



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Afinal, o que é a sustentabilidade na construção?

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Especialidade de Construções

Autor

Patrícia Alexandra da Paz Nunes

Orientador

Fernando José Telmo Dias Pereira

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, dezembro, 2015

AGRADECIMENTOS

É a primeira e das mais curtas, mas a página mais difícil de escrever ao longo de todo este trabalho pela emoção inerente em cada uma das palavras, ou não fosse esta a fase de fecho de uma das mais importantes etapas da minha vida.

Um obrigada, do fundo do coração, ao Professor Doutor Telmo Dias Pereira por todo o apoio e orientação ao longo destes meses, por todas as palavras sábias proferidas, pela partilha enorme de conhecimento e pela constante disponibilidade demonstrada.

Um obrigada que não era preciso estar aqui, eles já o sabem, aos meus pais e a minha “irmã”, por serem sempre os pilares que me mantêm de pé e por me terem educado e transformado na pessoa que sou hoje.

Um grande obrigada a todos os amigos que Coimbra me trouxe, foi um prazer, mas um obrigada ainda maior a todos os velhos amigos que tornaram mais fácil a minha chegada, passagem e partida desta cidade.

Obrigada ao “Metálicas, porque sim!”, porque sem este grupo não tinha feito o cadeirão e chegado até aqui.

Um obrigada muito especial à Catarina e à Joana, duas partes de mim que levo sempre para a vida e que são incansáveis a ouvir os meus desabafos e a indicarem-me o melhor caminho, sempre.

O obrigada mais importante de todos: ao Lino Pessoa, porque sem ele chegar aqui tinha mesmo sido impossível. Obrigada pelo apoio, pela paciência, pelo suporte e pelo amor.

Obrigada a todas as pessoas que levo comigo desta Cidade e que marcaram momentos e memórias. Obrigada Coimbra.

RESUMO

Afinal, o que é a sustentabilidade na construção?

Sustentabilidade... Uma palavra que, nos dias de hoje, está na moda e passou a fazer parte da linguagem do quotidiano, inerente quer à construção, quer a variadíssimas outras áreas do saber. No entanto, não é pela corrente vulgarização da palavra que a pergunta ganha uma mais fácil resposta, pelo contrário.

Para responder a esta pergunta de forma conveniente e clara, sem se deixar levar pela popularização do termo “sustentabilidade”, há que ter a mente estruturada e focada no objetivo da questão. Para isso, comece-se por tomar conhecimento da experiência que existe no domínio da sustentabilidade na construção, assim, conseguir-se-á entender o que já está estudado e as principais e mais importantes conclusões dessa experiência.

Uma segunda parte da resposta será focada na construção antiga, ou seja, uma análise do que se pode considerar sustentável quando se trata de reabilitar construção já existente. Esta será uma parte muito importante, já que quando se fala em reabilitação, é-se automaticamente levado a pensar que isso será sempre mais sustentável do que uma construção nova, o que, como é objetivo provar aqui, nem sempre assim é.

Por fim, o objetivo é estudar o que se pode implementar e o que deve cair em desuso, para que as novas construções sejam mais sustentáveis, tendo em atenção que a sustentabilidade na construção não se deve cingir a equipamentos, mas sim, não só aos materiais usados, como também à forma de como esses materiais são obtidos.

No final, espera-se ter conseguido desmistificar o conceito de “sustentabilidade” e, através disso, tornar todo o sector da construção mais sustentável e apelativo.

ABSTRACT

After all, what is the sustainability in construction?

Sustainability... A word that is trendy nowadays and it became part of quotidian's language inherent whether to the construction or the extensive range other knowledge areas. However, it is not because of the current vulgarization of the word that the question gains an easier answer.

To answer properly and clearly to this question, without let ourselves go by the popularization of the term "sustainability" we have to structure and focus our mind on the point of the question. For that, it starts to becoming aware of the experience that exist in the field of sustainability in construction, thus will be achieved understood what is already studied and the main and most important conclusions of these experience.

A second part of the answer will be focused in old construction, that is, an analysis of what can be considered sustainable when it comes to rehabilitating existing building. This will be a very important part, since when it comes to rehabilitation, it is automatically made to think that it will always be more sustainable than new construction, which, as is proving goal here, is not always the case.

Lastly, the goal is study what can be implemented and what should fall into disuse in order that new constructions will be more sustainable, taking into account that sustainability in the construction must not be confined to equipment, but the materials used and the manner of how these materials are obtained.

In the end, it is expected to be achieved demystify the term "sustainability" and, thereby, make the whole construction sector more sustainable and attractive.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Resumo da estrutura da tese	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Enquadramento Histórico.....	3
2.2 Conceitos introdutórios	4
2.2.1 Multidisciplinaridade para a sustentabilidade	4
2.2.2 Introdução à sustentabilidade	4
2.2.3 A importância dos materiais escolhidos.....	6
2.2.4 A importância do clima envolvente.....	8
2.2.5 Conforto ambiental.....	9
2.3 Sustentabilidade pós-construção	9
2.3.1 Poupança de água	10
2.3.2 Poupança de energia.....	11
2.3.3 Reutilização dos resíduos da construção civil.....	12
2.4 Construção Metálica.....	14
3 EXPERIÊNCIA NO DOMÍNIO	17
3.1 Casos correntes de falha.....	17
3.1.1 Imitar conceitos nórdicos	17
3.1.2 A pluviosidade em Portugal na equação da sustentabilidade.....	18
3.1.3 Área de envidraçados vs. orientação solar	19
3.1.4 A insustentabilidade sustentável	21
3.2 Empreendimentos de teste.....	22
3.2.1 A mudança de comportamento em prol de uma cidade mais sustentável	22
3.2.2 Edifício Solar XXI (INETI)	23

