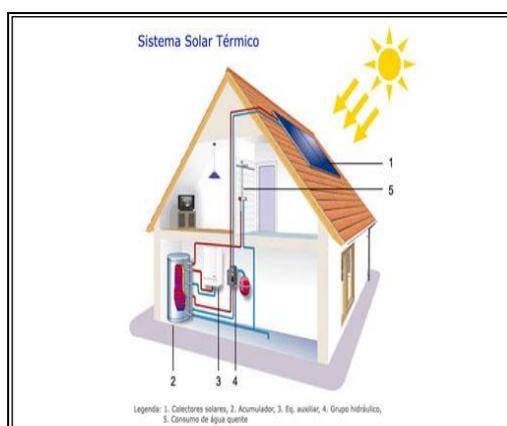


Figura 3.4 – Sistema de funcionamento de colectores solares (Esolar, 2013)

Também em termos de emissão de CO₂ estima-se que um sistema solar para aquecimento de água com 4 m² permite uma poupança de 3,4 toneladas deste gás por ano (isto para uma família de quatro elementos e considerando os valores médios de incidência solar em Portugal, de consumo de água quente e de rendimento dos sistemas). Esta poupança representa, aproximadamente, o valor de CO₂ emitido por esta mesma família na utilização de um automóvel familiar (cujo valor estima-se em 3,3 toneladas de CO₂ para uma quilometragem de 15.000 km) (Gonçalves et al., 2002).

Existem dois tipos de sistema solar para aquecimento de água sanitária que são os mais utilizados para consumo doméstico em Portugal: os monoblocos, que são sistemas compactos em que a captação e o armazenamento formam uma unidade, destinando-se a habitações unifamiliares; e os sistemas colectivos, que se destinam a habitações multifamiliares.

Em qualquer destes sistemas é possível instalar bombas de circulação, sendo que se dispensa a sua utilização quando é possível colocar o depósito de acumulação de água num nível superior ao do colector.

Os seus componentes básicos são o já referido captador, que transforma a radiação solar incidente em energia térmica pelo aquecimento do fluido de transferência de calor que nele circula, o depósito de armazenamento, revestido com material isolante térmico, onde a água quente é acumulada até que seja necessário o seu consumo, o permutador, que assegura a

transferência da energia térmica captada pelos colectores para a água quente de consumo e o apoio energético, que constitui um equipamento convencional (caldeiras, termo-acumuladores eléctricos ou resistência eléctrica por exemplo), para fazer face aos períodos de insolação ou de menor incidência de radiação solar.

3.2. Energia Eólica

A energia eólica tem sido utilizada desde a antiguidade quer para impulsionar as velas dos barcos, quer para proceder à engrenagem dos moinhos por movimentação das suas pás. Nos moinhos de vento a energia eólica era transformada em energia mecânica, permitindo a moagem de grãos ou o bombeamento de água para drenagem de canais. Na Holanda é possível verificar a existência de muitos desses moinhos ainda, sendo que actualmente assumem uma função meramente representativa e cultural do passado deste país.

Na actualidade a energia eólica é utilizada a uma escala bastante maior com conversão da energia produzida pelo vento em energia eléctrica. Este processo é possível devido aos sistemas de energia eólica disponíveis actualmente.

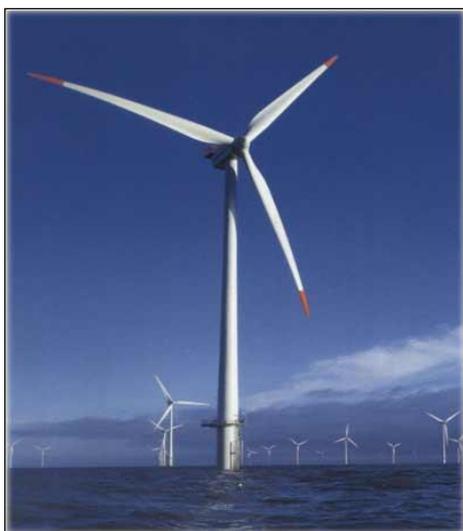


Figura 3.5 – Torres eólicas (dforgesolar, 2013)

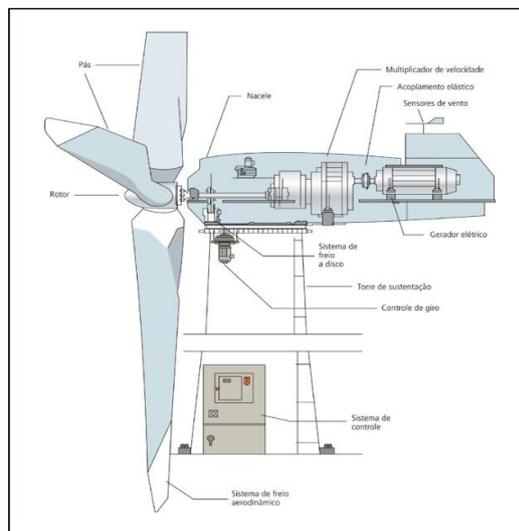


Figura 3.6 – Componentes de uma torre eólica (Layton, 2011)

As torres eólicas (Figura 3.5) possuem pás que por movimento conferido por acção do vento, produzem energia eléctrica através de um gerador.

A turbina, o coração do sistema, na sua forma mais simples é composta por três partes fundamentais:

- As pás do rotor, que são basicamente uma barreira ao movimento do vento e que como tal, são forçadas a movimentar-se. Quando o vento força este movimento das pás, transfere parte da sua energia para o rotor;

- O eixo da turbina, que está conectado ao cubo do rotor. Ao girar, o rotor faz com que o eixo também gire, transferindo assim a sua energia mecânica rotacional para o eixo que por sua vez está ligado a um gerador eléctrico;
- O gerador que recebe a energia mecânica rotacional do eixo e a converte em energia eléctrica, usando as propriedades da indução electromagnética para produzir a tensão eléctrica.

Para calcularmos a capacidade de produção energética de uma torre ou de um sistema eólico, necessitamos de dados referentes à velocidade do vento no local de implementação do sistema, assim como da própria capacidade do equipamento.

Existem tabelas que relacionam o diâmetro das pás com a quantidade de energia que uma turbina pode gerar, considerando uma velocidade de vento estável. A maioria das grandes turbinas apresenta um funcionamento óptimo a uma velocidade do vento de 54 km/h (Layton, 2011).

Um milhão de MW de energia eólica, pode produzir entre 2,4 a 3 milhões de KW de electricidade por ano (Layton, 2011).

Talvez o exemplo mais representativo da aplicação de um sistema de produção de energia eólica no sector da construção seja o da sede da Oklahoma Medical Research Foundation, projecto da responsabilidade das empresas Venger Wind e SWG Energy.



Figura 3.7 – Vista exterior da sede da Oklahoma Medical Research Foundation (Singh, 2012)

Este edifício, localizado em Oklahoma nos EUA, possui um sistema de produção de energia eólica composto por dezoito turbinas omnidireccionais de eixo vertical, localizadas na cobertura (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Turbinas eólicas da cobertura (Singh, 2012)



Figura 3.9 – Instalação das turbinas (Singh, 2012)

Cada uma possui uma capacidade de produção energética de 4,5 KW, sendo que a sua forma em torno de um eixo vertical permite-lhes funcionar mesmo com velocidades de vento muito baixas. A capacidade de produção energética do sistema é assim maximizada, fazendo deste, um edifício praticamente auto-suficiente em termos energéticos (Singh, 2012).

3.3. Energia Hídrica

As turbinas hidráulicas são equipamentos projectados especificamente para transformar a energia cinética e de pressão de um fluxo de água em energia mecânica. Esta transformação é conseguida por recurso a um binário e velocidade de rotação. A energia mecânica é posteriormente transformada em energia eléctrica por acoplagem à turbina de dispositivos específicos para o efeito, como compressores ou geradores eléctricos.

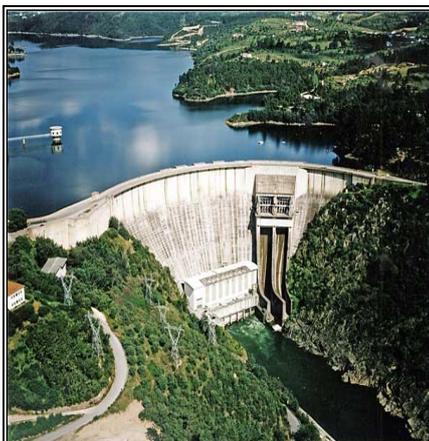


Figura 3.10 – Barragem (Empresaverde, 2013)

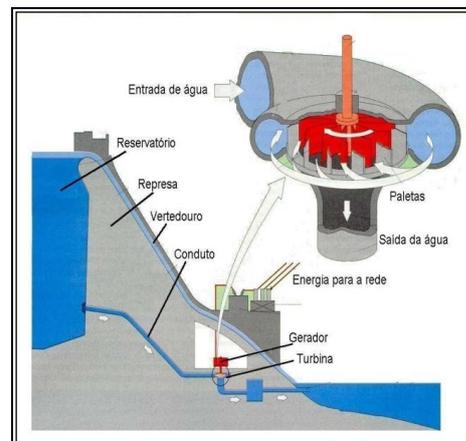


Figura 3.11 – Componentes de uma turbina hidráulica (Hermont, 2007)

Para que este sistema funcione é necessário que exista um desnível entre um reservatório ou canal de onde provém o caudal e a turbina hidráulica.

A potência P que uma turbina pode extrair de um fluxo de água pode ser calculada da seguinte forma (Hermont, 2007):

$$P = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g \cdot n$$

Onde:

ρ - densidade da água (Kg/m^3)

Q - vazão volumétrica (m^3/s)

H - queda de água disponível (m)

g - aceleração da gravidade (m/s^2)

n - eficiência da turbina (assume valores entre 0 e 1)

A eficiência típica de uma turbina hidráulica moderna varia, actualmente, entre os 85 e 90%, o que representa um excelente aproveitamento da energia cinética e de pressão do fluxo de água (Hermont, 2007).

Uma empresa japonesa, a Ibasei, apresentou em 2012 um modelo de turbina eléctrica, de dimensões reduzidas, para uso em habitações.



Figura 3.12 – Turbina da Ibasei (Quick, 2012)

Esta, de acordo com a empresa, consegue gerar 250 w a partir de um fluxo de água de 2 m/s, sendo que, em conjunto de cinco turbinas, gera cerca de 1 KW (contando já este valor com as perdas associadas). Esta turbina pretende servir o consumo energético de electrodomésticos, reduzindo o recurso à habitual fonte de energia fóssil (Quick, 2012), sendo também que, os materiais utilizados no seu fabrico são totalmente recicláveis.

3.4. Energia da Biomassa

No meio natural, o termo biomassa representa toda a matéria viva, animal e vegetal, existente num determinado ecossistema.

Quando aplicado à produção energética, este termo assume um significado diferente, passando a representar os resíduos oriundos da exploração florestal e agrícola. A sua rentabilização energética passa pela queima destes resíduos orgânicos, existindo já muitas indústrias, tais como a da madeira e da cortiça, que aproveitam esta fonte energética para o consumo necessário ao processo de produção.

A energia da biomassa pode ser considerada como renovável visto que a sua fonte encontra-se em constante crescimento, sendo também menos poluente do que a queima de combustíveis fósseis. De facto, tal como se pode verificar na figura 3.13, o balanço da quantidade de CO₂ emitido pela queima da biomassa acaba por ser nulo, visto que esta quantidade é a mesma que foi retida pelas plantas e árvores (maiores fontes de biomassa), no processo fotossintético (Energias alternativas, 2013).

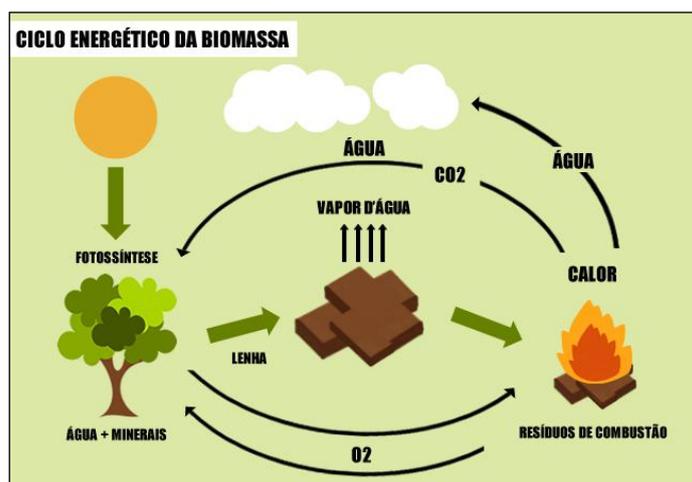


Figura 3.13 – Ciclo da Biomassa enquanto fonte energética (Energias alternativas, 2013)

Quando incorporada nas habitações, esta fonte energética renovável pode ser utilizada nos designados sistemas de recuperação de calor.

Os recuperadores de calor (Figura 3.14), são utilizados para o aquecimento dos espaços interiores, possuindo uma caixa de combustão fechada, ao contrário da tradicional lareira aberta. Desta forma conseguem um rendimento de até 88%, muito superior ao 10% do sistema tradicional (construção sustentável, 2012).



Figura 3.14 – Recuperador de calor e sua aplicação numa habitação (construção sustentável, 2012)

O facto de a queima da biomassa se dar numa caixa fechada permite também melhorar a salubridade do ar interior e eliminar as correntes de ar típicas das lareiras abertas.

Estes sistemas aquecem não só os locais onde são instalados, como também, através de tubagens, podem distribuir o calor gerado para outras divisões da habitação.

Existem também caldeiras para sistemas de aquecimento central que utilizam biomassa para o aquecimento das águas domésticas.

3.5. Novos Sistemas de Energias Renováveis

Existem actualmente diversos estudos e avanços tecnológicos a respeito de novas fontes e sistemas de aproveitamento de energias renováveis. Estes, estando ainda numa fase embrionária de desenvolvimento, poderão representar uma grande mais-valia para um futuro mais sustentável, proporcionando uma maior gama de alternativas à energia de origem nos combustíveis fósseis.

Destes refere-se um que pretende recriar o processo de produção energética da fotossíntese, o mais utilizado no meio natural.

Fotossíntese Artificial

O processo de fotossíntese é realizado não apenas por plantas mas também por algas, cianófitas (algas verde-azuladas), e diversas bactérias. Consiste na utilização de dióxido de carbono, água e luz solar para a produção de compostos orgânicos, como a glicose, essenciais para a sua actividade e sobrevivência.

Ao longo do processo é libertado oxigénio, essencial para a respiração dos organismos heterotróficos nos quais o ser humano se insere. É o principal processo de transformação energética na natureza, permitindo a produção de substâncias orgânicas que, também para os

seres humanos são vitais. É como tal um mecanismo essencial para a manutenção da vida na terra.

Os mecanismos e processos utilizados pela fotossíntese interessam, de há uns anos a esta parte, investigadores e cientistas por todo o mundo. Acredita-se, nesta comunidade, que caso se consiga reproduzir a fotossíntese realizada na natureza de forma artificial, produzindo energia apenas através de dióxido de carbono, água e luz solar, esta pode tornar-se na nova e mais promissora produção de energia limpa existente.

Na 241ª reunião nacional da American Chemical Society, o dr. Daniel Nocera, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), apresentou avanços significativos nesta área. Ele e a sua equipa conseguiram produzir uma pequena célula solar (Figura 3.15), do tamanho de um baralho de cartas, capaz de imitar o processo da fotossíntese (Agência FAPESP, 2011).

“Uma folha artificial funcional tem sido uma espécie de cálice sagrado da ciência há décadas e acreditamos que a conseguimos desenvolver. A nossa folha mostrou-se promissora como fonte de energia de baixo custo para residências pobres, em países em desenvolvimento, por exemplo. O nosso objectivo é fazer com que cada casa tenha a sua própria geração de electricidade”(dr. Daniel Nocera) (Agência FAPESP, 2011).

Este dispositivo desenvolvido pela equipa de investigadores de Nocera é composto por silício e está repleto de componentes electrónicos e catalisadores que acelerem as reacções químicas. O problema apresentado por tecnologia semelhante mas mais antiga, desenvolvida por John Turner do laboratório nacional de energias renováveis no Colorado, EUA, prendia-se como facto desta se mostrar instável, gerar pouca energia e utilizar metais caros, que tornavam o seu custo de produção uma barreira para uma futura utilização da tecnologia à escala mundial. Já este novo dispositivo utiliza materiais baratos e abundantes na natureza, como o níquel e cobalto, que permitem uma redução muito significativa no custo de produção da tecnologia, e apresenta também uma capacidade muito maior, podendo funcionar sem parar por mais de 45 horas sem perder produtividade (Yano, 2011).

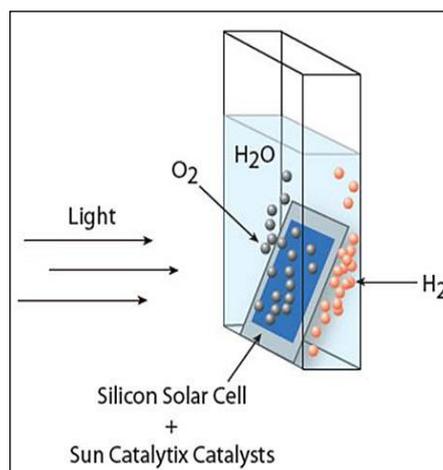


Figura 3.15 – Célula solar para fotossíntese artificial (Tnsustentavel, 2011) Figura 3.16 – Funcionamento da célula(Tnsustentavel, 2011)

Na altura da apresentação, esta “folha” artificial apresentou uma eficiência dez vezes superior a uma folha natural. No entanto seriam necessários ainda dezenas ou centenas de dispositivos destes para se produzir a mesma energia que uma árvore (Agência FAPESP, 2011).

4. A Madeira Como Material De Construção Estrutural

Até à chegada da revolução industrial, que teve início na Inglaterra em meados do século XVIII e que se expandiu para o mundo a partir do século XIX (wikipedia, 2011), a madeira era o material mais utilizado para a construção das edificações. As suas características resistentes e a sua abundância na natureza fizeram dela, durante milénios, o principal material estrutural na construção não apenas de habitações, templos e igrejas, mas também de barcos e diversas ferramentas.

Depois da revolução industrial se ter difundido por todo o mundo, a construção em aço passou a generalizar-se, sendo que depois do aparecimento do betão, a utilização da madeira como elemento estrutural predominante das edificações foi praticamente colocada de lado.

Surgiu então a ideia de que a madeira não possuiria a durabilidade e resistência mecânica necessárias para retomar a sua importância no sector da construção. Esta passou a ser vista como um material frágil, de pouca durabilidade e extremamente susceptível à ocorrência de incêndios.

Procura-se neste capítulo demonstrar que estes pressupostos estão errados, possuindo este material não apenas uma excelente capacidade resistente, como também excelentes propriedades ambientais e ecológicas.

Este ganho ambiental será analisado sob a perspectiva de todas as fases cruciais da vida de uma edificação, desde a fase inicial da sua construção, passando pela fase da sua utilização, e terminando no final da sua vida útil.

4.1. Fisiologia da Árvore e Produção de Madeira

A madeira é um material cuja produção é realizada pelas árvores de forma totalmente natural, sendo utilizados apenas CO₂, água, sais minerais e luz solar. Estes são os compostos necessários para que no processo de fotossíntese das árvores sejam produzidas a celulose e a lenhina, principais constituintes da matéria orgânica a que designamos por madeira.

Os únicos resíduos desta “indústria natural” são o vapor de água e oxigénio, ambos libertados para a atmosfera. Estes não só não são poluentes como são elementos essenciais para a vida no nosso planeta.

A árvore é um ser vivo cuja constituição assenta em três elementos, a raiz, o tronco e a copa. A raiz é o ponto de contacto entre a árvore e o solo e é por ela que a água com sais minerais dissolvidos existente neste é absorvida.



Figura 4.1 – Floresta (Globoamazonia, 2009)



Figura 4.2 – Árvore (Veja.Abril, 2009)

Esta água é designada por seiva bruta e contém elementos fundamentais para o desenvolvimento e crescimento vegetal da árvore.

O tronco é o elemento de suporte da copa, e é por ele que a seiva bruta é conduzida, por capilaridade, para a folhagem localizada nesta. É no tronco que existe a maior quantidade de tecido lenhoso, ou seja, de madeira. Ele é constituído essencialmente pela casca, pelo câmbio vascular e pelo lenho.

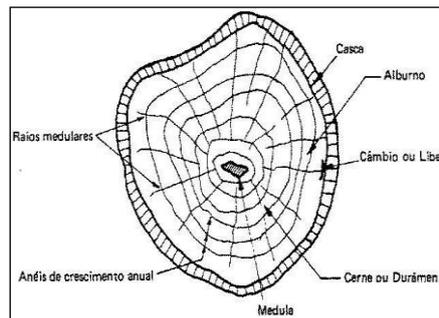


Figura 4.3 – Secção transversal de um tronco de árvore (Cruz e Nunes, 2005)

Finalmente, a copa é a zona onde se pode encontrar os ramos e as folhas da árvore. É nas folhas, através da fotossíntese, que a seiva bruta é transformada na chamada seiva elaborada.

A casca do tronco promove o transporte da seiva elaborada, produzida nas folhas, para a zona do câmbio vascular, onde os açúcares e amidos das quais esta é composta são transformados em celulose e lenhina.

Assim, vão sendo formadas novas camadas de madeira nas designadas épocas de crescimento que ocorrem na primavera e no início do verão. O crescimento transversal da árvore dá-se então pela acumulação destas camadas, designadas por anéis de crescimento (Cruz e Nunes, 2005).

4.2. Propriedades Naturais da Madeira

Como material natural, a madeira apresenta algumas características que lhe são muito próprias, tais como heterogeneidade na capacidade resistente e comportamento anisotrópico e higroscópico.

Relativamente à sua heterogeneidade em termos de capacidade resistente, temos que esta depende muito da espécie de onde a madeira tem origem e da idade da árvore aquando do seu abate.

Existem essencialmente dois géneros de árvores: as resinosas (Softwoods), e as folhosas (Hardwoods).

De notar que a terminologia inglesa Softwood e Hardwood traduzidas à letra correspondem a madeira macia e madeira dura, respectivamente. No entanto o facto de uma madeira ser proveniente de uma Softwood não significa que ela seja macia nem uma que provenha de uma Hardwood seja dura. Esta terminologia refere-se apenas à origem botânica da árvore de onde a madeira é extraída.

As árvores resinosas possuem um crescimento mais rápido do que as folhosas, podendo ser abatidas após 30 anos de crescimento. No entanto, as folhosas, devido ao seu crescimento mais lento, podem levar até 100 anos para oferecer uma boa qualidade enquanto material estrutural. Apresentam assim uma maior densidade e por consequência uma maior capacidade resistente (Cruz e Nunes, 2005).

Como exemplo de árvores resinosas temos o pinheiro bravo, o cipreste, o cedro e o pinheiro branco e como exemplos das folhosas temos o carvalho, o castanheiro e a faia.

A madeira apresenta também, como já referido, um comportamento anisotrópico relativamente à imposição de cargas, sendo este um dos seus maiores defeitos enquanto material estrutural. As principais direcções de uma peça de madeira, relativamente à orientação das suas fibras são:

- **Direcção tangencial**, perpendicular tangencialmente à orientação das fibras;
- **Direcção radial**, perpendicular radialmente à orientação das fibras e ao anel de crescimento que elas formam;
- **Direcção axial**, no sentido das fibras.

Este comportamento anisotrópico significa que ela possui diferentes capacidades resistentes consoante a direcção da aplicação das cargas, relativamente à orientação das suas fibras.

Como tal, a resistência oferecida pela madeira segundo a direcção axial é significativamente superior à apresentada segundo as outras direcções.

Finalmente refere-se a capacidade higroscópica da madeira. Esta possui a tendência natural de equilibrar o teor de humidade do seu meio envolvente, absorvendo ou restituindo vapor de água ao ambiente consoante a necessidade. Esta propriedade é por um lado uma qualidade, pois quando utilizada nas construções a madeira permite que se mantenha um bom nível de conforto higrotérmico para os utilizadores, mas por outro representa um problema pois ao absorver ou libertar água, os elementos de madeira ficam sujeitos ao intumescimento ou à retracção, respectivamente. Quer o intumescimento da peça, que representa o aumento do seu

volume, quer a retracção, que representa a diminuição do mesmo, podem provocar nos elementos fendas e consequente perda de resistência, para além de exigirem um cuidado dimensionamento nos espaços de dilatação das peças (Cruz e Nunes, 2005).

Existem outras duas características naturais da madeira que a distinguem, em termos de sustentabilidade, de todos os demais materiais de construção (Jular, 2010):

- A madeira possui a capacidade de absorver CO₂ da atmosfera;
- Quando a gestão das florestas é bem efectuada, a madeira representa um recurso natural ilimitado.

Estas revelam uma parte de todo o potencial sustentável deste material e mostram de que forma a madeira pode ser uma das soluções futuras na redução do impacto ambiental que o sector da construção assume na nossa sociedade.

4.2.1. Contribuição Para a Redução de CO₂ na Atmosfera

As árvores, no seu processo fotossintético, utilizam e absorvem CO₂ para a formação dos seus tecidos lenhosos. Desta forma cada árvore representa uma redução da concentração deste gás na atmosfera.

Esta capacidade é mantida pelos produtos para construção em madeira, mesmo após o abate da árvore. Estudos apontam para que 1 m³ de madeira consiga armazenar cerca de 0,9 toneladas de CO₂ ao longo da sua vida útil, sendo que este mesmo volume de madeira necessita de menos 1,1 toneladas de CO₂ emitido para ser produzido. Somando estes dois valores, constata-se então que a utilização de madeira em detrimento de outro material construtivo, permite uma poupança de 2 toneladas de CO₂ emitido para a atmosfera, por m³ (Vhn, 2003).

Desta forma, e ao utilizar-se a madeira para a construção de edificações é possível reduzir em grande percentagem a pegada de carbono destas e consequentemente o seu impacto ambiental. Estima-se que um aumento de 10% no número de habitações em madeira na Europa corresponderia a uma fatia de 25% do total de redução de CO₂ que é proposto pelo protocolo de Kyoto (Jular, 2010).

4.2.2. Recurso Renovável

Para além da sua capacidade de absorver CO₂ da atmosfera, a madeira tem outra particularidade que a torna num dos mais ecológicos materiais de construção: é um recurso renovável.

De facto, quando a gestão florestal é bem efectuada, a madeira apresenta-se como um recurso natural inesgotável, ao contrario do betão e aço cujas matérias-primas proveem de fontes fósseis finitas.

Cerca de 30% da superfície terrestre encontra-se coberta por florestas (Nabuurs et al., 2003), sendo que destes, 5% correspondem a florestas europeias (FAQ, 2002).



Figura 4.4 – Floresta (Projecto-profinatura, 2010)

Dados referentes a 2003, indicam que estes 5% representam perto de 150 milhões de ha de floresta (MCPFE, 2003), percebendo-se desta forma o enorme recurso natural que representa (Gráfico 4.1).

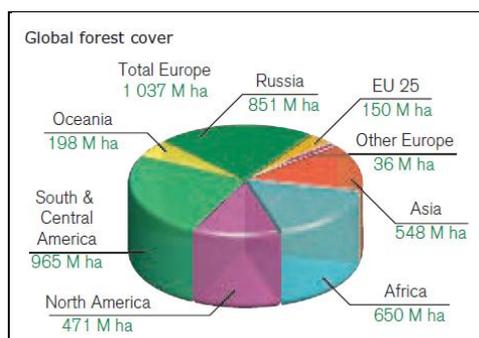


Gráfico 4.1 – Distribuição mundial das áreas florestais (Jular, 2010).

Esta enorme área encontra-se em constante crescimento estimando-se que, por ano, as florestas europeias aumentam a sua área em cerca de 510.000 ha (EFI-Presentation, 2004).

A excelente gestão florestal que se verifica na Europa permite que apenas 64% deste crescimento anual seja consumido e utilizado na indústria da madeira (Parviainen, J., 1999). Esta gestão é aplicada a mais de 80% das florestas europeias (MCPFE, 2003), e consiste na certificação destas de acordo com dois programas estabelecidos pela união europeia, o “The Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes” (PEFC), e o “Forest Stewardship Council” (FSC). Estes estabelecem linhas de acção que conduzem a uma manutenção sustentável deste bem precioso e essencial para a harmonia e equilíbrio da natureza.

4.3. Resistência Mecânica da Madeira

Como já referido anteriormente, a madeira, enquanto material resistente, apresenta um comportamento anisotrópico.

Desta forma, quando analisada relativamente às suas capacidades de resistência à compressão, tracção, corte e flexão, dever-se-á sempre diferenciar se estes esforços estão a ser aplicados radial ou transversalmente à orientação das fibras.

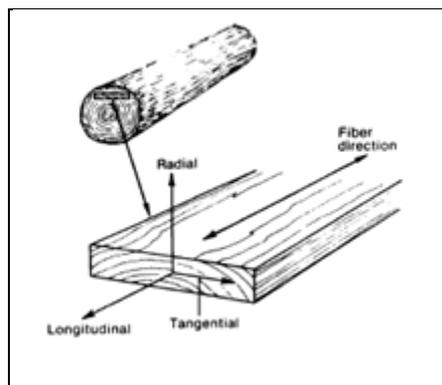


Figura 4.5 – Principais direcções relativamente às fibras de madeira (Jerrold, 1994)

Relativamente à resistência à tracção e à compressão, a madeira apresenta um comportamento análogo ao betão. O esqueleto de cadeias de moléculas de celulose, conferem ao tecido lenhoso uma capacidade de resistência à tracção muito elevada. Quando comparada com a resistência à compressão, esta representa o dobro deste valor. No betão passa-se exactamente o contrário, este possui uma excelente resistência à compressão mas uma resistência à tracção extremamente reduzida (Cruz e Nunes, 2005).

Resistência à Compressão

O valor da resistência à compressão radial é cerca de 15 vezes superior à verificada à compressão transversal. Dependendo da espécie, os valores da primeira podem alternar entre os 25 a 95 N/mm², sendo que no caso da segunda estes alternam entre o 1 e os 20 N/mm². Verifica-se assim a grande discrepância entre os valores de resistência à compressão axial e à transversal (Cruz e Nunes, 2005).

Resistência à Tracção

Tal como o já visto para a compressão, também para a tracção os valores de resistência axial são bastante superiores às da resistência transversal. Neste caso o desnível é ainda maior, sendo que quando o esforço é feito na direcção das fibras, a madeira apresenta uma resistência mecânica 50 vezes superior a quando este é feito transversalmente à orientação das fibras.

Caso ocorram fendas que reduzam a área resistente do elemento de madeira, esta última pode mesmo ser reduzida a zero. Como tal será importante que se evite a aplicação de esforços nesse sentido da peça em madeira (Cruz e Nunes, 2005).

Resistência ao Corte

No caso dos esforços de corte, verifica-se que é a resistência ao corte axial que assume valores menores, cerca de 3 a 4 vezes, aos apresentados pela resistência ao corte transversal.

Aqui a maior resistência é então oferecida quando as acções de corte são aplicadas perpendicularmente à direcção das suas fibras (Cruz e Nunes, 2005).

Resistência à Flexão

A madeira apresenta uma resistência à flexão mais elevada do que a maioria dos materiais de construção, com a excepção do aço que é o que apresenta valores mais elevados para esta resistência.

Uma forma de avaliar esta é por análise do módulo de cedência ou do módulo de rotura. Este valor, o do módulo de cedência deste material situa-se entre os 55 N/mm² e os 160 N/mm², valores elevados os quais são fruto, em parte, da boa relação resistência-peso da madeira (Cruz e Nunes, 2005).

4.4. Factores que Influenciam a Resistência Mecânica

Como já referido, a madeira, enquanto material natural apresenta um conjunto de particularidades e de características próprias que tornam extremamente difícil o controlo de qualidade da peça construtiva final. De seguido referem-se os factores que mais interferem na obtenção de uma boa qualidade final e que resultam numa perda de capacidade resistente das peças (Cruz e Nunes, 2005).

4.4.1. Teor de Humidade

Depois do abate da árvore, a seiva que nela circulava passa a existir sobre a forma de água no elemento de madeira. Esta pode acumular-se em diferentes zonas da sua estrutura, sendo que existem três designações possíveis consoante o local onde se verifica a sua presença:

- Água de constituição, que é a que faz parte da própria estrutura celular da madeira e como tal, não pode ser removida;
- Água de impregnação, que é a que se acumula entre as fibras e as células lenhosas, provocando o intumescimento da madeira. Quando esta água de impregnação preenche a totalidade destes espaços diz-se que a madeira atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF);
- Água livre, que preenche o espaço dos vasos capilares, aparecendo depois de atingido o PSF.

O teor de humidade é o factor que mais condiciona a capacidade de resistência mecânica da madeira. A distribuição de água pelas paredes das células de lenho origina o aparecimento de tensões internas diferenciais na sua estrutura.

Esta influência verifica-se sobretudo quando o valor de humidade varia entre valores abaixo do designado ponto de saturação das fibras (PSF).

O ponto de saturação das fibras é aquele em que a água de impregnação atinge o seu valor máximo ao mesmo tempo que a quantidade da água livre é mínima.

O PSF ronda em média os 28%, dependendo, no entanto, da espécie e da massa volúmica da madeira em análise (Cruz e Nunes, 2005).

Verifica-se então que, abaixo deste valor, quando a humidade é reduzida dá-se um aumento da resistência mecânica e vice-versa.

4.4.2. Inclinação do Fio

O fio da madeira é a designação atribuída à direcção predominante das suas fibras. Quanto maior for o ângulo que este faz em relação ao eixo longitudinal do elemento de madeira, menor será a sua capacidade resistente. Isto deve-se à já referida anisotropia que a madeira apresenta no seu comportamento estrutural (Cruz e Nunes, 2005).

4.4.3. Tempo de Actuação de Cargas

A madeira oferece uma resistência diferente consoante o tempo de aplicação de uma mesma carga. Existem ensaios e estudos realizados por investigadores americanos da U.S. forest products laboratory, que demonstram uma redução de 40% da capacidade de suporte de uma

carga continuamente aplicada ao longo de 10 anos. Desta forma, aquando do dimensionamento de estruturas em madeira, é necessário ter este factor em atenção e utilizar tabela fornecida para o efeito, onde é aplicado um coeficiente que permite prever de forma relativamente rigorosa, qual a capacidade resistente de um elemento de madeira a uma mesma carga passados, por exemplo, 20 anos desde o início da sua aplicação (Tomás, 1978).

4.4.4. Defeitos na Madeira

Os defeitos, ou também designados por singularidades, representam um decréscimo da qualidade da peça de madeira. Sendo a esta, como já referido, um material natural existem um grande número de singularidades que se podem encontrar na sua estrutura. Algumas delas representam uma perda acentuada de qualidade e influenciam a resistência oferecida pelas peças.

De entre estes defeitos potencialmente graves, destacam-se:

- As bolsas de resina cuja gravidade para a estrutura varia consoante as suas dimensões;
- Os nós, que são os defeitos mais graves para a capacidade resistente, especialmente se existirem nos pontos onde as peças são mais esforçadas, pois perturbam a direcção do fio;
- As fendas, provocadas pelas tensões internas diferenciais, que surgem no processo de secagem por retracção dos elementos de madeira. Estas representam uma redução da área resistente do elemento;
- Os descaios, que consistem na falta de material nas arestas dos elementos. Estes resultam de falhas no processo de serragem, onde a forma circular do toro de madeira não é completamente eliminada. Apesar de não representar uma redução representativa na resistência mecânica, reduz a área útil para as ligações das peças.

É necessário, portanto, um apertado controlo de qualidade das peças finais de madeira, de forma a se precaver possíveis problemas em termos de capacidade resistente que possam advir da existência destes defeitos na sua estrutura.

4.5. A Madeira como Material Sustentável

Existem três aspectos fundamentais a ter em conta, quando se afere a respeito da sustentabilidade de um material de construção:

- O valor da energia incorporada do material;
- O potencial de poupança energética que este pode representar na fase de utilização;
- A possibilidade da sua reutilização ou reciclagem depois de atingido o fim da vida útil da edificação.

Cada um destes pontos refere-se a diferentes fases da vida das construções, acompanhando o percurso dos materiais de construção desde a sua extracção e produção até ao fim da vida útil da construção onde se incorporam.

A madeira, enquanto material de construção e como será em seguida dissertado, permite elevados ganhos de sustentabilidade em todas estas fases.

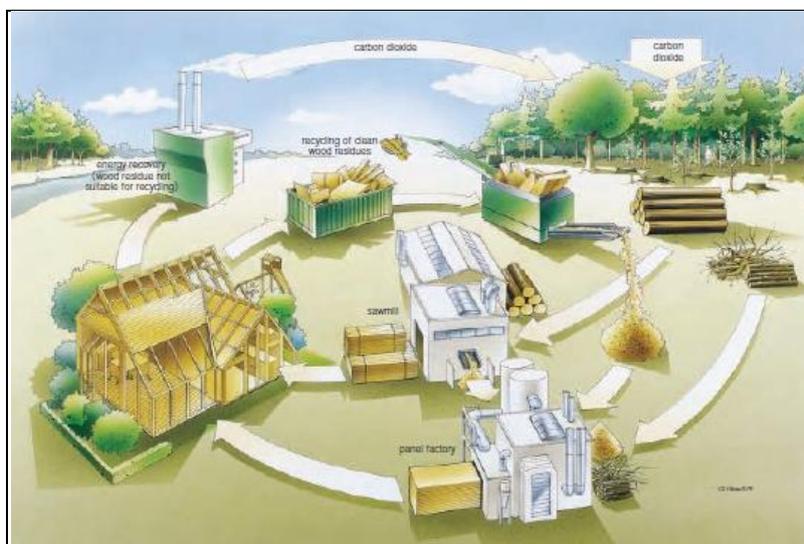


Figura 4.6 – Ciclo de vida da madeira na construção (Jular, 2010)

Em todo o seu ciclo de vida, este material minimiza não só a criação de resíduos, sendo estes aproveitados para a produção de produtos derivados de madeira ou para a produção energética como biomassa, como a emissão de CO₂ para a atmosfera.

Como já visto nesta dissertação, a madeira possui a capacidade única de reter CO₂. Como tal, enquanto recurso natural, a quantidade deste gás que é emitido pela indústria da madeira acaba por ser absorvido pela fonte de origem desta, as florestas, tornando o balanço de emissão de CO₂ praticamente nulo.

Aprofundam-se em seguida as propriedades sustentáveis da madeira de acordo com os três pontos referidos anteriormente.

4.5.1. Energia Incorporada

A energia incorporada de um material de construção pode ser descrita como a energia necessária para a sua extracção, produção e processamento. No fundo é o consumo energético necessário para se obter um determinado produto final, pronto a ser colocado em obra.

Estima-se que esta representa cerca de 22% da energia dispendida por uma construção ao longo de toda a sua vida útil (Gráfico 4.2), valor apenas superado pelo consumo durante o período de utilização da mesma (Jular, 2010).

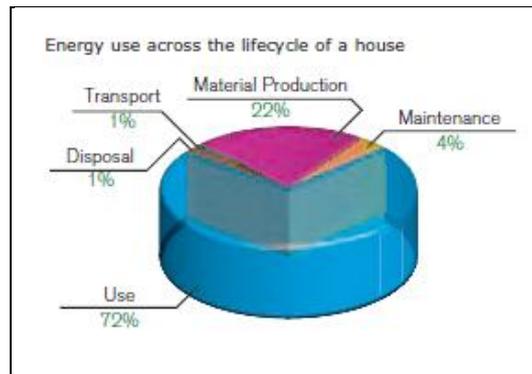


Gráfico 4.2 – Distribuição do consumo energético do ciclo de vida das construções (Jular, 2010)

É então importante que os materiais utilizados na construção possuam um baixo valor de energia incorporada, de forma a reduzir o consumo energético nesta primeira fase da vida de uma edificação.

Comparativamente aos materiais habitualmente utilizados na construção como o betão, o aço e o alumínio, a madeira apresenta um valor de energia incorporada bastante inferior. Para produzir uma tonelada de madeira comparativamente com estes materiais temos que (Caridade, 2010):

- são necessárias 4 vezes mais de energia para produzir uma tonelada de betão;
- 60 vezes mais de energia para produzir uma tonelada de aço;
- 250 vezes mais de energia para produzir uma tonelada de alumínio.