3.2.3	Quinta Verde	25
3.2.4	Torre Verde	26
3.2.5	Planeamento sustentável de zonas degradadas.....	28
3.2.6	CENPES II	29
3.2.7	<i>Campus of School of the Built Environment</i>	30
3.2.8	Introdução da Norma <i>Passive House</i> em Portugal.....	30
3.2.9	<i>Energy for Sustainability - EfS</i>	31
4	CONSTRUÇÃO EXISTENTE, SUSTENTÁVEL ATÉ QUE PONTO?	33
4.1	Avaliação da sustentabilidade em edifícios.....	33
4.1.1	Metodologias desenvolvidas para a avaliação da sustentabilidade em edifícios.....	34
4.2	Reabilitar sustentável	39
4.3	Cidades Sustentáveis.....	40
4.3.1	Conforto térmico em espaços exteriores	42
4.4	Certificação energética – Diretiva 2002/91/CE e DL78/06 de 4 de abril.....	43
5	MEDIDAS A IMPLEMENTAR PARA TORNAR O SETOR MAIS SUSTENTÁVEL	46
5.1	Normas e conceitos	46
5.1.1	Norma <i>Passive House</i>	46
5.1.2	Casa ZEB.....	48
5.1.3	LiderA.....	52
5.2	Medidas a implementar na construção nova	54
5.2.1	Orientação das fachadas principais e dos espaços de permanência.....	55
5.2.2	Proporção adequada das áreas envidraçadas, tendo a consideração a orientação solar.	58
5.2.3	Caixilharias de qualidade	62
5.2.4	Vidros duplos de qualidade	64
5.2.5	Sombreamentos exteriores	67
5.2.6	Isolamento térmico aplicado de forma contínua pelo exterior	71
5.2.7	Inércia térmica.....	75
5.2.8	Paredes de Trombe	76
5.2.9	Coberturas ajardinadas	78
5.2.10	Sistemas solares térmicos.....	79
6	CONCLUSÕES.....	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Consumos de água num lar (adaptado de Catálogo de produtos ecológicos e economizadores de água Ecomeios).....	10
Figura 2.2 – Esquema representativo de um redutor de caudal aplicado a um chuveiro (adaptado de Catálogo de produtos ecológicos e economizadores de água Ecomeios)	11
Figura 3.1 – Degradação dos edifícios dos clubes náuticos no parque da cidade, em Coimbra	18
Figura 3.2 – Degradação de reboco e pintura devido à falta de drenagem de águas (edifício em Coimbra).....	19
Figura 3.3 – Envidraçados das fachadas voltadas a Norte, Bloco Central, FCTUC	20
Figura 3.4 – Envidraçados das fachadas voltadas a Sul, Bloco Central, FCTUC.....	20
Figura 3.5 - Burj Khalifa, Dubai.....	21
Figura 3.6 - Torres Etihad, Abu Dhabi.....	21
Figura 3.7 – Fachada Poente Sul Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005).....	24
Figura 3.8 – Fachada Sul Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005).....	24
Figura 3.9 – Fachada Nascente Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005)	24
Figura 3.10 – Fachada Nascente Norte Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005) ..	24
Figura 3.11 – Moradia integrante do empreendimento Quinta Verde, Nafarros, Sintra (adaptado de http://www.ecoreporter.abae.pt/)	26
Figura 3.12 – Edifício Torre Verde, Parque das Nações, Lisboa (de http://www.lidera.info/)	27
Figura 3.13 – Pormenor de uma das fachadas do edifício Torre Verde, Parque das Nações, Lisboa (de http://www.lidera.info/)	28
Figura 3.14 – Moradias de Ílhavo, primeiros edifícios certificados como <i>Passive House</i> em Portugal (http://www.homegrid.pt/ , 2013)	31
Figura 4.1 – SOHO aproveitando espaço de baixo de escadas (de http://www.architectureartdesigns.com/).....	41
Figura 4.2 – SOHO como extensão de um quarto (de http://www.interiordecodir.com/)	41
Figura 4.3 – Classe Energética (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	44
Figura 5.1 - Poupança de energia edifício convencional vs. edifício <i>Passive House</i> (http://www.homegrid.pt/ , 2013).....	46
Figura 5.2 - Edifício <i>Snøhetta</i> em fase de projeto (http://snohetta.com , 2014).....	49
Figura 5.3 – Edifício <i>Snøhetta</i> (http://snohetta.com , 2014)	49
Figura 5.4 - Edifício <i>Snøhetta</i> (http://snohetta.com , 2014)	50
Figura 5.5 – Classes de eficiência ambiental, LiderA (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)....	53