Esta redução é conseguida não apenas devido à forma natural de produção da madeira mas também à extrema eficiência energética que a sua indústria conseguiu obter.

Relativamente à produção, como já foi referido anteriormente, a madeira é um material orgânico, produzido na natureza, que necessita apenas de CO₂, água e luz solar para ser produzida.

É portanto um material formado de modo totalmente natural e que não necessita do consumo de combustíveis fósseis para a sua produção como o que se verifica nos restantes materiais de construção. A energia dispendida para a sua produção é energia limpa e natural gerada pelo processo fotossintético. Alias, não só este processo de produção não representa emissões de CO₂ nem consumo de recursos fósseis e altamente poluentes, como emite mesmo oxigénio para a atmosfera e vapor de água, sendo o oxigénio um elemento crucial para a vida no nosso planeta.

Comparando a produção de alumínio e aço, por exemplo, que são processos altamente industriais e que representam um alto consumo energético, a madeira apresenta-se como uma alternativa bastante mais sustentável.

Relativamente ao processamento do material, também aqui a madeira representa uma maior eficiência energética. Durante o seu ciclo de processamento, todos os resíduos gerados são aproveitados quer em sub-produtos, que serão aprofundados mais à frente neste capítulo, quer como fonte energética (Jular, 2010).

Uma central de produção energética moderna, possuindo um sistema combinado onde é possível a produção de energia por queima da madeira, consegue gerar cerca de 250 a 290 KW.h de electricidade ou 2.800 a 3.200 MJ de energia térmica, apenas com 1 m³ de madeira. A energia gerada por este volume de madeira é superior à necessária para a sua formação no meio natural (Jular, 2010).

A atestar estes dados referentes à energia incorporada e emissão de CO₂ em 2001 surge na Suécia um estudo promovido pela “tratek/SCA,materials production and construction” comparativo entre duas habitações, uma em betão armado e outra em madeira (Jular, 2010).

A habitação construída em madeira apresentou uma poupança de 2.300 MJ/m² na energia utilizada nos seus materiais e construção, assim como uma redução na emissão de CO₂ de 370 kg/m² (Jular, 2010).

A poupança energética obtida pela utilização de madeira como material construtivo é o equivalente ao aquecimento de uma das habitações durante seis anos, e a redução de CO₂ emitido equivale a 27 anos de emissões por aquecimento artificial (Jular, 2010).

4.5.2. Poupança Energética na Fase de Utilização

Não é apenas no período de produção e processamento que a utilização da madeira como material construtivo permite reduzir uma grande percentagem da energia consumida por uma edificação ao longo da sua vida útil.

Como visto anteriormente, cerca de 72% (Jular, 2010), do total deste valor é dispendido ao longo do período de utilização das construções. É nesta fase do ciclo de vida da construção que temos, portanto, um maior consumo energético. Este consumo corresponde em grande parte à climatização das edificações para que no inverno elas nos possam proporcionar calor e no verão, ar refrescante.

Material/Produto	λ (W/m. ^o C)
Aço	50
Alumínio	230
Betão (inertes correntes)	2.0
Bloco cerâmico	0.6
Argamassa à base de cimento Portland	1.3
Cobre	380
Madeira maciça (semi-densa)	0.18
Madeira lamelada colada	0.13
Pedra de granito	2.8
Poliestireno expandido extrudido	0.037
Vidro	1.1

Tabela 4.1 – Valores da condutibilidade térmica da madeira e outros materiais (Santos e Matias, 2006)

A estrutura celular da madeira confere-lhe excelentes propriedades enquanto isolante térmico. Estima-se que a sua capacidade em isolar termicamente um espaço é cerca de seis vezes superior à do tijolo, quinze vezes à do betão, quatrocentas vezes à do aço e mil setecentos e

setenta vezes à do alumínio. Esta baixa condutividade térmica permite que uma parede com uma espessura de 2,5 cm de madeira proporcione o mesmo isolamento térmico de uma parede com 11,4 cm de betão (Santos e Matias, 2006).

Esta capacidade de isolamento permite não só reduzir o consumo energético das edificações, evitando o recurso a sistemas de climatização artificiais, como também reduzir até cerca de 10% o espaço de construção ocupado pelas tradicionais paredes de betão, tijolo ou outras soluções convencionais, o que numa óptica de rentabilização de área útil de construção é excelente (Santos e Matias, 2006).

A madeira possui, no entanto, uma baixa inércia térmica. Nas estruturas com grande inércia térmica os elementos construtivos como o betão ou as alvenarias tradicionais vão absorvendo o calor libertando-o depois por radiação de forma gradual e lenta quando a temperatura do ar arrefece. A madeira não apresenta então, neste campo, um rendimento ao nível de outros materiais construtivos. No entanto, devido à sua baixa inércia térmica, possibilita que o aquecimento directo do ambiente dos espaços interiores seja mais rápido, visto que não acumula o calor na sua estrutura, mantendo este mesmo calor no interior do edifício de forma extremamente eficiente devido à sua excelente capacidade de isolamento térmico.

Esta propriedade pode representar uma desvantagem no Verão visto que qualquer fonte de calor no interior do edifício provoca uma subida de temperatura mais facilmente do que na solução com grande inércia térmica. É então necessários neste período precaver estes ganhos térmicos excessivos, quer por aplicação de sistemas construtivos referidos no primeiro capítulo tais como um bom sombreamento dos elementos envidraçados e uma boa ventilação dos espaços interiores. Caso existam bons sistemas extracção de calor do interior do edifício é então evitada uma temperatura elevada nos espaços interiores, visto que também a entrada de calor pelos elementos da fachada encontra uma barreira mais eficaz do que uma solução de alvenaria tradicional.

De referir que o valor da inércia térmica depende da densidade do material. Como tal e sendo que, as densidades de alguns derivados de madeira são superiores à da madeira maciça, estes apresentam já valores mais próximos das consideradas boas soluções neste campo.

O ganho energético em climatização acaba por ser mais óbvio em países com climas de temperaturas inferiores às que se verificam em Portugal, tal como nos países do norte da Europa. No entanto também num clima ameno como o verificado em Portugal, este ganho existe devido às excelentes capacidades de isolamento térmico dos produtos derivados da madeira e da anulação das pontes térmicas que habitualmente se verificam nas soluções tradicionais de betão armado, que representam grandes perdas ou ganhos térmicos respectivamente no Inverno e no Verão.

O excelente comportamento térmico da madeira é verificado num exemplo concreto, uma escola primária de kingsmead localizada em Cheshire, Inglaterra, premiada com a distinção de melhor edifício público britânico.

Esta escola consegue um consumo energético extremamente baixo, comparativamente a outras que não adoptaram o mesmo material estrutural. Com o dinheiro poupado todos os anos em climatização artificial, a direcção da escola conseguiu assegurar a contratação de mais um professor para os seus quadros (woodforgood, 2013).

4.5.3. Potencial de Reutilização e Reciclagem

A madeira, como material de construção, apresenta um enorme potencial quer de reutilização quer de reciclagem. Estas dependerão sempre do estado de preservação dos seus elementos que, caso garantam a conservação das suas propriedades resistentes, poderão ser reutilizados em novas construções depois de um pequeno restauro e manutenção (Jular, 2010).

Se por outro lado o estado de conservação não permitir a sua reutilização, estes podem ser facilmente reciclados dando origem a produtos derivados deste material. O seu processo de reciclagem representa um consumo energético muito inferior ao necessário para reciclar aço ou betão, sendo que o material reciclado muitas vezes apresenta melhores características do que o original por junção de colas e resinas de alta resistência, e pela já abordada disposição alternada das suas fibras.

Em último caso a madeira pode também ser utilizada como fonte de energia de biomassa, sendo que na sua queima, como já referido anteriormente, a quantidade de CO₂ emitida é a mesma que foi acumulada durante o período de vida útil deste material, não contribuindo assim para o acréscimo da poluição atmosférica.

4.6. Produtos Derivados da Madeira

Um dos grandes problemas da madeira enquanto material estrutural de uma edificação é o facto de, como já referido, esta ser um material anisotrópico, ou seja, esta apenas apresenta uma boa resistência a cargas impostas segundo uma direcção paralela às suas fibras. A resistência oferecida quando estas cargas são impostas de forma perpendicular, é consideravelmente menor sendo que nessa direcção esta não consegue oferecer segurança estrutural.

Com o aparecimento de alguns produtos derivados da madeira tais como os painéis laminados colados, este problema foi contornado. As diferentes camadas de fibras colocadas de forma perpendicular umas às outras permitiram, como já referido, a obtenção de um comportamento isotrópico.

O aparecimento destes produtos permitiu a construção em altura de estruturas de madeira. A melhoria em termos de resistência estrutural que estes proporcionaram, possibilitou o aparecimento, cada vez mais comum em países como a Inglaterra ou o Canadá, de habitações multifamiliares com vários pisos, construídas exclusivamente em madeira.

Um dos melhores exemplos destas edificações em altura, é o Stadthaus Murray Grove, composto por nove pisos, oito dos quais construídos estruturalmente por recurso a um produto derivado da madeira, os painéis CLT (Cross Laminated Timber).

Este edifício será alvo de estudo mais à frente nesta dissertação aquando da apresentação dos casos de estudo no capítulo 6.

Estes produtos permitem também uma maior industrialização do sector da construção em madeira, não só pelo facto de serem produzidos com dimensões e espessuras específicas e padronizadas mas também pelo facto de eliminarem os habituais defeitos dos elementos de madeira maciça, como é o caso de nós, das fendas e dos descaios.

A eliminação destes defeitos permite que se assegure uma melhor qualidade final do produto e que as respectivas características de resistência sejam mais fidedignas.

4.6.1. Contraplacados

Este produto é formado por três elementos, a folha, a alma e a cola que as aglutina entre si. As folhas são colocadas sob pressão em número ímpar, umas sobre as outras de acordo com determinados ângulos que permitem a obtenção de isotropia, o aumento da capacidade de resistência à flexão e uma maior estabilidade estrutural.

A alma é a zona central do elemento e possui uma espessura superior às folhas que a revestem (Figura 4.8).

A cola utilizada deve possuir boas características de resistência ao fogo e humidades para assegurar a segurança e qualidade da construção final.



Figura 4.7 – Contraplacado (Jular, 2010)



Figura 4.8 – Detalhe da secção transversal de um contraplacado (Cruz e Nunes, 2005)

Nos contraplacados pode utilizar-se não apenas as lenhas e os toros dos troncos, mas também aparas e outros desperdícios provenientes do processamento das peças de madeira maciça. Desta forma, como já referido, rentabiliza-se todo este processo de produção, tornando-o mais ecológico, económico e eficiente.

É habitualmente utilizado para revestimentos interiores e exteriores, apresentando uma melhoria significativa relativamente à higroscopia e também ao comportamento ao fogo pois sofre tratamento com produtos retardantes de fogo por impregnação.

As características necessárias para estes produtos poderem ser utilizados nas construções estão especificadas na norma europeia EN636 – “Plywood, Specifications”.

4.6.2. Aglomerados de Partículas Longas e Orientadas

Os aglomerados de partículas longas e orientadas, também conhecidos por painéis OSB, são compostos por três camadas de lamelas de madeira, com dimensões até cerca de 10 cm de comprimento, colocadas de forma perpendicular umas às outras, com o objectivo de obter um comportamento isotrópico do produto, como nos contraplacados.



Figura 4.9 – Painel OSB (Jular, 2010)



Figura 4.10 – Aplicação em acabamentos interiores (Jular, 2010)

Antes de colocadas, estas lamelas são secas, sendo depois misturadas com resinas e ceras específicas que as aglutinam umas às outras. A utilização de resinas de síntese de grande qualidade permite uma excelente resistência destes painéis relativamente à humidade, o que permite o seu uso em pavimentos ou em estruturas de suporte de coberturas mesmo em ambientes agressivos em termos de presença de água.

Podem assumir funções estruturais e não estruturais, sendo que, comparativamente aos contraplacados, apresentam uma melhor qualidade a um preço inferior.

4.6.3. Painéis de Madeira Lamelada Colada

Os painéis de madeira lamelada colada, ou também designados por CLT (cross laminated timber), são compostos por camadas de madeira laminada colocados perpendicularmente entre si e em número ímpar (Figura 4.11). Os elementos disponíveis no mercado possuem habitualmente 3, 5 ou 7 camadas.

Tal como os outros produtos referidos anteriormente, esta orientação das fibras permite obter uma melhor capacidade resistente e estabilidade estrutural comparativamente aos elementos de madeira maciça.



Figura 4.11 – Painéis de madeira lamelada colada (Jular, 2010)

No caso específico dos painéis CLT, a sua maior espessura e densidade permitem-lhe realizar um melhor isolamento térmico, assim como aumentar a inércia térmica de uma construção em madeira, colmatando assim uma das principais desvantagens deste tipo de construção, a sua baixa capacidade de acumular calor na sua estrutura.

4.7. Durabilidade da Madeira

A madeira, apesar de não estar sujeita à carbonatação, ataque dos cloretos e oxidação, como o betão armado, é susceptível à acção e ataque de fungos e insectos xilófagos.

Esta acção pode ser prevenida de duas formas, que por um correcto dimensionamento da estrutura, que promova a ventilação e a protecção à humidade dos elementos de madeira, quer pela aplicação de produtos protectores a estes mesmos elementos.

Num ambiente ventilado e onde se assegure um teor de humidade entre os 13 e os 17%, a acção dos fungos xilófagos é praticamente inexistente (Negrão e Faria, 2009).

Existem muitos exemplos de construções milenares onde se verifica esta preocupação em proporcionar uma boa ventilação e protecção à humidade às estruturas de madeira, tal como é o caso do templo de Kiyomizu-dera, construído no ano de 780 D.C a leste de Kyoto no Japão, que apresentam ainda nos dias de hoje um excelente estado de conservação (Wikipedia, 2013).



Figura 4.12 – Templo Kiyomizu-dera (Flickr, 2005)

Relativamente aos produtos químicos preservadores existem, essencialmente, em três géneros:

- Protectores oleosos, ou os designados “oilborne” na terminologia inglesa, dos quais fazem parte o creosote e óleos de antraceno;
- Protectores aquosos, ou “waterborne”, essencialmente constituídos por sais minerais dissolvidos em água;
- E os solventes orgânicos, como soluções fungicidas ou insecticidas, podendo alguns destes produtos proporcionar as duas funções.

No caso particular do creosote, por imposição da comissão europeia, esta substância vai deixar de poder ser utilizada quer por entidades privadas quer por entidades públicas, devido ao seu potencial risco cancerígeno. Apenas em circunstâncias muito especiais, onde não existe um contacto directo entre as estruturas tratadas com este químico e seres humanos, e apenas depois de garantida a permissão das entidades reguladoras é que este poderá ser aplicado (Enterprise Europe Network, 2011).

Tal como a resistência mecânica, a durabilidade deste material varia muito consoante a espécie da árvore de onde provém. Varia também com a zona do tronco de onde é extraída, visto que a madeira do borne, por se encontrar numa zona mais exterior do tronco, mostra-se bastante mais vulnerável ao ataque biológico.

As principais normas respeitantes a durabilidade e preservação da madeira são:

- EN 351-1-“durability of wood and wood based products. Preservative-treated solid wood-part1:classification of preservative penetration and retention”;
- PrEN 599-1-“durability of wood and wood based products. Performance of preventive wood preservatives as determined by biological tests-part1:specification according to hazard classes”;
- PrEN 599-2-“durability of wood and wood based products. Performance of preventive wood preservatives as determined by biological tests-part2: classification and labeling”.

4.8. Comportamento ao Fogo

Um dos grandes entraves a um maior uso da madeira como material de construção estrutural, é o facto de esta ser considerada pela opinião pública, ou seja, pelos potenciais compradores e utilizadores das edificações como um material de fácil combustão e de forte susceptibilidade aquando de exposição ao fogo.

A madeira é de facto um material combustível, no entanto, para que a análise ao seu comportamento e segurança ao fogo seja correcta, ter-se-á que aprofundar dois conceitos extremamente importantes nesta matéria: a reacção e a resistência ao fogo.

A consideração destes dois factores é crucial pois uma maior ou menor segurança a incêndios proporcionada por um determinado material, não depende apenas da probabilidade deste iniciar a deflagração de um incêndio. É necessário também que se garanta estabilidade,

estanquidade e que se evite a libertação de gases e fumos tóxicos. Só desta forma podemos assegurar que:

- a evacuação dos ocupantes do edifício e a acção das equipas de bombeiros se processem de forma segura;
- o fogo não se propague para as divisões adjacentes à onde se deu a deflagração do incêndio, nem para edifícios vizinho;
- a minimizar os riscos para a saúde dos ocupantes e equipas de bombeiros, evitando a libertação de fumos tóxicos.

Existem vários documentos diferentes que procuram criar um sistema de regulamentação dos materiais de construção e das edificações em termos da sua segurança a incêndios. O mais importante e seguido é o Regime jurídico de SCIE (segurança contra incêndios), uma actualização do antigo regulamento geral de segurança contra incêndios, RGSCIE, divulgada no final de 2008 pela autoridade nacional de protecção civil, ANPC.

Este documento classifica os diversos materiais de construção não apenas de acordo com a sua reacção, mas também pela sua resistência ao fogo, dois factores fundamentais para se compreender o comportamento de um material ao fogo e a sua garantia de resistência enquanto parte integrante de uma estrutura.

4.8.1. Reacção ao Fogo

Existem duas fases distintas num incêndio, uma primeira que consiste na deflagração, ou seja, no início do mesmo e uma segunda que corresponde ao seu pleno desenvolvimento.

Na primeira fase, a deflagração, o material é classificado de acordo com o seu contributo para o desenvolvimento inicial do fogo. Esta é a denominada reacção dos materiais de construção ao fogo e é classificada de acordo com diversos ensaios especificados pelas normas E365 e E371 do LNEC.

Estes ensaios diferenciam os materiais em cinco classes diferentes, isto consoante o seu grau de combustibilidade:

Classe	Designação
M0	Materiais não combustíveis
M1	Materiais não inflamáveis
M2	Materiais dificilmente inflamáveis
M3	Materiais moderadamente inflamáveis
M4	Materiais facilmente inflamáveis

Tabela 4.2 – Classes portuguesas de reacção dos materiais ao fogo

Segundo esta classificação, a madeira, sendo um material combustível cuja temperatura de inflamação ronda os 350 °C, enquadra-se entre as classes M3 ou M4, dependendo da espécie da árvore de origem.

Pode-se então depreender que a madeira apresenta uma má reacção ao fogo, especialmente quando a comparamos com o betão ou o aço, cujas classes variam entre M0 e M1.

No entanto, a madeira quando tratada com produtos protectores que dificultam a sua combustão, pode facilmente atingir a classe M1, o que representa uma grande melhoria da sua reacção.

A protecção conferida quer por estes retardadores de fogo, quer por protecções mecânicas, será aprofundada mais à frente neste capítulo.

Este sistema de classificação do LNEC deixa, no entanto, de fora alguns parâmetros importantes para uma correcta e total compreensão da capacidade de reacção de um material ao fogo. Ela deixa de fora aspectos importantes para a saúde dos utilizadores das edificações, como o potencial de produção de gases e fumos tóxicos pela combustão do material.

Desta forma faz-se então referência à norma europeia, proposta pela comissão europeia e formalizada como 2003/632/CE (Europa, 2003).

Esta norma permite uma mais completa e correcta avaliação da reacção dos materiais ao início e propagação do fogo, englobando todos os aspectos referidos anteriormente.

A tabela 4.3 apresenta as diferentes classes estipuladas por esta norma europeia e estabelece uma comparação entre estas e as classes da classificação portuguesa:

Produtos de construção – excepto pavimentos			
Euroclasses			Antigas Exigências
	(Produção de fumo)	(Produção de gotículas)	
A1	-	-	M0
A2	s1	d0	M0
A2	s1	d1	M1
	s2	d0	
	s3	d1	
B	s1	d0	
	s2	d1	
	s3	-	
C	s1	d0	M2
	s2	d1	
	s3	-	
D	s1	d0	M3
	s2	d1	M4
	s3	-	(Não gotejante)
E - F	-	-	M4

Tabela 4.3 – Comparação entre as classes de reacção ao fogo portuguesas e europeias (Caridade, 2010)

4.8.2. Resistência ao Fogo

A segunda fase de um incêndio consiste no seu pleno desenvolvimento, sendo nesta que deve ser avaliada a resistência de um material à sua acção. Este conceito pode ser descrito como a capacidade deste em conservar as suas propriedades resistentes quando sujeito às altas temperaturas e à acção do fogo em sua plena actividade. Quanto maior o período de tempo durante o qual este mantém a sua capacidade estrutural maior é a sua resistência ao fogo.