Figura 5.6 – Medidas a implementar para uma construção mais sustentável (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	55
Figura 5.7 – Simulação do meio-dia solar (aprox. 28°) no Solstício de Inverno (21 de Dezembro) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	56
Figura 5.8 – Simulação do meio-dia solar (aprox. 75°) no Solstício de Verão (21 de Junho) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	56
Figura 5.9 – Esquematização da sombra permanente dos edifícios (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	57
Figura 5.10 – Incidência média anual da radiação solar em 1m ² de plano vertical para a região de Lisboa (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	60
Figura 5.11 – <i>Sawmill House</i> , Austrália (de http://divisare.com/projects/296660-ben-hosking-archier-sawmill-house)	62
Figura 5.12 – Pormenor de <i>Sawmill House</i> , Austrália (de http://divisare.com/projects/296660-ben-hosking-archier-sawmill-house)	62
Figura 5.13 – Sala da <i>Sawmill House</i> , Austrália (de http://divisare.com/projects/296660-ben-hosking-archier-sawmill-house)	62
Figura 5.14 – Exemplo de janela de qualidade (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	64
Figura 5.15 – Quanto mais próximo dos 28° (a 21 de dezembro) for o ângulo em que a radiação solar incide sobre a área envidraçada, maior será a proporção da radiação que atravessa o vidro e que entra para os espaços interiores (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	66
Figura 5.16 – Quanto mais próximo dos 75° (a 21 de junho) for o ângulo em que a radiação solar incide sobre a área envidraçada, maior será a proporção da radiação refletida (também pelo facto de o vidro ser mais espesso na diagonal) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	66
Figura 5.17 – Exemplo de casa em vidro, Watervilla Kortenhoeft, Holanda (de http://waterstudio.nl/projects/52#).....	67
Figura 5.18 – Comparação de coeficientes de transmissão térmica para diferentes tipos de vidro e espessuras em caixilharia metálica com e sem sistemas de oclusão noturna (Dados de Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios – LNEC 2006) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	69
Figura 5.19 – Controlo da luminosidade natural através de sombreamento exterior (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	70
Figura 5.20 – Esquematização de janela com sombreamento exterior de qualidade (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	71
Figura 5.21 – Comparação de coeficientes de transmissão térmica para diferentes espessuras de isolamento térmico exterior em poliestireno expandido (EPS) em coberturas de laje maciça (Dados: Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios – LNEC 2006) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	73
Figura 5.22 – Exemplo de laje de cobertura com isolamento térmico pelo exterior (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	74

Figura 5.23 – Exemplo de paredes exteriores com isolamento térmico pelo exterior (adaptado de Tirone e Nunes., 2008)	74
Figura 5.24 – Exemplo de laje de pavimento com isolamento térmico pelo exterior (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	74
Figura 5.25 – Parede de trombe colocada de baixo de janela (absorvem o calor da radiação solar e libertam-no para o interior) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	77
Figura 5.26 – Parede de trombe não ventilada (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	77
Figura 5.27 – Edifício com cobertura ajardinada (de http://www.u3j.org/luxury-rooftop-garden-ideas/)	78
Figura 5.28 – Sistema de painéis solares térmicos coletivos com depósito comum (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	80
Figura 5.29 – Sistema de painéis solares térmicos individuais com depósitos individuais (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	80

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Medidas a implementar para a sustentabilidade na construção.....	14
Quadro 4.1 - Indicadores para uniformizar metodologias de avaliação da sustentabilidade (adaptado de Mateus e Bragança, 2004).....	34
Quadro 4.2 - Parâmetros que podem ser considerados na avaliação da sustentabilidade (adaptado de Mateus e Bragança, 2004).....	35
Quadro 4.3 - Nota a atribuir a cada parâmetro (N_i) em função dos valores dos índices (I_x) (adaptado de Mateus e Bragança, 2004).....	36
Quadro 4.4 - Avaliação do desempenho relativo da solução em estudo a partir da NS (adaptado de Mateus e Bragança, 2004).....	38
Quadro 4.5 – Sistema de taxação do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA) aos atores relevantes no sector da construção em Portugal (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)	42
Quadro 4.6 – Obrigatoriedade da aplicação do SCE	45
Quadro 5.1 – Princípios base do sistema LiderA (adaptado de Tirone e Nunes, 2008).....	54
Quadro 5.2 – Principais ações ao nível da conceção de projeto para tornar uma construção mais sustentável.....	81

ABREVIATURAS

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

ACV – Análise do Ciclo de Vida

DAP – Declaração Ambiental de Produto

EfS – *Energy for Sustainability*

EPUE – *European Platform of Universities Engaged in Energy Research, Education and Training*

InCI – Instituto da Construção e do Imobiliário

INETI – Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação

IPA – Inovação e Projetos em Ambiente

LED – (*Light Emitting Diode*) Díodo Emissor de Luz

LER – Lista Europeia de Resíduos

MARS-SC – Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios

RCD – Resíduos de construção e demolição

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

SAAP – Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SOHO – *Small Office Home Office*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Um dos setores económicos mais importantes na Europa é a indústria da construção, nomeadamente o sector dos edifícios. No entanto, essa importância não lhe confere uma preocupação nas mesmas proporções no que toca a consumos excessivos de matérias-primas, recursos energéticos não-renováveis e produção excessiva de resíduos, verificando ainda que este sector continua a basear-se maioritariamente em métodos de construção tradicionais e mão-de-obra não qualificada.

O que se tem vindo a verificar atualmente, no que toca a consumos materiais e energéticos, é de todo incompatível com os desígnios da sustentabilidade nos quais, como se constatará adiante, se procura a convivência harmoniosa entre as temáticas ambiente, economia e sociedade.

Para assegurar a sobrevivência da nossa espécie no planeta, é urgente melhorar as práticas comuns em todos os sectores que contribuem para o aumento das alterações climáticas, essa grande ameaça que cada vez mais tem vindo a deixar memórias dos seus efeitos nefastos.

O meio edificado, visto consumir quase metade da energia produzida, é o principal responsável pelas emissões de gases com efeito de estufa. Serão então as boas práticas no sector da construção que maior impacto terão na prevenção e mitigação das alterações climáticas.

A procura da sustentabilidade do espaço que habitamos deixa de ser uma mera moda para passar a construir-se como um imperativo ético determinante. Há que esquecer a fotogenia conveniente a este mundo dominado pela imagem e realmente passar a fazer melhores casas e melhores cidades.

1.2 Objetivos

O sector da construção é responsável por 30% das emissões de carbono (Pinto e Henriques, 2015) e o ritmo atual de consumo de recursos energéticos neste sector apresenta valores acima da capacidade de reposição dos sistemas naturais.

Com este trabalho pretende-se reinterpretar os sistemas de construção evidenciando a contribuição que as técnicas construtivas representam no desenvolvimento sustentável no domínio da construção.

O objetivo principal deste trabalho pode subdividir-se em duas partes. A primeira parte será perceber o que é de facto a sustentabilidade na construção, do que depende e quais são os intervenientes para se chegar a uma construção sustentável. A segunda parte é perceber quais as técnicas construtivas que devem cair em desuso e quais devem passar a fazer parte do quotidiano da construção.

1.3 Resumo da estrutura da tese

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

No Capítulo 1 é feita uma introdução ao tema, mostrando a motivação que levou à escolha do mesmo, a sua importância e também os objetivos a que se propõe este trabalho, bem como a forma como está organizado.

No segundo capítulo, “Revisão Bibliográfica”, é feito um enquadramento histórico do tema, mostrando que, embora seja um tema recente no âmbito da construção, envolve mudanças e avanços enormes. Ainda no mesmo capítulo, são explicados alguns conceitos e relações importantes para compreender melhor o que é isto da sustentabilidade na construção.

No terceiro capítulo são relatados casos correntes de falha no domínio da sustentabilidade na construção e é feita referência a empreendimentos de teste desta temática.

No Capítulo 4, é feita uma análise sobre até que ponto a construção já existente é sustentável, e é focada a importância de haver um método transversal para a avaliação da sustentabilidade dos edifícios. Foca-se com algum detalhe uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade em edifícios desenvolvida a nível nacional, a MARS-SC. Neste capítulo é ainda mostrada a relação estreita que há entre a reabilitação e a sustentabilidade, de forma a que se possa tirar o melhor partido das ações de reabilitação de edifícios antigos. Para fechar o capítulo extrapolou-se o conceito de sustentabilidade em edifícios para sustentabilidade ao nível de uma cidade no seu todo.

No quinto capítulo, "Normas a Implementar para tornar o setor mais sustentável", é feita uma referência mais aprofundada a normas, conceitos e técnicas construtivas que culminam num edifício sustentável muito apelativo.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as considerações finais, de onde são retiradas conclusões assertivas sobre o tema desta dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Enquadramento Histórico

O termo “sustentabilidade” é ainda recente no âmbito da construção. Foi em 1987 que foi lançada a primeira definição de “desenvolvimento sustentável” pelo *Brundtland Report*: “desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (*United Nations*).

Foi a partir da década de 1980 que muitas das obras construídas foram aclamadas como “sustentáveis”, com esse grande crescimento surge um novo termo técnico, o de “edifício inteligente”. Este termo foca-se na eficiência energética e no uso adequado da tecnologia, garantindo assim um menor impacto ambiental e uma menor dependência de equipamentos tecnológicos.

Depois de lançada a primeira definição de desenvolvimento sustentável pelo *Brundtland Report*, em 1987, organizaram-se, a nível mundial, várias conferências onde se criaram protocolos com o intuito de rever metas e elaborar mecanismos para alcançar o desenvolvimento sustentável ideal. No entanto, essas conferências foram também marcadas por disputas económicas e ideológicas, que comprometeram atitudes posteriores fazendo assim com que muitos problemas ambientais não fossem resolvidos. Prova disso foi quando, em 1997, o *Earth Council* divulgou que, depois de 1980, a humanidade começou a usar recursos de maneira abusiva, excedendo em 20% a capacidade de suporte global. No final da década de 1980 e no início da década de 1990, as questões ligadas à sustentabilidade ganharam mais importância devido à vertente ambiental, já que se atravessava uma crise energética de dimensões mundiais e o impacto gerado pelo consumo da energia fóssil era preocupante devido ao exponencial crescimento das populações e, conseqüentemente, das cidades. No domínio do edificado, essa altura caracterizou-se por uma vulgarização do *International Style*, edifícios caracterizados por formas retilíneas, compartimentos iluminados cujos elementos de decoração são praticamente ausentes, espaços interiores amplos e um aspeto visual leve devido ao recurso da construção em consola, o que levou à repetição de blocos de vidro por todo o mundo, provocando um consumo excessivo de energia nas décadas seguintes (Gonçalves e Duarte, 2006).