Esta capacidade resistente pode ser classificada em três classes diferentes, depois de realizados os ensaios e critérios de avaliação especificados pela norma E364 do LNEC.

- Classe R (EF- estável ao fogo)- aplicável a elementos aos quais são exigidas apenas funções de suporte;

- Classe E (PC- para chamas)- aplicável a elementos de compartimentação, no que respeita à estanquidade;
- Classe EI (CF- corta fogo)- aplicável a elementos com funções não apenas de estanquidade mas também de isolamento térmico.

Depois de serem integrados numa destas classes, os materiais são em seguida classificados relativamente ao período de tempo em que conservam as propriedades especificadas pela classe correspondente. Esta segunda classificação é feita por atribuição de um escalão temporal, normalmente 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, e 360 minutos. Estes valores correspondem a um limite inferior do intervalo de tempo obtido, sendo que, desta forma, um material que corresponda à classe R e que, nos ensaios mostrou manter a sua resistência ao fogo durante 40 minutos é designado por EF30, relativamente a esta classificação.

Neste campo a madeira apresenta melhores características do que o betão e o aço. Depois de entrar em combustão, forma-se na madeira uma camada superficial de carvão que, pelas suas propriedades de isolamento térmico, protege as camadas interiores dos elementos, reduzindo a velocidade de carbonização para valores que rondam em média os 0,6 a 0,7 mm/minuto, valores referentes a madeira não protegida (Cruz e Nunes, 2005).

Esta velocidade de carbonização aumenta de forma inversa à densidade do tipo de madeira utilizado. Quando mais densa for a espécie em causa, menor será a velocidade da frente de carbonização.

Esta camada protectora de carvão permite não só que o incêndio se propague de forma mais lenta, mas também faz com que o seu desenvolvimento se dê de forma mais previsível e controlada do que noutros ambientes compostos por outros materiais construtivos.

Para se ter uma noção da melhoria que este material permite em termos de resistência ao fogo, a madeira mantém a totalidade da sua capacidade resistente num incêndio onde são atingidos os 1000°C, enquanto o betão perde 90% da sua resistência aos 540 °C e o aço 50% entre os 500 e os 700 °C (Mendes, 2008).

Para perceber a estanquidade permitida por este material à propagação do fogo no interior das habitações, foi conduzido um ensaio pela IVALSA (trees and timber research institute of italy) num edifício de três andares construído com recurso a um produto derivado da madeira, os painéis CLT, e com acabamento interior em gesso cartonado.



Figura 4.13 – Ensaio da IVALSA à propagação do fogo em edifícios de madeira (FPInnovations, 2010)

Foi colocado mobiliário e produtos eléctricos, comuns numa habitação, dentro das divisões, pois estes são os principais responsáveis pela deflagração e início de incêndios. Uma das divisões foi incendiada sendo que o ensaio mostrou que esta ardeu durante cerca de uma hora sem se espalhar para as divisões adjacentes. Este é um tempo que excede o mínimo exigido pela maior parte das legislações europeias referentes à segurança a incêndios, pelo que atesta a boa resistência que a madeira oferece ao fogo assim como estanquidade à sua propagação (Frangi et al., 2006).

4.8.3. Protecção da Madeira ao Fogo

Devido à sua combustibilidade, a madeira deve ser tratada e protegida para que a sua reacção ao fogo seja melhorada. Como foi visto anteriormente, aquando da classificação deste material neste campo, apenas com recurso à aplicação destes produtos protectores é que a madeira obtém a classificação necessária para garantir uma boa segurança aos incêndios, e cumprir com os requisitos mínimos exigidos pelas entidades controladoras.

Esta protecção pode ser efectuada não apenas por produtos retardantes de fogo mas também através de sistemas de protecção mecânica, sendo ambas as formas abordadas em seguida.

Protecção com Retardantes de Fogo

Um retardante de fogo (FR-fire retardant) é, de acordo com a definição de termos usados na segurança contra incêndios (EN 13943:2000), uma substância adicionada ou um tratamento aplicado a um material a fim de atrasar a ignição ou para reduzir o grau de desenvolvimento da combustão.

Existem diferentes tipos de retardantes que actuam de diferentes formas. Eles podem (Samuel, 2010):

- Facilitar e acelerar a criação da camada protectora superficial de carvão;
- Converter os gases voláteis libertados durante o incêndio em gases não inflamáveis como vapor de água e CO₂;
- Formar uma barreira vitrificada ou intumescente à superfície dos elementos de madeira;
- Libertar os radicais livres que inibem a combustão da madeira.

A aplicação destes produtos pode ser efectuada de duas formas diferentes, por impregnação ou por revestimento do elemento.

A primeira consiste na impregnação por autoclave em vácuo do retardante de fogo nos elementos de madeira, quer quando se tratam de elementos maciços quer quando são painéis de partículas ou contraplacados. Os FR impregnados promovem a conversão de gases voláteis

que são libertados por acção do fogo em gases não inflamáveis como vapor de água e CO₂. Desta forma consegue-se impedir que seja atingida a temperatura de ignição da madeira. É também por este processo que se promove a libertação de radicais livres que inibem a combustão.

Na segunda, os produtos FR são aplicados, normalmente, na fase de acabamento da construção. Estes são, regra geral, vernizes transparentes que proporcionam um revestimento intumescente à madeira.

Este revestimento intumescente promove a formação de uma camada carbonizada, quando em contacto com o fogo. Esta camada carbonizada, que funciona como um isolante térmico, impede a transmissão de calor e desenvolvimento das chamas para a madeira. No fundo substitui a primeira camada carbonizada da madeira não protegida quando exposta a fogo.

A capacidade de reacção ao fogo depende, normalmente, da espessura do revestimento, sendo que uma maior protecção é directamente proporcional a uma maior espessura.

Sistemas de Protecção Mecânica

Estes sistemas consistem na aplicação de revestimento das peças de madeira com painéis isolantes ou com argamassas fibrosas.

Os painéis isolantes são constituídos por silicato de cálcio, material que para além de isolante é incombustível. Estes painéis conseguem, à semelhança dos restantes sistemas referidos impedir que se atinja a temperatura de ignição das peças de madeira.

As argamassas fibrosas utilizam materiais como lã de rocha que possuem resistência ao fogo durante um determinado período de tempo, protegendo também a superfície dos elementos de madeira.

4.9. Comportamento Sísmico

A madeira apresenta uma excelente ductilidade, possuindo como tal, um excelente comportamento aos sismos. Para o comprovar, a já referida IVALSA conduziu um outro ensaio, desta vez, tendo como objectivo submeter um edifício de sete andares, construído em painéis CLT, a acções horizontais que simulam a acção de um sismo. O ensaio foi realizado na maior mesa simuladora de sismos do mundo, localizada no Japão. A intensidade do sismo testado foi de 7,2 na escala de Richter com acelerações da ordem dos 0,8 a 1,2 G's. Os resultados do estudo atestaram o excelente comportamento da madeira às acções impostas por este fenómeno, sendo que o edifício não apresentou, no fim do ensaio, qualquer deformação residual. O deslocamento máximo entre pisos foi de apenas 40 mm durante o abalo e a máxima deformação lateral, com um valor de 287 mm, verificou-se no topo do edifício. Estes excelentes valores representam uma melhoria relativamente às estruturas de betão armado e em aço (FPIinnovations, 2010).



Figura 4.14 – Ensaio da IVALSA ao comportamento sísmico de um edifício em madeira (FPInnovations, 2010)

Os elementos metálicos de ligação dos painéis contribuíram também para estes excelentes resultados pois permitiram uma melhor e mais uniforme distribuição das acções horizontais do sismo por toda a estrutura resistente do edifício (FPInnovations, 2010).

5. A Cortiça como Material de Isolamento Térmico Sustentável

Tal como tem vindo a ser referido ao longo desta dissertação, uma das preocupações crescentes da comunidade científica internacional é o efeito que a actividade e acção humana têm vindo a exercer no ambiente. Sendo a construção civil um dos sectores onde se verifica uma maior contribuição para a destruição dos recursos naturais e deterioração da salubridade atmosférica do nosso planeta, torna-se de extrema importância analisar todos os aspectos que possam atenuar este impacto.

Analisa-se, neste capítulo, o ganho em sustentabilidade pela utilização de isolantes térmicos com base na cortiça, um material 100% natural e ecológico.

A grande barreira às trocas térmicas entre o meio exterior e interior de uma edificação é o seu isolamento térmico. Este é o grande responsável pela conservação do calor nos espaços interiores, no Inverno, e pelo impedimento da sua entrada nestes, no Verão. Como tal a sua qualidade é extremamente importante para que a sua utilização se reflecta numa redução de consumo energético destinado à climatização das edificações.

Actualmente, em Portugal, os isolantes térmicos mais utilizados, tais como o poliestireno expandido e o extrudido, e as lãs minerais de rocha e de vidro, recorrem a matérias-primas fósseis e minerais para a sua produção. Todos estes fazem uso de recursos naturais não renováveis na sua constituição e como tal, logo à partida, significam um elevado impacto ambiental.

É importante, então, promover a utilização de alternativas sustentáveis e com baixo impacto ambiental a estes produtos, que mantenham um eficiente isolamento térmico de forma a representar também uma redução do consumo energético para climatização das edificações. Surgem assim, os designados isolantes térmicos naturais que usam na sua produção materiais ecológicos e renováveis, nos quais se encontram as designadas placas de aglomerados de cortiça expandida ou ICB, que utilizam apenas cortiça na sua produção. Pode citar-se a lã de ovelha, a palha ou casca de arroz como outros exemplos de materiais naturais utilizados para a produção de isolantes térmicos 100% naturais.

Todas estas são matérias-primas renováveis e a sua extracção implica não só baixas emissões de CO₂ e um baixo consumo energético mas também, como é o caso da cortiça, apresenta-se mesmo como um processo benéfico para a manutenção desses mesmos recursos.

Este capítulo procura então aprofundar as características da cortiça que lhe permitem, mantendo uma alta eficiência em termos de isolamento, representar um enorme ganho em sustentabilidade.

5.1. Estrutura e Propriedades da Cortiça

A cortiça é um material natural que tem origem no sobreiro, árvore cujo crescimento se dá maioritariamente na zona mediterrânica ocidental. Constituindo a camada protectora exterior do sobreiro, a cortiça possui propriedades únicas que a tornam numa excelente matéria-prima para o sector da construção, combinando uma alta eficiência em isolamento térmico, acústico e vibrático a uma elevada sustentabilidade e reduzido impacto ambiental.



Figura 5.1 – Sobreiro (Arocha, 2013)



Figura 5.2 – Cortiça (Jpn, 2011)

O primeiro descortiçoamento é efectuado quando são atingidos 70 cm de perímetro de tronco, para uma altura não inferior a 120 cm da árvore. A sua extracção é efectuada ao longo da vida do sobreiro (que regra geral atinge entre 150 a 200 anos), em intervalos regulares de nove anos.

A primeira tirada produz cortiça de qualidade inferior e de estrutura irregular, a designada “cortiça virgem”. Na segunda tirada, nove anos mais tarde, esta ganha uma maior regularidade e qualidade sendo designada por “cortiça secundária”.

Só a partir da terceira tirada é que a qualidade atinge o seu valor ideal, passando então a designar-se por “cortiça amadia”.

A nível macroscópico, a cortiça é composta transversalmente pela “raspa”, principal constituinte da “costa” (que é a parte exterior da cortiça), pelos anéis de crescimento intermédios (que se formam de forma distinta na primavera/verão e no outono/inverno) e pela “barriga” ou “ventre”, último anel de crescimento que constitui a camada interior de uma tirada de cortiça.

A raspa possui uma textura seca e endurecida, apresentando diversas fendas que são provocadas pelo aparecimento dos anéis de crescimento. Estes anéis apresentam uma maior ou menor espessura consoante são formados no Outono/inverno ou na primavera/verão, respectivamente. Este facto relaciona-se directamente com a dimensão das células da cortiça e suas membranas celulares que, no primeiro período referido, possuem uma espessura de 2 a 2,5 μm e, no segundo período referido, de 1 a 1,25 μm (Gil, 1998).

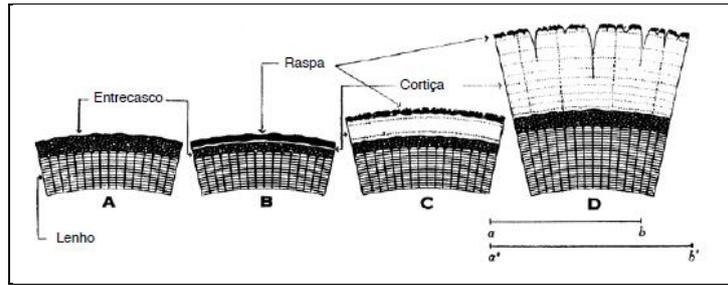


Figura 5.3 – Esquema do crescimento da cortiça no sobreiro (secção transversal) (Gil, 1998)

A barriga apresenta uma menor elasticidade comparativamente com os restantes anéis de crescimento, possuindo os designados orifícios de canais lenticulares, que atravessam radialmente todas as camadas referidas. Estes orifícios constituem, transversalmente, os poros.

A porosidade da cortiça, a par da cor, lisura e macieza, é um dos factores que permite atestar a qualidade da mesma através da observação exterior.

A nível microscópico a cortiça é constituída por um tecido de células mortas, compactadas entre si, que se encontram impermeabilizadas (quer a água, quer a gases), por uma substância designada suberina e por resinas existentes na sua composição.

Este material apresenta uma percentagem de vazios na ordem dos 85 a 90%, sendo estes os espaços interiores das células, que perderam o seu conteúdo no processo de suberização, estando agora preenchidos por uma mistura de ar e azoto (Gil, 1998).

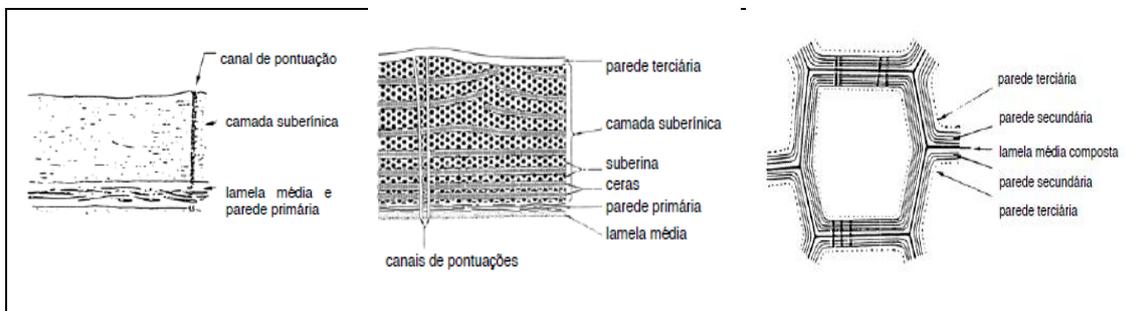


Figura 5.4 – Estrutura microscópica da cortiça (Gil, 1998)

O elevado volume de vazios e a reduzida dimensão das células da cortiça são os dois factores determinantes para o seu excelente comportamento enquanto isolante térmico. O primeiro permite-lhe reduzir a transferência de calor por condução visto que este processo depende da quantidade da matéria sólida presente na estrutura celular do material. O segundo minimiza a transferência de calor por convecção e por radiação, pois quanto menor for a dimensão das células, mais vezes o calor é absorvido e re-irradiado por estas.

Em termos de constituição química, a cortiça é constituída pelos seguintes compostos (Gil, 1998):

Composto	Percentagem na composição (%)	Função
Suberina	45	Impermeabilização, compressibilidade e elasticidade
Lenhina	27	Estrutura das paredes celulares
Polissacáridos	12	Estrutura da cortiça
Ceroides	6	Impermeabilização
Taninos	6	Cor e protecção/conservação
Cinza	4	Nenhuma relevante

Tabela 5.1 – Constituintes químicos da cortiça (Gil, 1998)

Cada um destes constituintes químicos da cortiça, conferem-lhe uma determinada capacidade e são também responsáveis pelo enorme potencial desta matéria-prima no sector da construção.

A suberina, seu principal composto químico, proporciona-lhe impermeabilidade, elasticidade e compressibilidade, aumentando a capacidade de deformação das suas células (Gil, 1998).

A resistência mecânica da cortiça é-lhe conferida pelos polissacáridos e pela lenhina, sendo esta a responsável pela rigidez das paredes celulares.

5.2. A Cortiça como Recurso Natural Sustentável

Em termos ambientais, a cortiça possui, à imagem da madeira, duas qualidades que a tornam num dos mais ecológicos e sustentáveis materiais que podem ser utilizados na construção: é uma matéria-prima renovável e retém o CO₂ da atmosfera.

O facto de ser um recurso renovável advém da sua fonte, o montado de sobreiro, que se encontra em constante crescimento. No entanto, tal como se verificava na exploração da indústria da madeira, para se manter este recurso sustentável, é necessária uma criteriosa e cuidada gestão florestal.

Em Portugal a cortiça é explorada predominantemente pela empresa Amorim. Esta, apesar de não ser a proprietária das florestas que explora, impõe uma gestão das mesmas de acordo com as directrizes da Forest Stewardship Council (FSC).

Esta Organização Internacional, não governamental, estipula princípios para uma gestão florestal responsável e para um saudável crescimento das árvores suas constituintes.

Dados referentes a 2009 apontavam para a existência, de 40.000 hectares de montado de sobreiro certificados de acordo com os princípios FSC (Cortiçeira Amorim, 2009).

Em termos de retenção de CO₂, a cortiça é, a par da madeira, o único material utilizado na construção com capacidade para o fazer. Mesmo depois de ser processada, esta continua a reter CO₂ em cerca de metade do seu peso seco. Estima-se que anualmente 4,8 milhões de toneladas de CO₂ são retidas pela área do sobreiro em Portugal.

5.3. Peso da Cortiça na Economia Nacional

Também em termos económicos, a cortiça assume um papel de destaque em Portugal, sendo produzidas em média, anualmente, 150.000 toneladas deste material.

Esse valor representa cerca de 50% do total mundial (Gráfico 5.1), constituindo-se Portugal como o seu maior produtor (APCOR, 2009).

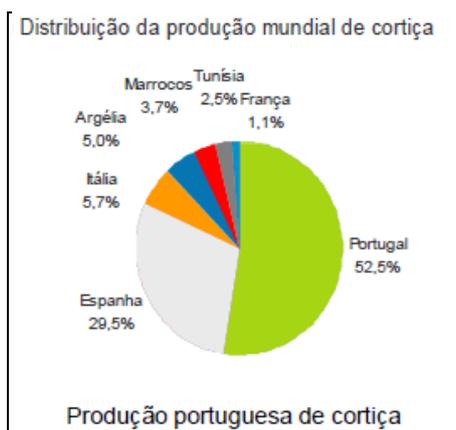


Gráfico 5.1 – Distribuição da produção mundial de cortiça (APCOR, 2009)

O impacto desta indústria faz-se sentir principalmente nas regiões a sul do Tejo, Ribatejo, Alentejo e Algarve (Chiebao, 2011), sendo que cerca de 12000 postos de trabalhos fabris são sustentados directamente pela indústria da cortiça e 6500 na área da exploração florestal.

5.4. Produtos Baseados em Cortiça na Construção Civil

As excelentes propriedades da cortiça proporcionam-lhe uma vasta aplicação no sector da construção civil, podendo ser utilizada para revestimento de paramentos, juntas de dilatação ou compressão, isolamento térmico, isolamento acústico e isolamento vibrático.

As suas principais características enquanto material de construção são as seguintes (APCOR, 2011):

- É imputrescível e como tal é um produto com longa durabilidade;
- Permite um óptimo isolamento acústico e antivibrático, para além de térmico;
- Não reage com agentes químicos;
- Apresenta bom comportamento ao fogo, não libertando gases tóxicos;
- Resistente à compressão;

- Tem elevada estabilidade dimensional;
- É 100% natural e reciclável;
- É uma matéria-prima renovável e fortemente implantado em Portugal.

A cortiça é utilizada na produção de materiais de construção como grânulos, dando estes origem aos designados aglomerados de cortiça. Podem diferenciar-se dois tipos diferentes de aglomerados, os compostos e os expandidos.

Os aglomerados compostos utilizam na sua composição, para além dos grânulos de cortiça, diferentes tipos de aglutinantes e, em certos casos, outros materiais como por exemplo madeira.

Os aglomerados expandidos utilizam apenas grânulos de cortiça na sua produção, sendo a aglutinação entre estes realizada através de resinas naturais embutidas na sua própria constituição, que são exsudadas no processo de produção. São, portanto, os mais ecológicos e sustentáveis de todos os produtos de construção baseados em cortiça.

5.4.1. Placas de Aglomerados Compostos de Cortiça

Na produção dos aglomerados compostos, para além dos grânulos de cortiça, são utilizadas resinas sintéticas que promovem a aglomeração destes. As mais utilizadas são as de poliuretano, as fenolicas (fenol-formaldeído) e as melaminicas, sendo por vezes utilizadas também resinas de origem vegetal (Gil, 1998).

Dependendo do seu propósito final, a massa volúmica da placa varia entre os seguintes valores (Gil, 1998):

Propósito	Massa Volúmica (Kg/m ³)
Decorativo	200-350
Revestimento de pisos	450-600
Juntas de dilatação	250-350

Tabela 5.2 – Massas volúmicas das placas de cortiça consoante a sua finalidade

Podem ser utilizados outros materiais auxiliares que potenciem determinadas características que se pretendem para o produto final. Como exemplos temos os painéis de piso flutuante, o linóleo e o designado “corkrubber”.

Os painéis de piso flutuante são, regra geral, constituídos por duas camadas de aglomerado de cortiça (sendo uma delas decorativa), intercaladas por uma camada de MFD ou de HDF (aglomerado de madeira de média ou alta densidade, respectivamente).

O linóleo, utilizado sobretudo para revestimentos sujeitos a um elevado desgaste e cuja limpeza se pretenda fácil e rápida, resulta da aglomeração dos grânulos de cortiça com óleo de linhaça oxidado, resina, serradura e óxidos metálicos, podendo ainda ser adicionados corantes. (Gil,1998)



Figura 5.5 – Painéis de linóleo (Gil,1998)



Figura 5.6 – Aplicação de painéis de linóleo em pavimento (Gil,1998)

Finalmente, o corkrubber é composto pela aglomeração dos grânulos de cortiça com borracha, podendo ainda ser adicionados, por exemplo, agentes de vulcanização, anti-oxidantes ou aceleradores de polimerização.



Figura 5.7 – Painéis de corkrubber (Gil,1998)

A sua aplicação é sobretudo enquanto juntas de dilatação ou compressão, dada a sua elevada compressibilidade e elasticidade, ou em pavimentos com uma elevada intensidade de tráfego.

5.4.2. Placas de Aglomerados de Cortiça Expandida

Enquanto isolante térmico, a cortiça é utilizada sob a forma de placas de aglomerados expandidos, também designados por ICB's. A grande particularidade deste produto, e o que o distingue dos aglomerados compostos, é o facto de na sua constituição, utilizar apenas e

somente falca, que é uma cortiça virgem, originária dos primeiros descortiçamentos. Esta possui um elevado teor de resina natural que, através da sua exsudação, permite a aglomeração natural dos grânulos, não recorrendo para tal, qualquer tipo de composto sintético.



Figura 5.8 – Placas ICB (Gil,1998) Figura 5.9 – Aplicação como isolante térmico exterior(Gil,1998)

A aplicação das ICB's nas edificações estende-se às coberturas, pavimentos e paredes, sendo que no caso das coberturas podem sobre elas ser directamente aplicadas as membranas betuminosas de impermeabilização. A grande amplitude térmica a que este produto resiste, permite-lhe o contacto e a colagem directa destas membranas por aquecimento com maçarico, sem que tal comprometa a sua integridade estrutural.

No isolamento térmico de paredes, este produto pode ser aplicado quer pelo exterior, quer na caixa-de-ar quando se trata de parede de alvenaria dupla.

As placas de ICB podem ocupar total ou parcialmente o espaço intermédio de uma parede dupla. O preenchimento total é de mais fácil colocação em obra, no entanto existe um maior risco de contacto entre a placa e água de, por exemplo, chuva que se possa infiltrar através do pano exterior da parede dupla.

Desta forma será preferível colocar a placa apenas em contacto com a face exterior do pano interior da parede dupla, deixando o restante espaço intermédio preenchido por ar.

Outra forma de realizar o isolamento térmico é colocando as placas de aglomerado de cortiça expandida pelo exterior, sendo que esta é a forma mais eficaz de o fazer. Nesta solução, estas são coladas ou afixadas à face exterior da parede, sendo depois aplicado um revestimento que proteja estas de acções mecânicas que a podem deteriorar, tais como a chuva, ou até mesmo vandalismo, e que proporcione o acabamento final da fachada do edifício.

As suas características térmicas (Tabela 5.3), permitem-lhe oferecer um isolamento térmico ao nível dos isolantes sintetizados mais vulgarmente utilizados, como é o caso do poliestireno expandido, com valores de coeficiente de condutibilidade térmica entre 0,037 e 0,044 W/m.°C, e o poliestireno extrudido, entre 0,027 e 0,034 W/m.°C .

Características Médias do Aglomerado de Cortiça Expandida	
Massa Volúmica	100-140 Kg/m ³
Coefficiente de Condutibilidade Térmica	0,039-0,045 W/m.°C
Calor Específico (a 20°C)	1,7-1,8 KJ/Kg.°C
Difusividade Térmica	0,18-0,20·10 ⁻⁶ m ² /s
Permeabilidade ao Vapor de Água	0,002-0,006 g/m.h.mmHg

Tabela 5.3 – Características médias do aglomerado de cortiça expandida (Fernandez, 1987)

Torna-se mesmo mais eficiente do que estes devido à sua maior massa volúmica e calor específico, que conduzem a níveis de difusividade térmica inferiores, permitindo uma melhor barreira à entrada de calor e saída de frio dos espaços interiores, no Verão, e vice-versa no Inverno. (Fernandez, 1987)

As ICB permitem uma boa protecção face à humidade visto que a cortiça contém na sua constituição vários compostos hidrofúgos, caso da suberina e das resinas naturais, que dificultam a entrada e a retenção da humidade para o interior do edifício.

Relativamente ao comportamento ao fogo, este produto apresenta uma excelente resistência à ignição sendo que quando exposto à chama, e tal como no caso da madeira, é produzida uma camada superficial carbonizada que torna a placa praticamente incombustível. Um teste realizado num bloco de aglomerado de cortiça expandido com duas polegadas de espessura, mostrou que são necessárias quatro horas para que a chama de um bico de Bunsen a 1.500 Fahrenheit atravessasse um bloco com as características referidas. (Gil, 1998)

As placas de aglomerado de cortiça expandida proporcionam também um bom isolamento acústico, pois a sua superfície irregular, cheia de cavidades, permite a absorção de uma parte da energia total do som reflectido. As reflexões das ondas sonoras são aumentadas ocorrendo perda de energia em cada uma.

No entanto, a maior vantagem deste produto é a sua sustentabilidade e o seu contributo para uma construção mais ecológica e ambiental, reduzindo não apenas a pegada de CO₂ das edificações, como sendo mesmo benéfica para a captura e retenção deste gás da atmosfera. Estes factos serão de seguida aprofundados, realizando-se um estudo de sustentabilidade aos mais importantes ciclos de vida deste produto.

5.5. Estudo de Sustentabilidade das Placas de Aglomerados de Cortiça Expandida

De forma a aprofundar as características ambientais das ICB acima referidas, e perceber claramente, de que forma a utilização deste produto contribui para a redução global do impacto ambiental das construções, será realizada uma análise às suas quatro principais fases de vida. Estas serão acompanhadas desde a extracção da sua matéria-prima até à sua reciclagem/reutilização ou deposição em aterro.

Nesta análise focar-se-á, principalmente, a capacidade de redução de emissão de CO₂ e de consumo de recursos naturais não renováveis, assim como o potencial de redução do consumo energético para climatização de edificações, o grande objectivo de um bom isolante térmico.

5.5.1.Extracção da Matéria-Prima

Uma das principais vantagens das ICB comparativamente com os restantes isolantes sintetizados é o facto de utilizar, na sua constituição, matéria-prima renovável, natural e ecológica, como já referido.

A extracção e exploração da cortiça promovem mesmo um saudável crescimento e desenvolvimento do sobreiro. Estima-se que um sobreiro cuja cortiça seja removida periodicamente, aumenta entre 250 a 400% a sua produção e aparecimento neste, aumentando também, desta forma a sua capacidade de retenção de CO₂ (Gil, 1998).

Relativamente ao processo de extracção em si, este não sofreu grandes alterações ao longo do tempo visto ser, ainda, o método mais rápido e eficiente. Consiste na remoção manual das pranchas de cortiça por trabalhadores especializados, designados por tiradores, com o auxílio de um machado especial para o efeito. A experiencia e conhecimento do processo, por parte dos tiradores, é fundamental para que não se danifique o tronco do sobreiro pois caso este sofra algum corte mais profundo poderá secar e morrer.



Figura 5.10 – Extracção da cortiça (Geoblogesas, 2009)

Depois de removida, a cortiça é empilhada e armazenada durante cerca de nove meses para que se promova a sua secagem e estabilização volumétrica (Gil, 1998).

A emissão de CO₂ durante a extracção da cortiça é então muito reduzida, provendo na sua maioria dos transportes dos trabalhadores para o local de tirada e das pranchas de cortiça para a zona de secagem. Contrasta, portanto, de forma radical com as elevadas emissões e impacto ambiental que se verificam na extracção da matéria-prima de, por exemplo, os poliestirenos, cuja produção provem do estireno, um derivado do petróleo.

O petróleo é um recurso fóssil e não renovável, cuja prospecção utiliza muitas vezes técnicas sísmicas, detonando-se explosivos em camadas subterrâneas do solo. Quando um reservatório é encontrado, uma sonda perfura o solo e constitui-se o designado poço de petróleo. A extracção deste consiste em três tipos (Wikipédia, 2012):

- **Extracção primária** – Dá-se numa fase inicial onde é a própria pressão no interior do reservatório que faz elevar o petróleo. Nesta fase apenas é necessário um sistema de válvulas, designado por “árvore de natal”, no topo do poço que permita o contacto entre este e um sistema de transporte tubular que encaminha o petróleo para armazenamento;
- **Extracção secundária** – Utilizada quando a pressão no reservatório desce ao ponto de a ascensão do petróleo à superfície exigir o recurso a injeção de água ou de outro fluido que provoque de novo o aumento da pressão a níveis que permitem a elevação do petróleo. Por vezes são também utilizadas bombas de extracção para auxiliar a extracção;
- **Extracção terciária** – Ocorre quando a secundária já não permite o fluxo de petróleo considerado ideal. Nesta, é utilizada uma turbina a gás para gerar electricidade, sendo o calor deste processo utilizado para produzir vapor de água, que é depois injectado no reservatório, mais uma vez, com o intuito de elevar a pressão no mesmo. Esta é uma das técnicas TEOR (thermally enhanced oil recovery methods) possíveis para maximizar o aproveitamento de um reservatório.

Percebe-se, desta forma, que comparativamente com o processo de extracção da cortiça, os do petróleo descritos em cima envolvem gastos não apenas de água e energia incomparavelmente superiores, originando também a destruição de maciços rochosos, não apenas na perfuração para extracção como também na primeira fase de prospecção, devido ao uso de explosivos.

É claro, nesta fase de vida das ICB, comparativamente com o poliestireno expandido e o extrudido, o ganho de sustentabilidade e a redução do impacto ambiental que a sua utilização primeiras permite obter.

5.5.2. Processo de Produção

A eficiência da indústria de produção de placas de aglomerados de cortiça e o seu aproveitamento de todos os resíduos resultantes da exploração desta matéria-prima contribuem para o cunho ambiental e ecológico deste produto.

A cortiça, no processo de produção das ICB, é triturada e limpa de impurezas, sobretudo lenho e entrecasco. Esta limpeza é efectuada com separadores densimétricos vibratórios, crivos e eventualmente separadores pneumáticos ou mantas rotativas.

Depois de limpo, o granulado é armazenado em silos, onde se volta a promover a sua secagem para que se atinja o teor de humidade ideal para a cozedura da matéria-prima.

Esta é efectuada com recurso a vapor de água, produzido em caldeiras a vapor que são alimentadas, em grande parte, pela queima dos próprios resíduos provenientes do processo de manufacturação das placas de aglomerados sendo que o principal resíduo utilizado para produção de energia térmica é o pó de cortiça (Gil, 2005).

Esta queima fornece 93 % da energia total utilizada no processo de secagem, sendo que os restantes 7% provêm da rede eléctrica (Gil, 2005).

O vapor de água proveniente das caldeiras atravessa então a massa dos grânulos e produz a exsudação das resinas da cortiça para a superfície dos mesmos, com conseqüente aumento de volume e aglomeração entre si. Durante este processo os grânulos estão colocados em autoclave e sujeitos a uma ligeira compressão para adquirir uma forma plana. Finalmente, o aglomerado é cortado em placas de diferentes espessuras e dimensões, sendo que o pó de cortiça e detritos resultantes da serração são também aproveitados para produção de energia de biomassa nas fases da produção descritas anteriormente (Gil, 2005).

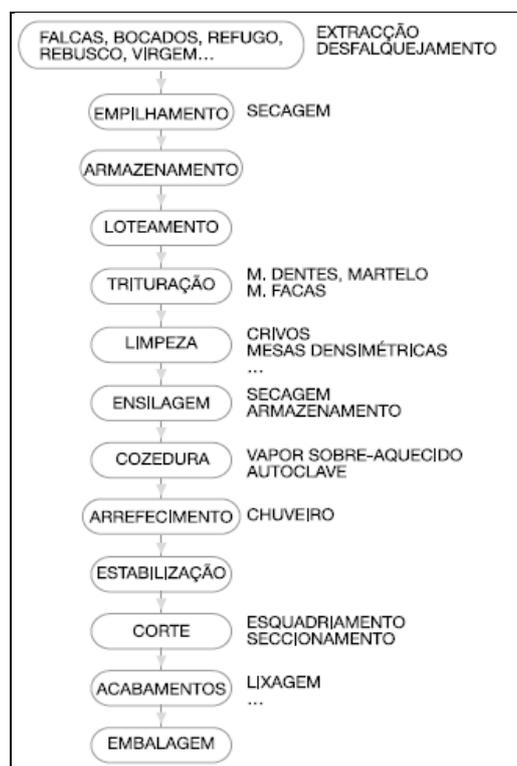


Figura 5.11 – Etapas da produção das placas de aglomerado de cortiça expandida (Gil, 2005)

Em todo este processo de produção de placas de aglomerado de cortiça expandida a emissão de CO₂ acaba por ser praticamente nula, visto que na queima dos resíduos para obtenção de energia térmica, apenas é libertado o CO₂ anteriormente retido pelos mesmos. Este é o princípio da energia de biomassa já referido no capítulo inicial desta dissertação, e o mesmo que se verifica na indústria dos produtos em madeira.

Como tal, temos que a indústria das ICB consome energia que ela própria produz e que representa um saldo nulo de emissão de CO₂, tendo em conta que o CO₂ libertado na queima do pó de cortiça é o mesmo que foi previamente absorvido por esta.

5.5.3. Utilização

A par da madeira, a cortiça é o único material de construção que tem a capacidade de reter CO₂, tal como foi já referido anteriormente. Esta capacidade não se esgota no seu meio natural, sendo que continua a reter este gás numa quantidade de cerca de metade do seu peso seco (aproximadamente 57,37%), mesmo após ser processada.

Estima-se que em Portugal são utilizados cerca de 150.000 m³/ano de cortiça para isolamento térmico, sob a forma de ICBs (com uma massa volúmica média de 120 Kg/m³). Sabendo que o teor médio de carbono na cortiça é de 57,37%, e que a razão entre o CO₂ e o carbono (C), é de 3,664 podemos calcular a retenção anual de CO₂ que este produto permite obter (Gil, 2005):

- $CO_2/C=3,664$
- $150.000 \cdot 120=18.000$ toneladas de cortiça anualmente utilizadas para isolamento
- $18.000 \cdot 3,664 \cdot 0,5737=37.836,66$ toneladas de CO₂ sequestrado por ano

Aliado a esta capacidade única entre os isolantes térmicos, está também a baixa difusividade térmica das placas de aglomerados de cortiça expandida. Como já referido, esta permite-lhes uma óptima conservação do calor ou do frio (consoante as necessidades térmicas), nos espaços interiores das edificações. Reduz-se desta forma a necessidade de consumo energético para climatização destes, representando também aqui uma poupança em termos de impacto ambiental das edificações. (Fernandez, 1987)

5.5.4. Reutilização/Reciclagem

A durabilidade de uma material de construção, e o seu potencial de reutilização directa é também um dos grandes contributos que este pode dar na redução do impacto ambiental do sector da construção.

Para tal, é necessário que este apresente uma boa conservação das características iniciais, chegado o fim da vida útil da construção onde se insere. Caso tal não se verifique, é extremamente importante, do ponto de vista ambiental, que este seja reciclável, de forma a ser utilizado em futuros produtos de construção, isto sem que o processo de reciclagem implique grandes consumos energéticos.

A cortiça é, como já visto aquando da sua descrição, um material imputrescível, que não sofre ataque de cloretos nem carbonização, e que não é susceptível a ataques de organismos biológicos, como fungos ou outros. Como tal, apresenta uma durabilidade virtualmente ilimitada, sendo também 100% reciclável.

De acordo com informações provenientes dos operadores de resíduos de construção e demolição, é estimado que 86% dos produtos de aglomerados de cortiça expandida utilizados na construção são ou reutilizados ou reciclados, isto caso o seu estado de conservação se

apresente em bom estado ou caso não tenham sido contaminados com colas, tintas ou argamassas. O processo de reciclagem consiste, na sua essência, ao mesmo utilizado para a produção de placas de aglomerado novas, sofrendo uma nova trituração e dando origem de novo a grânulos. Como tal não representa um consumo energético extra, relativamente ao normal processamento da cortiça, e a qualidade do produto reciclado é praticamente igual ao do utilizado para placas de aglomerado novas. Estes grânulos reciclados podem ser utilizados quer para a produção destas placas quer para outros produtos de construção civil, nomeadamente betões e argamassas leves, servindo como inerte. (Gil, 2002)

Das placas contaminadas estima-se que 9% são utilizadas como biomassa para produção de energia térmica através da sua queima, e apenas 5% são depositadas em aterros, sendo que são totalmente biodegradáveis não contaminando nem o solo, nem possíveis camadas freáticas subterrâneas, isto para além de não libertarem qualquer tipo de gás nocivo para a saúde humana e ambiental.

6. Casos de Estudo

Interessa agora perceber a aplicação prática de todos os conhecimentos e matérias abordadas até aqui. Serão, portanto, apresentados três casos de estudo de edifícios que se pretende que exemplifiquem e comprovem o ganho ambiental e de sustentabilidade que a utilização, quer dos sistemas de climatização estudados, quer dos materiais de construção referidos, permite obter.

O primeiro caso de estudo apresentado será o do edifício Solar XXI, que utiliza diversos dos sistemas de climatização natural e de produção de energias renováveis referidos no segundo e terceiro capítulos desta dissertação.

O segundo caso de estudo refere-se ao edifício Stadthaus Murray Grove, a primeira construção para habitação com nove andares, estruturalmente construída em madeira.

Finalmente, o terceiro caso apresentado é o do pavilhão de Portugal, utilizado na Exposição mundial de Shangai em 2010. Este foi revestido exteriormente inteiramente por cortiça, tendo diversas aplicações diferentes deste material no seu interior.

6.1. Edifício Solar XXI

O edifício solar XXI, planeado e construído pelo departamento de energias renováveis do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Informação (INETI), surge numa vertente experimental.