Felizmente, a ideia de que os sistemas prediais controlam totalmente as condições ambientais dos edifícios acabou por cair, e rapidamente se percebeu que são as características dos projetos

de arquitetura e engenharia que realmente importam para o controlo do conforto ambiental e dos consumos de energia. Assim, e porque o conforto ambiental e o consumo de energia caminham de mãos dadas, a arquitetura bioclimática começou a ganhar importância no domínio da sustentabilidade.

Entretanto, não foi só sobre a energia consumida nos sistemas de climatização e iluminação artificial que se debruçaram os avanços no campo da sustentabilidade. Paralelamente também os materiais e técnicas de construção foram sendo investigados.

Atualmente o edifício é visto como tendo um papel importante na sustentabilidade de uma cidade, visto que jogando com a localização, infraestrutura e otimização no consumo de recursos como a água, energia e materiais, se consegue aumentar o potencial socioeconómico da mesma. É necessário então discutir sobre as tecnologias dos projetos e conceção para que não sejam comprometidos os ideais da sustentabilidade.

2.2 Conceitos introdutórios

2.2.1 Multidisciplinaridade para a sustentabilidade

Passados já mais de vinte e cinco anos de prática numa construção mais “sustentável”, torna-se claro que a inovação na conceção e na engenharia de sistemas, tendo em conta não só o edifício em si, mas também todo o projeto primário, fez com que a interação entre profissionais de diversas disciplinas se estreitasse, inclusivamente com a inserção de ferramentas avançadas de modelagem e simulação. O papel da engenharia mecânica é crescente dentro deste tema, uma vez que ainda existem edifícios que, quer por imposições climáticas, quer devido ao aumento da complexidade dos usos e da operação dos mesmos, são dependentes de equipamentos tecnológicos e um bom desempenho ambiental não é conseguido apenas através da arquitetura e engenharia.

Com crescentes avanços nas tecnologias construtivas, principalmente no que toca a construção nova, espera-se que seja cada vez menos necessária a intervenção de outras disciplinas para tornar um edifício sustentável. Será mais ou menos evidente que, a longo prazo, será mais sustentável ter um projeto mais caro mas que garanta menos custos de uso e manutenção, do que o contrário. Dar-se-á preferência a uma sustentabilidade conseguida sobretudo através de um projeto perfeitamente elaborado em conformidade com as normas, princípios e características que garantam essa viabilidade.

2.2.2 Introdução à sustentabilidade

Na Europa, em média, 85% do impacto energético-ambiental que resulta do meio edificado, corresponde à fase de operação (durante a vida e utilização dos edifícios) e, aproximadamente, 15% tem lugar na fase de construção e demolição. Posto isto, é certo que a implementação de

medidas que aumentam a eficiência do desempenho ao longo da vida útil dos edifícios, será o mais importante para reduzir o consumo de energia e outros recursos. Analisando a questão de uma ótica extremista, a construção sustentável pode contribuir para reduzir na sua quase totalidade as emissões de CO₂ que resultam do meio edificado para a atmosfera, especialmente durante a fase de operação. Este é o conceito “Carbono 0”, que visa combater, de forma eficaz e duradoura, as alterações climáticas (Tirone e Nunes, 2008).

Globalmente, a construção de edifícios é responsável pelo consumo de 40% dos recursos minerais, 25% da madeira, 40% da energia e 16% da água consumidos anualmente (*Roodman e Lenssen*, 1995). Em Portugal, apesar de a realidade se desviar significativamente dos dados estatísticos, estes dizem que durante a sua fase de utilização, os edifícios (habitação e serviços) são responsáveis pelo consumo de cerca de 20% dos recursos energéticos nacionais, 6,7% do consumo de água e pela produção anual de 420 milhões de metros cúbicos de águas residuais (DGE, 2000 e INE, 2002). De acordo com o Instituto Nacional de Estatística, a indústria da construção é responsável pela produção anual de cerca de 7,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos. É fácil perceber que esta realidade se traduz em significativos impactes ambientais, sociais e económicos, no entanto, tem-se vindo a notar uma crescente preocupação em tornar todo o sector da construção mais sustentável, ficando assim esses impactes com uma grande potencialidade de virem a ser diminuídos.

Para que o projeto de um edifício possa ser considerado sustentável, existem diversas questões a serem cuidadosamente analisadas, como por exemplo:

- Orientação solar e orientação aos ventos;
- Geometria do edifício, tendo também atenção à proporção das áreas envidraçadas e o tipo de envidraçado;
- Condicionantes ambientais (ruído, cursos de água, vegetação, etc.);
- Materiais usados na construção (atentando no desempenho térmico);
- Técnicas de construção que evitem ao máximo os desperdícios de materiais.

Estas e eventualmente outras questões, quando analisadas em conjunto, são muito importantes visto que têm um papel determinante em situações que tornam ou não um edifício sustentável, como é o caso das estratégias de ventilação natural, reflexão da radiação solar direta, sombreamento, arrefecimento evaporativo, isolamento térmico, inércia térmica e aquecimento passivo.