O seu objectivo é o de estudar e quantificar em que medida uma boa climatização natural aliada a um elaborado sistema de produção de energias renováveis, permitem uma redução do consumo energético numa edificação.



Figura 6.1 – Edifício Solar XXI (IEFP, 2012)

Todo o conceito por detrás da construção deste edifício é o de demonstrar que a sustentabilidade pode ser atingida com proveitos económicos e que se podem construir edifícios energeticamente eficientes projectando de forma responsável e incorporando, tal

como refere o Arquitecto Pedro Cabrita, que participou neste projecto, na arquitectura de raiz, os já dissertados sistemas de climatização passivos.

“O desafio de projectar um edifício com um programa fundamentalmente orientado para a experimentação e testabilidade de estratégias solares passivas e activas tornou-se, desde o início, uma tarefa de grande responsabilidade, tendo em conta as expectativas de criar um exemplo paradigmático de integração arquitectónica destes sistemas.

A metodologia de desenho procurou, assim, conciliar a complexidade técnica de cada sistema proposto com necessidades específicas na orientação de fachadas e dimensionamento de vãos, sem perder a ideia de projecto de arquitectura, isto é, sem esquecer que o desenho de um edifício é sempre um acto criativo que propõe espaços, formas e materiais, numa interacção como utilizador que ultrapassa a mera expressão básica de usos e funções.

Desde os primeiros esboços, tornou-se claro que o conceito arquitectónico do edifício solar XXI deveria investigar uma síntese onde os sistemas propostos funcionassem como instrumentos na definição da lógica formal do todo, ao contrário de uma simples construção com sistemas adicionados na fase final do processo.

Se, por um lado, é a métrica “standart” e abstracta dos painéis fotovoltaicos que estrutura tanto o ritmo da fachada sul como toda a geometria interna de espaços e alinhamentos, por outro, a implementação do edifício não procura apenas o sol, mas resulta igualmente de uma atenção aos dados do sítio, relacionando-se activamente com a geometria do bloco adjacente e com o traçado de percursos pedonais existentes” - *Pedro Cabrita Arquitecto, Assistente de projecto na FAUTL, em “Brochura Solar XXI”.*

Também o Coordenador do projecto de investigação, Hélder Gonçalves fala um pouco sobre esta experiencia inovadora em Portugal.

“O edifício solar XXI concretiza os esforços do departamento de energias renováveis do INETI, de projectar e construir de raiz um edifício que possa constituir um “ex-libris” da eficiência energética em edifícios e da utilização das energias renováveis.

Este projecto resulta pois do esforço conjunto dos investigadores, técnicos e conselhos directivos do INETI, que continuamente apresentaram propostas e projectos para financiamento a várias entidades nacionais e internacionais.

Em boa hora o projecto foi apoiado pelo PRIME, sem o qual teria sido impossível a sua concretização, pelo que ficam aqui os nossos agradecimentos.

Deste projecto de investigação e deste edifício espera-se que possa constituir um exemplo e um caso de estudo dos sistemas e tecnologias nele integrados.

O mesmo associa uma estratégia de optimização da envolvente à utilização de sistemas solares, activos e passivos, onde se destaca a integração de sistemas fotovoltaicos nas fachadas com aproveitamento térmico e um sistema de arrefecimento passivo pelo solo.

Com a utilização destas estratégias, espera-se que as condições de conforto térmico do edifício sejam asseguradas, reduzindo ou anulando quaisquer consumos energéticos para esse efeito.

Espera-se que o edifício solar XXI seja um exemplo a seguir na construção de edifícios em Portugal, conduzindo a uma mudança tecnológica que necessariamente ocorrerá no presente século.” - *Hélder Gonçalves em “Brochura Solar XXI”.*

6.1.1. Caracterização do Edifício

O edifício solar XXI é constituído por três andares, sendo um que um deles se encontra semi-enterrado. Com uma área de 1.500 m² distribuída pelos três pisos, este edifício possui funções de serviço, como salas e gabinetes de trabalho e laboratórios (LNEG, 2012).

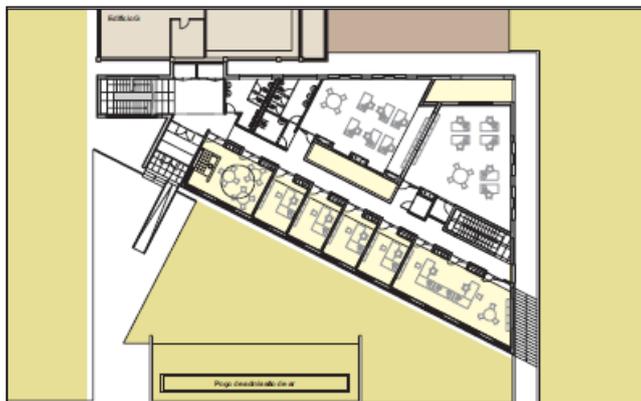


Figura 6.2 – Planta do edifício solar XXI (LNEG, 2012)

As salas de ocupação permanente, localizam-se na fachada orientada a sul (insolação directa e ganhos térmicos no inverno), e as de ocupação menos permanente tais como os laboratórios, encontram-se na fachada virada a norte (Figura 6.4).



Figura 6.3 – Fachada Norte e Oeste (IEFP, 2012)

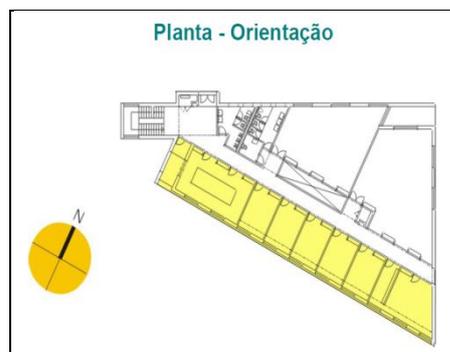


Figura 6.4 – Planta com orientação das fachadas (IEFP, 2012)

Na zona central do edifício existe uma clarabóia ampla, que estabelece comunicação entre os três pisos e que proporciona espaço de circulação e uma boa distribuição de luz a todo o seu interior. Este espaço amplo e clarabóia permitem também uma boa ventilação do edifício.

6.1.2. Detalhes Construtivos

As paredes do edifício são de alvenaria de tijolo de 22 cm de espessura, sendo isoladas pelo exterior por 6 cm de poliestireno expandido. Esta solução apresenta um coeficiente de transmissão térmica de $K=0,5 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ (IEFP, 2012).



Figura 6.5 – Construção dos panos de alvenaria do edifício (IEFP, 2012)

A laje de cobertura é maciça e é isolada, também pelo exterior, com 10 cm de isolamento (5 cm de poliestireno expandido + 5 cm de poliestireno extrudido), apresentando um coeficiente de transmissão térmica de $K=0,3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ (IEFP, 2012).



Figura 6.6 – Colocação do isolamento térmico na cobertura do edifício (IEFP, 2012)

Também o pavimento em contacto com o solo é isolado com uma camada de 10 cm de poliestireno expandido.

Relativamente aos vãos, estes são compostos por vidro duplo incolor e são protegidos por estores exteriores de lâminas reguláveis. A transmissibilidade térmica dos vidros duplos é de $K=2,6 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e a opção da colocação de estores pelo exterior conduziu a factores solares de verão na ordem de $F_s=0,004$ (IEFP, 2012).

6.1.3. Comportamento Térmico

Em termos térmicos, o edifício solar XXI possui um comportamento que não só respeita as exigências regulamentares em Portugal (que actualmente são bastante exigentes), como estabelece mesmo um patamar de excelência, principalmente no período de inverno, quando são necessários ganhos térmicos.

Por análise dos valores em seguida referidos pode-se constatar uma diferença acentuada nos valores de aquecimento e arrefecimento, sendo que é mais difícil arrefecer um edifício de forma natural, sem recurso a consumo energético de rede do que aquecê-lo. Mesmo assim, as exigências são cumpridas e sem recurso a climatizadores artificiais (LNEG, 2012):

$$\mathbf{NIC=6,6 < NI=51,5 \text{ KWh/m}^2.\text{ano}}$$

$$\mathbf{NVC=24,8 < NV=32,0 \text{ KWh/m}^2.\text{ano}}$$

NIC – necessidades de aquecimento

NI – necessidades de aquecimento de referência

NVC – necessidades de arrefecimento

NV- necessidades de arrefecimento de referência

Este excelente comportamento térmico é conseguido por diferentes meios, sendo que um deles é o facto de o isolamento ser colocado pelo exterior quer nas paredes como também na cobertura e pavimento em contacto com o solo. Desta forma, no inverno, a massa de inércia térmica do edifício é mantida no interior, tornando-o mais quente, e no verão assegura uma primeira barreira ao calor exterior, evitando a sua acumulação nessa mesma “massa inercial”.

A própria disposição das fachadas foi pensada de forma a maximizar os ganhos solares nos períodos de temperaturas baixas e minimizar estes nos períodos de temperaturas altas.



Figura 6.7 – Fachada Sul do edifício (IEFP, 2012)

Para reduzir os ganhos solares no período de verão, e visto que nessa altura a zona da fachada sul pode facilmente atingir temperaturas elevadas, apostou-se num sistema de protecção por estores exteriores reguláveis. A sua aplicação pelo exterior aumentou em muito a sua eficiência visto que impede a incidência solar nos vãos e consequentemente o aquecimento dos espaços interiores.

Também as áreas das fachadas a Este e Oeste foram minimizadas, visto serem as que no Verão estão sujeitas a uma maior incidência solar. Nestes paramentos minimizou-se também a existência de aberturas e envidraçados para se prevenir ganhos térmicos excessivos por trocas com o exterior e incidência solar.

6.1.4. Sistema Fotovoltaico

Uma das grandes premissas deste edifício foi a utilização de sistemas solares, quer passivos quer activos. Como tal a utilização de painéis fotovoltaicos (Figura 6.8), foi desde o primeiro momento uma solução adoptada ficando apenas a questão da localização dos mesmos (LNEG, 2012).

A decisão repartiu-se entre a cobertura ou a fachada virada a sul, a com maior área de vão e com maior exposição solar no Inverno. Esta questão ficou resolvida quando se constatou que se poderia aproveitar o aquecimento dos painéis fotovoltaicos para aquecer, também, o ar interior do edifício. Desta forma consegue-se aproveitar estes painéis para dois propósitos, o de produção de energia limpa e renovável e o aquecimento passivo dos espaços interiores.

A solução passou então pela utilização do conceito da parede de trombe, incorporando os painéis fotovoltaicos na fachada do edifício e deixando um espaço de ar entre estes e a superfície exterior da parede de alvenaria.

Grelhas de ventilação móveis foram colocadas no topo e fundo, quer do painel quer da parede exterior, para permitir a criação de correntes de convecção de ar aquecido no espaço intermédio entre estas duas superfícies.



Figura 6.8 – Painéis fotovoltaicos incorporados na fachada (IEFP, 2012) Figura 6.9 – Colectores solares na cobertura(IEFP, 2012)

Também na cobertura foram colocados colectores solares, destinados ao aquecimento das águas sanitárias do edifício (Figura 6.9).

Integrados na fachada Sul do edifício estão então 76 painéis (perfazendo uma área de 96 m²), responsáveis por uma produção de 30 KWh/dia de energia eléctrica. Este valor corresponde a 40% do total de energia consumida diariamente por este edifício (75 KWh/dia) (IEFP, 2012).



Figura 6.10 – Sistema de painéis fotovoltaicos no parque de estacionamento (IEFP, 2012)

Também no parque de estacionamento do edifício foram colocados 100 módulos fotovoltaicos (totalizando uma área de 95 m²); estes responsáveis pela produção de 25 KWh/dia, cerca de 33% do consumo total de energia (IEFP, 2012).

6.1.5. Aquecimento do Edifício

Para o valor extremamente baixo referido anteriormente para as necessidades de aquecimento, contribuem principalmente dois factores: a orientação da fachada com maior área de vão e a utilização do sistema fotovoltaico também para aquecimento dos espaços interiores.



Figura 6.11 – Exterior da parede de trombe (LNEG, 2012)



Figura 6.12 – Interior da parede de trombe (LNEG, 2012)

Esta fachada foi orientada directamente a Sul, recebendo como tal incidência solar durante praticamente todo o dia. Ela constitui, então, o principal elemento de captação solar, sendo os espaços interiores aquecidos de forma directa pela incidência da radiação solar. As restantes fachadas possuem uma área de vão menor, o que permite também reduzir a perda de calor pelas mesmas. A colocação das salas com permanência mais constante foi feita com contacto com os grandes vãos desta fachada, visto serem estes os espaços com maior requisição de conforto.

O outro factor que permite o aquecimento dos espaços interiores é, como já referido, a utilização do sistema de painéis fotovoltaicos para um misto de sistema de aproveitamento solar activo, por produção de energia eléctrica, e sistema solar passivo, adoptando uma variante de parede de trombe ventilada.

Esta solução tem a particularidade de permitir também o arrefecimento dos espaços interiores, sendo que para se controlar este sistema para ganhos ou para perdas térmicas é crucial o sistema de ventilação incorporado no mesmo.

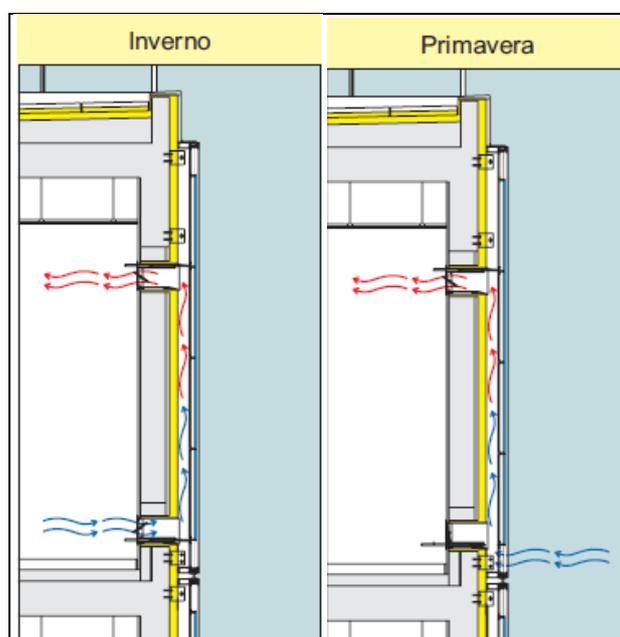


Figura 6.13 – Funcionamento da parede de trombe para aquecimento (LNEG, 2012)

Quando a necessidade é de aquecimento o que acontece é que o aquecimento do painel solar provoca também um aquecimento do ar que se encontra no espaço intermédio entre este e a parede exterior (Figura 6.13).

No período de Inverno, ao abrir a ventilação do topo e do fundo do lado interior, ou seja do lado da parede exterior, o que acontece é que o ar frio vai entrar no espaço intermédio, puxado pela saída, por convexão, do ar aquecido. Cria-se assim um efeito de chaminé em que o ar frio do interior entra no espaço entre a parede exterior e o painel pela ventilação de fundo e volta a entrar aquecido pela ventilação de topo. Neste período os orifícios de ventilação exteriores devem estar fechados (Figura 6.13).

No período da Primavera, o ar aquecido é o exterior, devendo ser abertos o orifício de ventilação exterior inferior, e o interior superior (Figura 6.13).

6.1.6. Arrefecimento do Edifício

O arrefecimento do edifício solar XXI é, como se pode verificar pelo valor da necessidade de arrefecimento no período de verão, mais difícil de se atingir de forma natural que o seu aquecimento e é, como tal, um pouco mais complexo. Para este arrefecimento natural foram utilizadas três estratégias que se baseiam nas seguintes ideias:

- Os ganhos solares da fachada principal virada a sul são obstruídos através da aplicação do isolamento térmico pelo exterior, assim como pela utilização de estores exteriores reguláveis, colocados nos vãos envidraçados;
- A ventilação natural do edifício foi otimizada, sendo o seu papel durante o período nocturno decisivo para o objectivo final de arrefecimento dos espaços interiores;
- Finalmente, promoveu-se o arrefecimento do ar por utilização de tubagem enterrada que comunica com um poço de alimentação de ar situado a uma determinada distância do edifício.

A colocação do isolamento térmico pelo exterior da fachada permite uma maior eficiência deste visto que impede a incidência directa e transmissão directa de calor para as paredes do edifício. Desta forma a propagação de calor transversalmente aos elementos constituintes da fachada exterior dá-se de forma mais lenta, e conseqüentemente menos calor é transmitido para o interior do edifício.

Esta opção permite também reduzir as pontes térmicas visto que o isolamento foi colocado, de forma homogénea, no edifício quase como que uma “caixa” protectora exterior. Previne-se desta forma a existência de zonas heterogéneas por onde o calor entraria com uma muito menor resistência do que nos planos de alvenaria da fachada, tais como as zonas da laje e de pilares, compostas por betão armado e sem isolamento.

A utilização dos estores exteriores reguláveis permite também um controlo muito maior no que respeita à entrada de calor. Também neste caso estes constituem uma barreira à incidência solar directa nos envidraçados, prevenindo o seu aquecimento e conseqüente transmissão de calor para o interior do edifício por radiação, assim como impedem também ganhos solares directos por incidência da luz solar nos espaços interiores, o que provoca, também, o aquecimento do ar circulante nestes.

Extremamente importante foi a criação de um poço central (Figura 6.14), que se comporta como uma chaminé solar, que permite a comunicação entre os três pisos e que, devido às aberturas motorizadas no seu topo, permite a ascensão do ar quente do interior do edifício para o seu exterior.

Todas as salas estão em contacto com este poço central através de bandeiras superiores de lâminas reguláveis colocadas quer nas portas quer nos vãos interiores. Este contacto permite uma ventilação natural que ao mesmo tempo arrefece todo o espaço interior por ascensão, como já referido, do ar quente e como tal menos denso, e sua libertação para o espaço exterior pelas aberturas localizadas no topo da chaminé solar (Figura 6.15).

A colocação de abertura nas diferentes fachadas para entrada de ar foi pensada para permitir uma ventilação natural transversal, norte-sul, ou, sul-norte, de forma a que todas as salas e espaços do edifício tivessem uma boa circulação de ar.

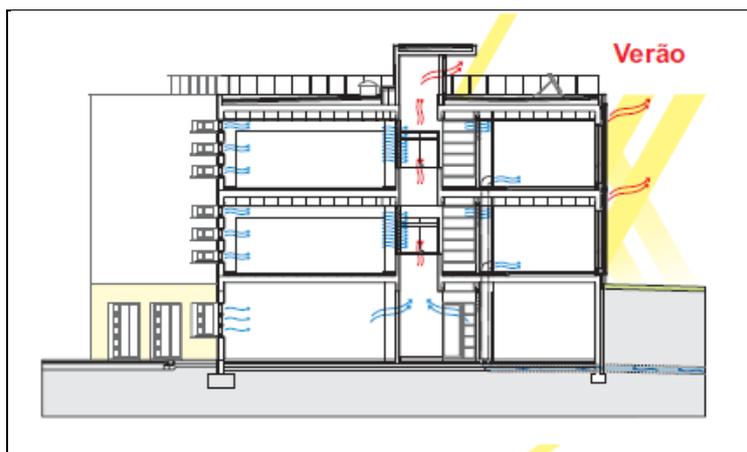


Figura 6.14 – Esquema do funcionamento da chaminé solar central (IEFP, 2012)

Também nas escadas principais, localizadas a poente, e no bloco de escadas a nascente se verifica este efeito de chaminé, possuindo estas zonas também clarabóias motorizadas no seu topo e aberturas na parte inferior.



Figura 6.15 – Detalhe dos orifícios de ventilação nas portas (LNEG, 2012)

Estes sistemas de ventilação permitem então, não apenas a renovação e circulação de ar mas também a ascensão do ar quente que se concentra no edifício, utilizando o efeito de chaminé. Cumprem-se assim com estes sistemas duas ações essenciais numa edificação.

Também as já referidas paredes de trombe permitem um arrefecimento passivo do edifício. Para tal, devem ser abertos, durante o período diurno, o orifício de ventilação interior inferior e o exterior superior.

Desta forma o ar quente do interior do edifício é expulso para o exterior visto que o ar no espaço intermédio da parede de trombe se encontra ainda mais quente. Forma-se assim uma corrente de convecção que permite o arrefecimento das divisões (Figura 6.16).