No entanto, é importante referir que o comportamento de um edifício quanto à sustentabilidade, não é, nem poderia ser, somente ditado pelos processos construtivos e materiais. É necessário ter em conta as condições envolventes do mesmo, que ditam o grau de dependência deste a sistemas ativos, isto é, poderão existir situações exteriores tão adversas em relação, por

exemplo, à temperatura, que será mais sustentável investir num projeto de excelência no que toca a ventilação natural e contornar a questão da temperatura com algum tipo de equipamento.

No fundo, fisicamente falando, para que um projeto seja dotado de conforto ambiental e eficiência energética, são fenómenos como a transferência de calor, a mecânica dos fluidos, a física ondulatória e a ótica que são estudados e postos em prática em harmonia com o ambiente circundante, os recursos locais e com as tecnologias apropriadas.

2.2.3 A importância dos materiais escolhidos

Como já referenciado anteriormente, uma construção sustentável passa por uma escolha equilibrada de materiais, isto é, há que ter em consideração não só o desempenho térmico dos mesmos, mas também qual a disponibilidade do material e qual a energia necessária à sua produção. Um determinado material até pode fazer com que durante o tempo de vida útil do edifício este se apresente como sustentável, no entanto, se esse mesmo material tem elevados custos monetários na produção, ou mesmo se o material existir a uma distância considerável (por exemplo a mais de 100 quilómetros do local de obra, conforme referem Tirone e Nunes, 2008) o projeto já não será tão sustentável (mesmo que apenas se considere a vertente económica).

De acordo com Pinto e Henriques (2015), aquando da escolha dos materiais, devem ser privilegiados aqueles que cumpram os seguintes critérios:

- não tóxicos;
- de baixa energia incorporada;
- recicláveis;
- de maior durabilidade;
- que permitam taxas de reutilização e de recuperação de resíduos elevadas;
- que provenham de fontes renováveis;
- que estejam associados a baixos níveis de emissões de gases e de toxicidade;
- os que permitam uma análise do seu ciclo de vida.

Existem dois processos de análise e avaliação que vêm dar credibilidade e importância ao impacto que os materiais têm no nível de sustentabilidade final de um edifício. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é baseada na ISO 14040 e consiste numa metodologia para avaliar os impactos ambientais associados a cada uma das fases da vida de um produto. Assim, cientificamente, é feita a avaliação dos potenciais impactos de materiais cujos resultados levam a que se tomem decisões mais sustentáveis. Inerente à ACV está uma Declaração Ambiental de Produto (DAP), que é uma forma padronizada de quantificar o impacto ambiental de um produto ou sistema. As DAP incluem informações sobre o impacto ambiental na aquisição de

matérias-primas, o consumo de energia e a sua eficiência, o conteúdo de materiais poluentes e de substâncias químicas, as emissões para a atmosfera, o solo e a água e a geração de resíduos. As DAP visam contribuir para a implementação de uma abordagem da ACV e, consequentemente, construções mais sustentáveis (Pinto e Henriques, 2015).

São cinco os critérios que devem orientar o consumo e utilização de energia e materiais (Tirone e Nunes, 2008):

- **Reduzir**: questionar se os materiais especificados são efetivamente necessários para a otimização do desempenho energético-ambiental do meio edificado durante toda a sua vida;
- **Reutilizar**: questionar se os materiais especificados são provenientes de demolições ou de desmontagens e se são instalados de forma a poderem vir a ser reutilizados no fim de vida do edifício;
- **Reciclar**: questionar se os materiais especificados são reciclados (tendo passado por uma utilização prévia) e se são passíveis de serem reciclados no fim de vida do edifício;
- **Recuperar**: questionar, se antes de substituir os materiais, é possível considerar a sua recuperação;
- **Eliminação responsável**: questionar se estão a ser eliminados apenas aqueles materiais que, efetivamente, não têm outro destino possível e se a sua eliminação não está a causar problemas ambientais.

Os primeiros são conhecidos como a política dos 3R's sugerida durante a Conferência da Terra (Rio de Janeiro, 1992).

2.2.3.1 Os materiais e a ventilação natural

Um outro aspeto a ter em conta na escolha mais propriamente dos materiais de revestimento interiores, prende-se com uma ação bastante importante para a sustentabilidade: a ventilação natural dos espaços. Esta é uma medida passiva para aumentar a qualidade do ar interior.

No contexto climático de Portugal, a temperatura do ar exterior permite que a ventilação natural seja a maneira mais prática e eficaz de diluir as toxinas que se acumulam no ar interior devido às atividades humanas, visto que a qualidade do ar exterior é duas a cem vezes melhor do que a do ar interior. Especialmente nos espaços de permanência, é importante garantir no mínimo um volume de 10 m³ de ar por pessoa, volume esse que será inversamente proporcional à necessidade de renovações de ar (Tirone e Nunes, 2008).

A ventilação natural dos espaços entra em contacto direto com os materiais que revestem as superfícies, portanto, o grau de toxicidade destes vai ser também responsável pela qualidade do ar interior. Há que atentar às componentes químicas da constituição desses materiais (que em

contacto com o ar são libertadas), e também à sua textura superficial que pode potenciar, ou não, a captação de poeiras e bactérias.

A permeabilidade das superfícies em contacto com o ar interior é muito importante, visto ser essencial para uma boa qualidade do ar permitir que o edifício respire do interior para o exterior. É importante assegurar que a maior parte da área de paredes e tetos tenha a capacidade de interagir com a humidade do ar, absorvendo-a e restituindo-a (Tirone e Nunes, 2008).

2.2.4 A importância do clima envolvente

Um edifício de habitação bem concebido e realizado traz para o seu interior apenas as qualidades do clima (aquelas características que são desejadas pelos seus habitantes), nomeadamente as suas temperaturas médias que correspondem às que o ser humano considera confortáveis, reduzindo consideravelmente as suas necessidades energéticas. O potencial contributo da inércia térmica e do arrefecimento passivo poderá representar uma redução significativa no consumo de energia, em comparação com as necessidades energéticas de um edifício convencional (Tirone e Nunes, 2008).

Para criar edifícios com ambientes interiores salubres e confortáveis, o foco crucial é garantir o bom relacionamento do edifício com o clima e com o contexto físico em que está inserido. Esse bom relacionamento está intimamente ligado com a permeabilidade seletiva do edifício e da sua capacidade adequada para acumular e absorver fatores exteriores como o calor ou o frio que estão disponíveis, o ar e a iluminação natural, sabendo sempre quais as quantidades favoráveis e desfavoráveis ao seu bom desempenho.

2.2.4.1 O clima em Portugal

Portugal é um país abençoado no clima e recursos naturais, endógenos e renováveis, que tem. Para que se possa tirar o máximo partido desta riqueza o meio edificado precisa de interagir positivamente com o clima.

O clima em Portugal é um recurso renovável estável, que oferece à sua população condições muito próximas das temperaturas e humidades relativas médias consideradas como confortáveis pelo ser humano, algo que não acontece na grande maioria dos países Europeus. Com um clima como o de Portugal é extremamente surpreendente que o conforto sentido pelas pessoas nas suas casas seja tão reduzido. É importante explorar este recurso renovável ao criar através da construção condições de salubridade e de conforto no interior dos edifícios habitacionais, minimizando consideravelmente as necessidades energéticas (Tirone e Nunes, 2008).

2.2.5 Conforto ambiental

O conforto ambiental é, simultaneamente, um estado físico e psicológico. A dimensão física do conforto tem sido investigada de forma científica há largas décadas sendo medida da seguinte forma:

- Conforto Térmico: medindo a temperatura de bolbo seco (°C) e a humidade relativa;
- Conforto Visual: medindo a intensidade da luz (Lux);
- Conforto Acústico: medindo o ruído (dB);
- Conforto Olfativo e Palatal: medindo a composição química do ar interior.

A dimensão psicológica veio explicar muitos dos comportamentos de pessoas em busca do conforto. Dizem os especialistas do *Martin Centre* da Universidade de *Cambridge* que as pessoas são muito mais tolerantes a amplitudes de temperatura e humidade relativa quando sabem que, por iniciativa própria, podem alterar as condições atmosféricas em que se encontram, por exemplo, com a capacidade de abrir ou fechar estores ou janelas.

A ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) desenvolveu uma norma, “*Standard 55-2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*”, para quantificar o conforto com base na temperatura (bolbo seco) e humidade relativa onde ficou definido o “espaço climático” onde 80% das pessoas se sentem confortáveis 100% do tempo. Muitos projetistas e fornecedores de sistemas de ar condicionado têm recorrido a este método para dimensionar corretamente os sistemas para edifícios.

No entanto, com as inúmeras pesquisas que se têm vindo a fazer nesta área, concluiu-se que o conforto térmico não é tão linear assim. A principal conclusão é que as mesmas pessoas se podem sentir confortáveis em ambientes térmicos diferentes, consoante as características do edifício. Num edifício de serviços que dependa de sistemas artificiais para criar conforto térmico, a tolerância das pessoas a amplitudes térmicas é muito menor do que se encontrarem num edifício passivo. Fica assim provado que a nossa sensação de conforto térmico não é absoluta mas sim adaptativa e está intimamente relacionada com a temperatura média no exterior dos edifícios (Tirone e Nunes, 2008).

2.3 Sustentabilidade pós-construção

A sustentabilidade na construção não se prende apenas com aspetos ligados à fase de projeto e execução da obra. Há alguns avanços em detalhes e ações da pós-construção que permitem tornar o setor mais sustentável.

2.3.1 Poupança de água

2.3.1.1 Sistema misturador com poupança de água para torneiras

Foi desenvolvido por um docente da Universidade de Aveiro um sistema de gestão de água que consiste numa válvula misturadora associada a um sistema de armazenamento que permite a poupança de água em instalações domésticas.

Este sistema foi desenvolvido a pensar nos banhos, mais concretamente no desperdício médio de cinco litros de água potável (por banho) que se verifica apenas com a espera da chegada de água quente à saída da torneira. Este novo sistema permitirá poupar até oitenta por cento destas águas com base num sistema unicamente mecânico que redireciona a água fria da tubagem para um pequeno reservatório, assim a torneira só fornece água quando esta já está quente, à temperatura desejada. Quando o utilizador necessita de água fria, esta é encaminhada do reservatório para a saída da torneira, em vez de utilizar a água da rede como acontece nos sistemas correntes. Este tipo de tecnologia permite poupar energia e recursos e torna as residências mais sustentáveis. Este sistema inovador, não tendo custos adicionais de energia, responde às necessidades crescentes de um mercado cada vez mais preocupado com a proteção do meio ambiente (<https://www.ua.pt/uatec/PageText.aspx?id=13905>).