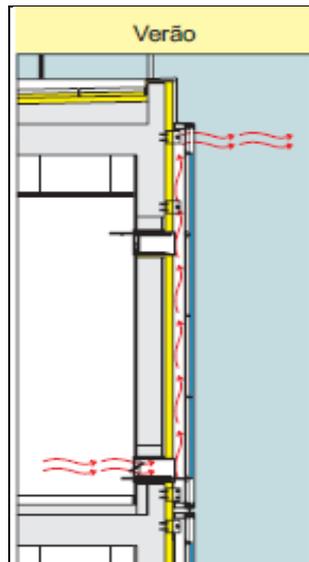


Figura 6.16 – Funcionamento da parede de trombe para arrefecimento (LNEG, 2012)

Finalmente estuda-se o mais inovador sistema de arrefecimento apresentado por este edifício: o arrefecimento pelo solo.

Este sistema consiste na construção de um poço de alimentação que ficou localizado a 15 metros da zona de implementação do edifício (Figura 6.17). A comunicação entre ambos é efectuada através de tubagens enterradas no chão a uma profundidade de 4,6 metros (IEFP, 2012).

Como já referido anteriormente, no capítulo dos sistemas passivos de climatização, o solo tem um potencial de fonte fria extremamente interessante, apresentando temperaturas entre os 16 e os 18 °C quando no exterior se podem sentir temperaturas da ordem dos 35 °C. Foram então colocados 32 tubos de manilha de cimento (a escolha deste material de grande condutibilidade térmica permite que a troca de calor com o solo se processasse de forma mais rápida), cada um com um diâmetro de 30 cm, que realizam a comunicação entre o poço onde o ar entra e o espaço interior do edifício onde o ar sai mais fresco (Figura 6.18). Ao chegar ao piso enterrado do edifício, esta tubagem passa a ser composta por PVC pois no seu interior a questão da troca térmica com o solo já não se coloca.



Figura 6.17 – Poço de alimentação (LNEG, 2012)

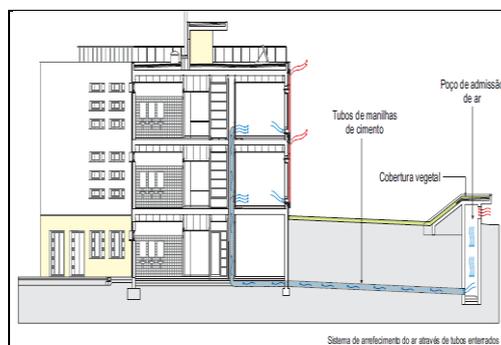


Figura 6.18 – Sistema de arrefecimento pelo solo(LNEG, 2012)

Estas tubagens sobem então pelas coretes centrais do edifício até cada uma das salas do piso térreo e do primeiro piso (Figura 6.19), injectando o ar fresco nestas. Em cada sala desboca duas tubagens com as respectivas saídas de ventilação que são controladas pelo utilizador (Figura 6.20).



Figura 6.19 – Conexão das tubagens às coretes (LNEG, 2012)

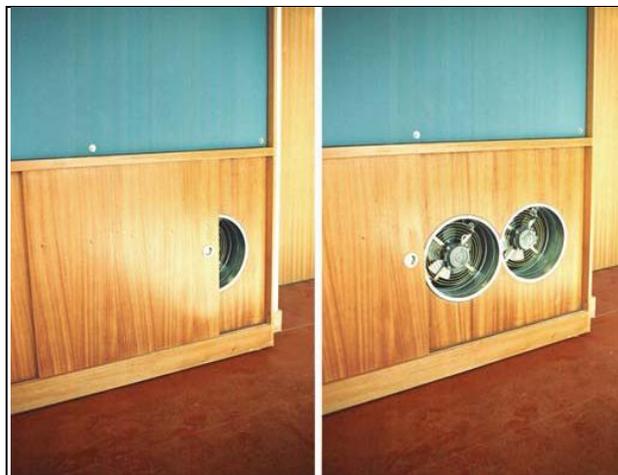


Figura 6.20 – saídas de ventilação para entrada do ar (LNEG, 2012)

O papel do utilizador para um bom funcionamento deste sistema é extremamente importante, visto que este não é comparável a um ar condicionado que fica ligado todo o dia providenciando o arrefecimento dos espaços. Para que funcione com eficiência a entrada de ar a partir dos tubos deve ser efectuada a partir do meio da tarde que é a altura onde a necessidade de arrefecimento do ar é mais notória, exigindo assim um papel activo do utilizador no funcionamento do sistema.

6.1.7. Iluminação Natural

O conceito de eficiência energética do edifício solar XXI vai mais além do que apenas a climatização e ventilação natural e instalação de sistemas fotovoltaicos. Os seus projectistas pensaram também em formas de promover a iluminação dos espaços interiores da forma mais natural possível, recorrendo ao mínimo de iluminação artificial possível. Como tal foram tomadas decisões construtivas que permitem esta entrada de luz solar para o interior do edifício.

As salas localizadas na zona sul do edifício possuem grandes vãos envidraçados que permitem a entrada de luz natural nos seus espaços interiores. Estes vãos possuem ainda os já referidos estores exteriores reguláveis que permitem um controlo do utilizador no que respeita à permissão da passagem da luz.

O poço central, com a clarabóia de topo, atravessa o edifício zenitalmente permitindo a iluminação natural dos espaços comuns dos três pisos (Figura 6.22). Como já referido anteriormente, as salas comunicam com estes espaços através de bandeiras de lâminas, que por serem translúcidas permitem a entrada de luz para o seu espaço interior. Desta forma as

salas que se situam na zona norte do edifício conseguem também obter uma boa iluminação natural.



Figura 6.21 – Iluminação natural no poço de escadas (LNEG, 2012)



Figura 6.22 – Iluminação natural pela clarabóia(LNEG, 2012)

6.2. Edifício Stadthaus Murray Grove

Com nove pisos, perfazendo uma altura de 29,75 metros de altura, o Stadthaus Murray Grove é considerado, actualmente, como o maior edifício do mundo a utilizar madeira como material estrutural. Este edifício, localizado na cidade de Hackney, Inglaterra, é composto estruturalmente por um primeiro piso em betão armado e por oito pisos construídos exclusivamente por painéis CLT.



Figura 6.23 – Stadthaus Murray grove(LIDDELL, 2013)



Figura 6.24 – Estrutura por camadas(LIDDELL, 2013)

Também as caixas de elevadores e de escadas utilizam madeira como material de construção (Figuras 6.25 e 6.26). O piso térreo de betão armado é reservado para exploração comercial,

tendo também um escritório pertencente à associação de moradores do edifício. Os restantes oito pisos são de ocupação residencial, perfazendo cada um, uma área de 2.352 m².



Figura 6.25 – Caixa de escadas (LIDDELL, 2013)



Figura 6.26 – Caixa para elevador (LIDDELL, 2013)

O custo total de construção foi estimado em 3 milhões de libras, cerca de 3,8 milhões de euros, calculados à taxa de câmbio actual (24 de Setembro de 2013).

A escolha da sua construção com recurso aos painéis CLT passou pela intenção dos arquitectos responsáveis em mostrar que a construção em altura, com uso de madeira, é possível e permite obter resultados finais não apenas mais sustentáveis e com a mesma, ou superior qualidade dos tradicionais sistemas em betão armado, mas também mais económicos numa perspectiva de longo prazo, contabilizando toda a vida útil da estrutura.

6.2.1. Descrição Estrutural e Construtiva

A escolha de construir o piso térreo em betão amado, prendeu-se com o facto de ser necessário precaver o movimento ascensional da água desde o solo até à estrutura em madeira. Poderiam, tal como referido nos regulamentos de construção para este material, ser deixado apenas um intervalo de 20 cm desde o solo até ao início dos painéis CLT, no entanto os projectistas acharam que seria mais seguro iniciar a utilização destes a partir do primeiro piso (TRADA, 2009).

A estrutura de madeira não possui vigas nem pilares, sendo que as cargas impostas são totalmente suportadas pelas paredes e pisos compostos pelos painéis CLT. A sua construção foi efectuada em sequência, sem a utilização de sistemas de cimbramento ou colocação de andaimes, visto que depois de montadas as paredes, era colocado o piso superior, conferindo a plataforma de construção para o piso seguinte. Apenas na fase final de revestimento exterior do edifício foram utilizados andaimes.



Figura 6.27 – Assemblagem dos painéis CLT durante a obra (LIDDELL, 2013)

Os elementos de madeira são unidos por placas metálicas angulares e por parafusos metálicos (Figura 6.28), o que ajuda na distribuição de esforços por todos os elementos e permite um retundência estrutural que confere uma maior segurança à estrutura.

Na figura seguinte é possível ver uma pormenorização das conexões metálicas utilizadas neste edifício.

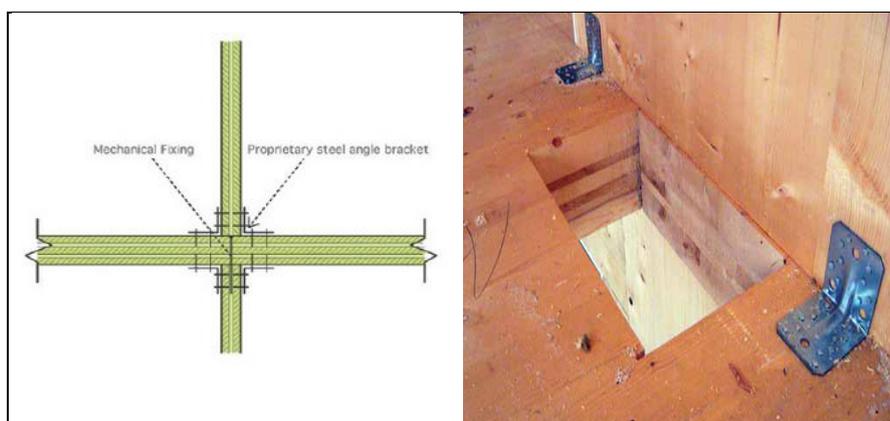


Figura 6.28 – Detalhe das ligações metálicas entre as placas CLT (LIDDELL, 2013)

A fachada do edifício é composta transversalmente, do interior para o exterior por placas de gesso cartonado, que conferem o acabamento interior, painéis CLT de 5 camadas com uma espessura de 146 mm, isolamento térmico com 70 mm de espessura, uma caixa-de-ar para ventilação dos elementos construtivos em madeira e uma camada de revestimento exterior composta por painéis de madeira reciclada e impermeabilizada.

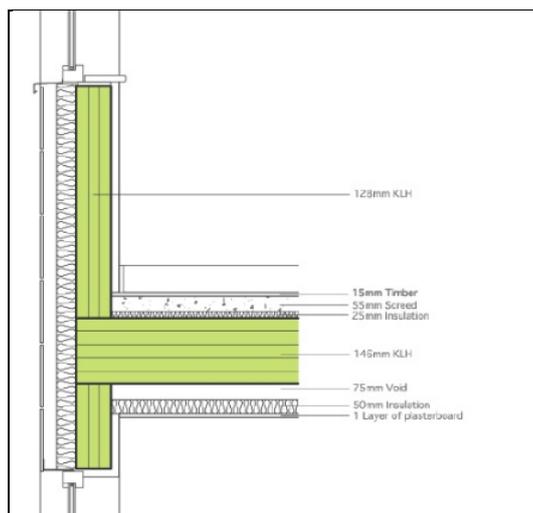


Figura 6.29 – Composição transversal do pavimento (LIDDELL, 2013)

O processo construtivo exigiu apenas a presença de 4 trabalhadores no local de construção, três dias por semana, tendo sido toda a superestrutura de madeira montada em 27 dias de trabalho. Para esta rapidez de construção muito contribuiu o facto de em todos os painéis, a zona para colocação de portas, janelas e instalações eléctricas e de canalizações virem já incorporadas sendo que os painéis iam sendo montados à medida que iam chegando ao estaleiro. O tempo total de obra foi de 49 semanas (TRADA, 2009).

6.2.2. Isolamento Térmico e Acústico

OS 70 mm de isolamento térmico utilizado e os 146 mm de espessura dos painéis CLT permitiram atingir um coeficiente de condutibilidade térmica de $K=0,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}^\circ$. Este valor representa uma melhoria de 15% no isolamento térmico do edifício em relação ao exigido pela legislação britânica (LIDDELL, 2013).

Relativamente ao comportamento acústico, a maior densidade dos painéis CLT relativamente a elementos de madeira maciça, conferem a estes um melhor isolamento acústico do que o verificado habitualmente nas construções tradicionais de madeira.

Floor Type	Floor Composition	Airborne (STC) dB	Impact (IIC) dB
	5-ply CLT 146 mm	38	26
	5-ply CLT + suspended ceiling + fibre glass insulation 200 mm + 2 gypsum boards 2 x 15mm	63	62

The second configuration provided ratings exceeding code requirements. These values are adequate for multi-family buildings.

Tabela 6.1 – Composição do pavimento e valores de isolamento acústico e vibrático (LIDDELL, 2013)

Foram no entanto utilizadas três camadas diferentes de isolante acústico nos pisos e uma caixa-de-ar com 75 mm de espessura para que se atingir um bom conforto acústico aos utilizadores do edifício.

6.2.3. Comportamento ao Fogo

Em termos de combate a incêndios, os 60 minutos de resistência exigidos pela regulamentação britânica foram excedidos, tendo-se atingido 90 minutos de resistência às chamas nos testes e ensaios realizados para esta solução construtiva, isto com a adição das placas de gesso cartonado como acabamento interior (TRADA, 2009).

Em edifícios altos de madeira, o uso de painéis CLT com 5 camadas permite uma maior garantia de segurança e estabilidade da estrutura na fase de incêndio em pleno desenvolvimento. São necessários 72 minutos para que estes elementos percam três das suas cinco camadas portantes por combustão (TRADA, 2009).

6.2.4. Vantagens Comparativamente com Outros Sistemas

Em termos ambientais, este edifício permitiu uma poupança de emissão de carbono para a atmosfera de cerca de 124 toneladas, isto durante a fase de construção do edifício. Se a este valor se juntar o facto de que os cerca de 900 m³ de madeira da estrutura absorverão 188 toneladas de carbono, chegamos a uma poupança comparativamente a uma construção de betão armado de 312 toneladas de carbono (TRADA, 2009).

O espaço necessário para o estaleiro foi muito reduzido visto que estamos a falar de elementos totalmente prefabricados, assim como o próprio tempo de construção que foi reduzido em 30% comparativamente com uma construção em betão armado. Um edifício em betão armado com dimensões semelhantes teria exigido 72 semanas de construção. Esta solução permitiu uma redução deste tempo para apenas 49 semanas (LIDDELL, 2013).

Se tivermos em conta a segurança e conforto dos trabalhadores, também aqui, esta se revela uma melhor e mais segura solução do que as tradicionais visto que não exige muita da maquinaria extremamente pesada e difícil de manusear, tal como martelos pneumáticos, que quer pelo barulho que produzem ou pelo esforço físico que exigem tornam-se prejudiciais para a saúde dos trabalhadores que as utilizam.

Outra grande vantagem é o facto de se ter utilizado apenas um guindaste móvel e não o normal guindaste de torre que requer um maior espaço em estaleiro. A utilização deste guindaste foi apenas necessária para a colocação do revestimento da fachada exterior do edifício, estando também muito menos tempo em obra do que o guindaste de torre numa construção semelhante em betão armado.



Figura 6.30 – Construção do edifício com recurso a guindastre móvel (TRADA, 2009)

As excelentes propriedades térmicas dos painéis CLT permitiram que com uma menor espessura de fachada se conseguisse um isolamento térmico superior ao exigido pela regulamentação britânica, como já referido. A utilização destes painéis permitiu também que, em vez dos tradicionais 10 mm de tolerância para os movimentos de dilatação da estrutura que são necessários deixar nas paredes mais tradicionais, fossem apenas necessários 5 mm (TRADA, 2009).

Estes dois factores permitiram um ganho de espaço útil de construção, que no caso dos centros urbanos é um aspecto cada vez mais valioso tendo em conta o preço do m².

Todas as divisões possuem ventilação mecânica que, devido a um sistema de recuperação de calor, conseguem reter até 70% do que seria perdido por libertação do ar para o exterior. O edifício possui também painéis fotovoltaicos que, apesar de uma modesta produção de energia, permitem a iluminação dos espaços comuns e a bombagem de água. Isto em consonância com a melhoria em termos de isolamento térmico que os painéis CLT representam relativamente às paredes exteriores em alvenaria ou betão armado, permite uma grande poupança em termos de consumo energético do edifício (LIDDELL, 2013).

6.3. Pavilhão de Portugal na Expo Shangai 2010

Sob o tema “Melhores Cidades, melhor qualidade de vida”, a expo Shangai 2010, focou-se na necessidade urgente de tomar opções sustentáveis, não apenas na construção e desenvolvimento dos grandes centros urbanos, mas também da própria sociedade e sua cultura.

O sector da construção e o seu actual impacto ambiental foi assunto de destaque, tendo cada um dos 195 países participantes sido convidado a demonstrar qual o caminho que planeia seguir para reduzir o seu consumo energético e emissões de CO₂ num futuro próximo.

Portugal optou por demonstrar a sua intenção de uma forma extremamente original e arrojada, apresentando um pavilhão totalmente revestido em cortiça. Este mereceu uma distinção especial da organização do evento, tendo sido distinguido com o “Prémio de Design” na

categoria de pavilhões com menos de 2.000 m², despertando a curiosidade de todos os visitantes que por ele passaram (BCORK, 2011).

Projectado pelo arquitecto Carlos Couto, o pavilhão de Portugal pretendeu mostrar toda a versatilidade e potencial de um material considerado pela Building Green, uma publicação da GreenSpec e da Environmental Building News (EBN), como um dos 10 produtos mais ecológicos e sustentáveis para a área da construção (AICEP, 2012).



Figura 6.31 – Vista exterior do pavilhão (BCORK, 2011)



Figura 6.32 – Revestimento exterior em ICB (BCORK, 2011)

O facto de Portugal ser o maior produtor mundial de cortiça do mundo e de esta estar profundamente enraizada não apenas na cultura como também na economia nacional, levou à sua utilização e lugar de destaque, sendo como que a face visível da mensagem que a organização portuguesa pretendia passar nesta exposição mundial.

Estrutura

Em termos construtivos, a fachada exterior é revestida por um total de 3.640 m² de placas de aglomerado de cortiça expandida, perfazendo mais de 24 toneladas deste material. Estas foram fixadas mecanicamente à estrutura metálica do pavilhão através de chapas e ligações metálicas, tendo sido deixado um espaço de ar para sua ventilação (BCORK, 2011).

Estas placas foram colocadas em contacto directo com o exterior não sendo revestidas por reboco ou por outro material. Desta forma atestou-se a excelente capacidade de impermeabilização deste material e a sua resistência às condições ambientais exteriores.

A área revestida interiormente por cortiça atingiu os 1.100 m² tendo também sido utilizados 780 m² de um produto com base em cortiça e com acrescento de borracha para isolamento acústico da sala de projecção de um vídeo promocional ao uso de energias renováveis e materiais sustentáveis em Portugal (BCORK, 2011).

Todos os produtos de cortiça utilizados no pavilhão foram cedidos pela Corticeira Amorim, a maior empresa a explorar esta matéria-prima em Portugal.

7. Considerações Finais

Todos os sistemas de climatização natural, sistemas de produção de energias renováveis e materiais sustentáveis dissertados, proporcionam grandes ganhos ambientais e de sustentabilidade na construção civil.

Estes ganhos são transversais a todas as principais etapas da vida de uma construção, interferindo desde a extracção das matérias-primas dos materiais de construção até à ao fim da vida útil das edificações onde estes se encontram incorporados. As principais ideias a reter para cada uma destas fases são:

- **Na fase inicial da construção**, englobando a exploração e extracção das matérias-primas, a utilização da madeira e cortiça como materiais de construção, permite grandes ganhos ambientais e uma grande redução da pegada ecológica das construções. Estes materiais possuem a capacidade única de reter o CO₂ da atmosfera, comportando também poucas emissões deste gás na sua produção para material de construção;
- Tanto a madeira como a cortiça apresentam-se como recursos renováveis, ao contrário do betão, aço e do poliestireno expandido e o extrudido. Estes fazem uso de matérias-primas e recursos naturais que levam milhões de anos a se formar, sendo por isso limitados. Nestes temos o exemplo da rocha utilizada para a produção do betão e do petróleo, substância base dos poliestirenos. Para além disto, o seu processo de extracção não comporta os mesmos danos ambientais nem emissões de CO₂, sendo mesmo, no caso da cortiça, benéfica para a fonte do recurso e para o seu meio envolvente;
- Outro ganho de sustentabilidade prende-se com o facto de a indústria, quer da madeira, quer da cortiça, usar os resíduos da sua própria exploração como biomassa para produção de energia. Esta é consumida e utilizada no processo de transformação do seu estado natural para material de construção. São portanto duas indústrias praticamente auto-suficientes em termos energéticos e em que a emissão de CO₂, em termos de balanço com a quantidade deste gás que é retido durante a vida útil do material, é praticamente nula;
- A construção em CLT permite uma grande redução de tempo de obra, de espaço de estaleiro, do número de trabalhadores necessários e da produção de resíduos em estaleiro, visto que, os diferentes elementos vêm já preparados de fábrica para serem directamente incorporados na construção;
- **Na fase de utilização**, os diferentes sistemas passivos de climatização, que permitem um aquecimento e arrefecimento natural das edificações, sem recurso a consumo energético de origem fóssil, assumem um papel crucial na sustentabilidade das edificações. Permitem que os fenómenos naturais de transferência de calor tais como a condução, a convecção e a radiação térmicas promovam a climatização necessária aos edifícios, reduzindo desta forma o recurso a climatização artificial, que comporta grandes consumos energéticos;

- Esta é mesmo a fase da vida das edificações onde se verifica a maior parcela do consumo energético ligado a este sector;
- Nos sistemas passivos de climatização natural, é crucial a utilização de materiais com uma boa inércia térmica. Neste ponto existe um certo conflito relativamente à utilização da madeira como material de construção estrutural, visto que esta não possui uma boa inércia térmica. Apresenta, no entanto, uma excelente capacidade de isolamento térmico, permitindo que um espaço seja aquecido mais rapidamente do que em soluções tradicionais de betão armado e alvenaria de tijolo, minimizando o recurso à climatização artificial das edificações;
- O maior problema em termos de climatização de uma construção em madeira é mesmo o seu arrefecimento, sendo que, para evitar temperaturas elevadas na estação de arrefecimento, devem ser tidos em conta alguns dos pormenores construtivos e sistemas de arrefecimento passivo referidos no terceiro capítulo desta dissertação. Estes passam por um bom sombreamento dos envidraçados das fachadas orientadas a sul, este e oeste e utilização de, por exemplo, chaminés solares, na promoção da extracção do calor dos espaços interiores dos edifícios. Estes sistemas passivos de arrefecimento não se encontram tão dependentes de uma boa inércia térmica como o que se verifica nos de aquecimento;
- A eficiência no isolamento térmico, que se verifica nos produtos para construção civil em madeira e cortiça, promove uma redução na utilização de climatização artificial, reduzindo também, e por consequência, o consumo energético das edificações na sua fase de utilização;
- Os sistemas de produção de energias renováveis apresentam-se também como um factor chave na redução do consumo energético de origem fóssil das edificações. Eles rentabilizam os recursos inesgotáveis que a natureza nos disponibiliza, tais como a radiação solar, o vento ou a água e originam energia limpa, sem produção de resíduos nocivos para o ambiente;
- **Também no fim da vida útil** das construções é evidente o ganho ambiental que se obtém por uso da madeira e da cortiça. Tanto as placas CLT como as ICB são facilmente recicladas, sendo que muitas vezes a sua longa durabilidade permite mesmo a sua reutilização em novas construções (especialmente as placas ICB);
- Mesmo não sendo reutilizadas ou recicladas podem sempre ser utilizadas como biomassa na produção de energia das respectivas, ou de outras indústrias.

8. Referências Bibliográficas

- Agência FAPESP (2011) “*Folha artificial*” <http://agencia.fapesp.br/13638> (Acedido em Outubro de 2012)
- AICEP (2011) “*Aglomerado de cortiça expandida da Corticeira Amorim integra TOP10 da Building Green dos EUA*”
<http://www.portugalglobal.pt/PT/PortugalNews/Paginas/NewDetail.aspx?newId=%7BEDEC5599-0A28-4896-976C-DE46517E4C40%7D> (Acedido em Abril de 2013)
- ANDIV (2009) “*Os fotovoltaicos vieram para ficar*”
http://www.andiv.com.br/downloads/rep-esp/ovidroplano_440_ago09_fotovoltaicos.pdf (Acedido em Outubro de 2012)
- Andreis, L. et al. “*Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil: uma abordagem ambiental*”, ISBN 978-85-7430-843-2, Edipucrs, Porto Alegre, 2009
<http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs> (Acedido em Novembro de 2012)
- APCOR (2009) “*Sector da Cortiça em Números 2009*”
<http://apcor.pt/userfiles/File/Estatisticas%20Sector%20da%20Cortica%202009.pdf> (Acedido em Fevereiro de 2013)
- APCOR (2011) “*Manual Materiais de Construção e Decoração*”
http://www.apcor.pt/userfiles/File/Publicacoes/Manual_MCD_PT.pdf (Acedido em Fevereiro de 2013)
- APREN (2010) “*Roteiro Nacional das Energias Renováveis, Aplicação da Directiva 2009/28/CE*”
http://www.repap2020.eu/fileadmin/user_upload/Roadmaps/Roadmap_APREN_Vfinal.pdf (Acedido em Outubro de 2012)
- AROCHA (2013) <http://www.arochoa.org/pt-pt/10884-DSY/version/default/part/ImageData/data/sobreiro.jpg?language=default> (Acedido em Janeiro de 2013)
- ASKNATURE (2013)
<http://www.asknature.org/product/373ec79cd6dba791bc00ed32203706a1> (Acedido em Fevereiro de 2013)
- BCORK (2011) “*Pavilhão de Portugal da Expo Xangai ganha prémio de design*”
<http://www.bcork.amorim.com/pt/news/portugal-pavilion-of-expo-shanghai-wins-design-award> (Acedido em Abril de 2013)
- Benyus, J. “*Innovation Inspired by Nature*”, ISBN 0-688-16099-9, New York, 1997

- BRIANWILLIAMS (2012) www.briangwilliams.com%2Flow-energy-strategies%2Fpassive-cooling-options.html&originalURL=-2099879876&pip=false&premium=false&client_uid=3172782499&client_ver=3.6.2.16&client_type=IEPlugin&suite=true&aff_id=0&locale=pt_PT&ui=1&os_ver=6.0.2.0 (Acedido em Dezembro de 2012)
- Caridade, J. “*Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*”, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010
- Chiebao, F. “*Cortiça e Arquitectura*”, ISBN 978-972-98932-7-8, Euronatura, Lisboa, 2011 <http://www.promocork.com/files/cortica-arquitetura.pdf> (Acedido em Fevereiro de 2013)
- Construção Sustentável (2012) “*Sistemas de Aquecimento com Biomassa*” <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-|Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Sistemas-de-Aquecimento-com-Biomassa> (Acedido em Março de 2013)
- Construlink (2006) “*Ficha Técnica: Arquitectura Bioclimática*” http://www.construlink.com/Homepage/2003_Guiaotecnico/Ficheiros/gt_379_arquitectura_bioclimatica_06_2006_11_20.pdf (Acedido em Agosto 2012)
- Construlink (2007) “*Ficha Técnica: Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*” http://www.construlink.com/Homepage/2003_Guiaotecnico/Ficheiros/gt_395_construlink_17_12_02_2007.pdf (Acedido em Agosto de 2012)
- Cortiçeira Amorim (2009) “*Sustentabilidade: Escolha natural*” [rel_sustentabilidade_amorim_09.pdf](http://www.cortiçeira.com/rel_sustentabilidade_amorim_09.pdf) (Acedido em Fevereiro 2013)
- Cruz, H.; Nunes, L. “*A madeira como material de construção*”, Núcleo de Estruturas de Madeira, LNEC, 2005
Versão digital disponível em http://academia.edu/1359438/A_madeira_como_material_de_construcao (Acedido em Dezembro de 2012)
- DERN (2013) <http://www.dern.pt/index.php?pg=19> (Acedido em Março de 2013)
- DFORCESOLAR (2013) <http://www.dforcesolar.com/pt/turbinas-eolicas/> (Acedido em Maio de 2013)
- DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia “*Utilização de colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*”, ISBN-972-8268-29-7, DGGE/IP-AQSpP. 2004 <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf> (Acedido em Outubro de 2012)
- E364 – Segurança contra incêndio. Resistência ao fogo de elementos de construção. Métodos de ensaio e critérios de classificação, LNEC

- E365 – Segurança contra incêndio. Reacção ao fogo dos materiais de construção. Critérios de classificação, LNEC
- E371 – Segurança contra incêndio. Reacção ao fogo dos materiais de construção. Ensaio no calorímetro, LNEC
- ECOCASA (2013) <http://www.ecocasa.com.br/energia-fotovoltaica.asp> (Acedido em Março de 2013)
- EFI – presentation (2004) “*Impact of accession countries on the forest/wood industry*”
- EHSAAN (2010) “*Biomimetic shading techniques of the Esplanade Theatre*”, Novembro, 2010 <http://www.biomimetic-architecture.com/2010/biomimetic-shading-techniques-of-the-esplanade-theatre/> (Acedido em Setembro de 2012)
- EMBRAPA (2012) http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/CONT000fupt11fx02wyiv80166sqf174bnbs.html (Acedido em Dezembro de 2012)
- EMPRESASVERDE (2013) <http://empresaverde.blogspot.pt/2013/04/energia-hidraulica-agua.html> (Acedido em Maio de 2013)
- Energias alternativas (2013) “*Biomassa*” <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/biomassa/> (Acedido em Março de 2013)
- ESOLAR (2013) http://www.esolar.pt/solar_termico.htm (Acedido de Março de 2013)
- Europa (2003) “*Acesso ao direito da União Europeia*” http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&type_doc=Dcision&an_doc=2003&nu_doc=632&lq=pt (Acedido a Março de 2013)
- Europa (2012) “*Construction*” http://europa.eu/legislation_summaries/internal_markets/single_market_for_goods/construction/en0021_en.htm (Acedido em Setembro de 2012)
- FABUTE – Faculty of Architecture of Budapest University of Technology and Economics “*Fundamentals of Building: Physics and Fundamentals of solar Architecture*”, Budapeste, 2003
- FAQ “*Forest Products 1996-2002*”, FAQ Forestry Series 35, Rome, 2002
- Fehrenbacher, J. “*Biomimetic Architecture: Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds*”, Novembro, 2012 <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-center-in-zimbabwe/> (Acedido em Outubro de 2012)
- Fernandez, L. “*Cortiça*”, Bol.IPF, nº587, p222-229, 1987

- FLICKR (2005) <http://www.flickr.com/photos/fabi6616/1452039051/> (Acedido em Abril de 2013)
- FPInnovations (2010) “*Cross Laminated Timber: a Primer*” www.economy.gov.sk.ca/Cross-laminated-timber (Acedido em Março de 2013)
- Frangi, A. et al. “*Natural full-scale fire test on a 3 storey Xlam building – Proceedings of the 10th EWPA World Conference on Timber Engineering*”, 2006
- GEOBLOGESAS (2009) <http://geoblogesas.blogs.sapo.pt/23222.html> (Acedido em Maio de 2013)
- Giaconia, C. et al. “*Reducing energy consumption and CO2 emissions in European countries: a review on legal environmental and increasing use of photovoltaic energy for electric propulsion systems*”, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni, Palermo, 2010 <http://www.beywatch.eu/papers/Ever%2010-paper%20368.pdf> (Acedido em Novembro de 2012)
- Gil, L. “*A cortiça como material de construção – Manual técnico*”, APCOR-Associação Portuguesa de Cortiça, INETI, Lisboa, 1998 [Caderno%20tecnico%20F%20PT.pdf](#) (Acedido em Fevereiro de 2013)
- Gil, L. (2002) “*World Renewable Energy Congress VII*”, Colónia, p.705
- Gil, L. “Cortiça”, in “*Materiais de Construção: Guia de Utilizador*”, Loja da Imagem, Lisboa, 2005
- GLOBOAMAZONIA (2009) <http://www.globoamazonia.com/Amazonia/0,,MUL1336517-16052,00-EMPRESA%20DOS%20EUA%20DESENVOLVE%20GERACAO%20DE%20ELETRICIDADE%20A%20PARTIR%20DE%20ARVORES%20VIVA.html> (Acedido em Janeiro de 2013)
- Gonçalves, H.; Joyce, A.; Silva, L. “*Fórum Energias Renováveis em Portugal: uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental*”, ISBN 9728646054, ADENE/INETI, Lisboa, 2002
- Gonçalves, H.; Mariz, J. “*Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*”, INETI, 2004 <http://www.Ineg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1Ticos.pdf> (Acedido em Agosto de 2012)

- Henriques, P.G.; Teodoro, N.F. "Contribution to Sustainability in Construction: Recycling and Reutilization of Materials", Creative Construction Conference, 2012
- Henriques, P.G.; Neves, S.C. "Study of the Applicability of Construction Systems in the Performance of Sustainability in Civil Engineering", Creative Construction Conference, 2012
- Hermont, B. "*Estudo comparativo de resistência à erosão por cavitação do metal de solda depositado por um arame tubular tipo 13%CR-4%Ni-0,4%Mo e do aço fundido ASTM a743 CA-6NM*", tese para obtenção do título de mestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 20 de Abril, 2007
- IEFP (2012) "*Edifício Solar XXI: Projecto de Demonstração na Área das Energias Renováveis e da Eficiência Energética no Edifícios*"
http://www.iefp.pt/formacao/formadores/formacao/OfertaFormadores/Encontros/Documents/EncontroTecnicoSectorial_NovosMateriaisConstrucaoCivilSustentavel/Painel_02_02_INETI_Arg_Mariz_Graca.pdf (Acedido em Setembro de 2012)
- INE, I.P/DGEG (2011) "*Inquérito ao consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*"
http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=127228533&att_display=n&att_download=y (Acedido em Dezembro de 2012)
- Jerrold, E. "*Wood properties*", USDA – Forest Service, Forest Products Laboratory, Wisconsin, October, 1994
- JPN (2011)
http://jpn.c2com.up.pt/2011/06/08/cortica_a_joia_da_economia_portuguesa.html
(Acedido em Janeiro de 2013)
- Jular (2010) "*Tackle Climate Change: Use Wood*"
http://www.jular.pt/pdf//Tackle_Climate_Change_Use_Wood.pdf (Acedido em Novembro de 2012)
- Layton, J. (2010) "*Como funciona a energia eólica*"
http://www.fiec.org.br/artigos/energia/energia_eolica.htm (Acedido em Outubro de 2012)
- LIDDELL, C. "*Stadthaus, Murray Grove: 9 storey timber high rise*", 2013
<http://www.slideshare.net/jeffranson/stadthaus-murray-grove-case-study-presentation>
(Acedido em Janeiro de 2013)
- LNEG (2012) "*Edifício Solar XXI: Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*"
http://www.lneg.pt/download/4078/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf (Acedido em Setembro de 2012)
- Matias, L. "*Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal*" in Coleção de Teses e Programas de Investigação LNEG, ISBN 978-972-49-2207-2, LNEG, Lisboa, 2010

- MCPFE “*State of Europe’s Forests 2003 – The MCPFE report on sustainable forest management in Europe*”, Horn, Vienna, 2003
- Mendonça, P. “*Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005
- Mendes, S. “*Avaliação técnica e económica de casas pré-fabricadas em madeira maciça*”, Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2007/2008 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008
- Mitjà, A.; Esteve, J.; Escobar, J. “*Estalvi d’energia en el disseny d’edificis*”, Generalitat de Catalunya/Departament d’Indústria i Energia, Barcelona, 1986
- Moret, A. “*Térmica de edifícios, transmissão do calor e necessidades energéticas*”, em slides teóricos da cadeira Física das Construções do Instituto Superior Técnico, 2010
- Nabuurs et al. “*Future wood supply from European forests – implications for the pulp and paper industry*”, Alterra-report 927, Alterra/EFI/SBH for CEPI, Wageningen, The Netherlands, 2003
- Negrão, J.; Faria, A. “*Projecto de Estruturas de Madeira*”, ISBN 9728953364,9789728953362, Pubindústria, Novembro, 2009
- Parviainen, J. “*Strict forest reserves in Europe – Efforts to enhance biodiversity and strengthen research related to natural forests in Europe*”, COST Action E4, Forest Reserves Research Network, 1999
- Paul, J. “*Passive Solar Energy Design and Materials*”, Noyes Data Co., Park Ridge, New Jersey, 1979
- PROJECTO-PROFINATURA (2010) <http://projecto-profinatura.blogspot.pt/> (Acedido em Janeiro de 2013)
- Quick, D. (2012) “*Ibasei’s Cappa provides hydroelectricity on a small scale*” www.gizmag.com/cappa-compact-hydropower-generator/25430/# (Acedido em Março 2013)
- Samuel, R. “*Especificação de protecção ao fogo para estruturas de Madeira*”, Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2009/2010 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010
- Santos, C.; Matias, L. “*Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, versão actualizada 2006*”, LNEC, Lisboa, 2006
- Schittich, C. “*Bulding skins – Concepts, layers, materials*”, Birkhauser, Edition Detail, Muchen, 2001

- Serra, R.; Coch, H. “*Arquitectura y energia natural*”, ISBN 8498800099,9788498800098, Edicions de la UPC, S.L, 204
- Singh, T. (2012) “*VengerWind Unveils world’s largest rooftop wind farm in Oklahoma City*” <http://inhabitat.com/venger-wind-unveils-worlds-largest-rooftop-wind-farm-in-oklahoma-city/> (Acedido em Fevereiro 2013)
- Solomon, S. et al. “*Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*”, Cambridge University Press, 2007
- SKYSCRAPERCITY (2010) <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1528057&page=3> (Acedido em Fevereiro de 2013)
- TNSUSTENTAVEL (2011) <http://www.tnsustentavel.com.br/noticia/imprimir/id/5642> (Acedido em Fevereiro de 2013)
- Tomás, J. “*O emprego da Madeira de pinho bravo em estruturas – edição 500 memória*”, LNEC, Lisboa, 1978
- TRADA (2009) “*Case study: Stadthaus Murray Grove*” <http://www.trada.co.uk/casestudies/overview/StadthausMurrayGrove/> (Acedido em Setembro de 2012)
- VEJA.ABRIL (2009)http://veja.abril.com.br/40anos/blog/ronaldo-franca/158254_comentarios.shtml (Acedido em Março de 2013)
- Vhn (2003) “*3. Wood Product as Carbon Stores*” http://www.vhn.org/pdf/Eurofact3-Wood_as_Carbon_Stores.pdf (Acedido em Dezembro 2012)
- WIKIENERGIA (2013) http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Colector_solar_t%C3%A9rmico (Acedido em Fevereiro de 2013)
- WIKIPÉDIA (2001) “*Petróleo*” <https://pt.wikipedia.org/wiki/Petroleo> (Acedido em Março de 2013)
- WIKIPÉDIA (2011) “*Revolução Industrial*” https://pt.wikipedia.org/wiki/Revolu%C3%A7%C3%A3o_industrial (Acedido em Janeiro de 2013)
- WIKIPÉDIA (2013) “*Kiyomizu-dera*” <https://pt.wikipedia.org/wiki/Kiyomizu-dera> (Acedido em Janeiro de 2013)

- Woodforgood (2013) “*Case Studies: Kingsmead Primary School – Cheshire, England*” <http://woodforgood.com/case-studies/case-study/Kingsmead> (Acedido em Janeiro de 2013)
- WORDPRESS (2010) <http://aedesign.wordpress.com/2010/03/19/the-esplanade-singapore/esplanade-skin/> (Acedido em Dezembro de 2012)
- Worldaware (2002) “*Renewable Energy System Scoops Worldaware Award for Innovation*” http://www.worldaware.org.uk/awards/press/2002_01.html (Acedido em Setembro de 2012)
- Yano, C. “*Fotossíntese sintética*”, 2011 <http://cienciahoje.vol.com.br/noticias/2011/04/fotossintese-sintetica/> (Acedido em Outubro de 2012)