2.3.1.2 Redutores de Caudal

Todas as atividades domésticas de um lar pressupõem consumos de água. Em média, o consumo de água de um lar é representado da forma que se ilustra na Figura 2.1.

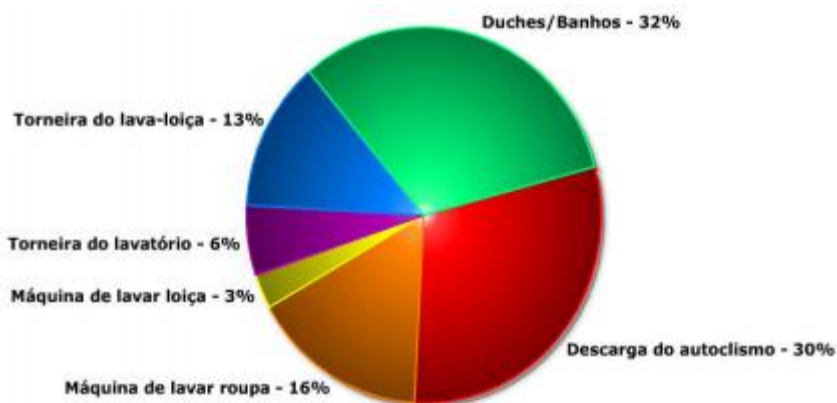


Figura 2.1 – Consumos de água num lar (adaptado de Catálogo de produtos ecológicos e economizadores de água Ecomeios)

Cinquenta e um por cento dos consumos domésticos de água (banhos, lava-loiça e lavatório) são feitos através de um dispositivo comum: a torneira. E se houvesse uma maneira de usar o mesmo dispositivo, com o mesmo conforto e eficácia e redução dos consumos? É possível através dos chamados redutores de caudal.

Os redutores de caudal são ponteiras que se instalam nas torneiras convencionais. Possuem uma membrana que reduz a pressão do fluxo de água, depois o distribuidor aumenta a velocidade da água misturando-lhe ar, o que torna o fluxo mais suave e confortável ao mesmo tempo que equilibra a sua distribuição. Dependendo do modelo instalado, as poupanças de água variam entre os quarenta e os sessenta por cento (<http://www.ecomeios.com/pdf/Catalogo.pdf>).

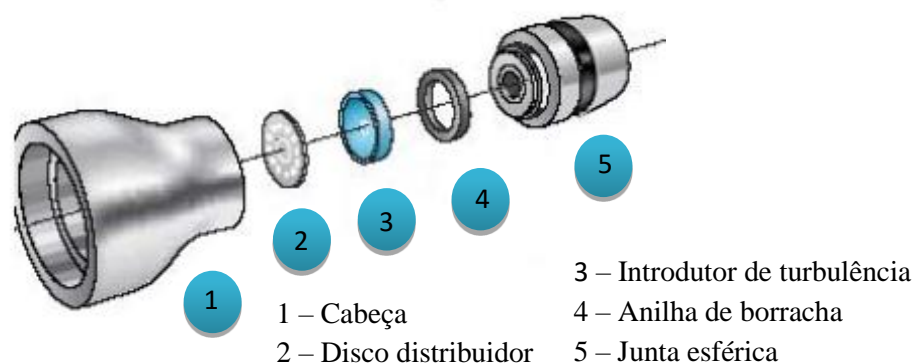


Figura 2.2 – Esquema representativo de um redutor de caudal aplicado a um chuveiro (adaptado de Catálogo de produtos ecológicos e economizadores de água Ecomeios)

2.3.1.3 Poupança no autoclismo

De acordo com a Figura 2.2, as descargas de autoclismo têm um peso de trinta por cento do consumo de água doméstico. Assim, torna-se importante perceber como atuar e promover uma poupança de água a este nível.

Existem dois tipos de autoclismos: os de botão simples e os de botão duplo. Sempre que possível, deve-se optar pelos de botão duplo, já que os de botão simples fazem apenas a descarga completa, independentemente da necessidade da mesma. Os autoclismos de botão duplo, como o próprio nome indica, possuem dois botões: um para descarga completa (quando esta for necessária) e um para meia descarga. Estes funcionam de forma mais adequada quando associados a um vaso sanitário desenhado para maximizar a limpeza do próprio com menores volumes de água. Visto que a necessidade de descarga completa corresponde a aproximadamente trinta por cento das descargas, é notória a poupança de água que se consegue tendo a possibilidade de optar entre meia descarga ou descarga completa.

2.3.2 Poupança de energia

A forma mais eficaz para uma poupança de energia constante ao longo da vida-útil de um projeto de engenharia é, como provado nos seguintes capítulos, inerente a projetos de arquitetura, engenharia e especialidades que sejam sustentáveis e equilibrados em todas as áreas, de forma a reduzir as necessidades energéticas dos edifícios. Contudo, podem reduzir-se ainda mais os consumos energéticos dos edifícios numa fase de pós-construção, mais especificamente no ato da escolha das lâmpadas que equipam as divisões dos mesmos.

2.3.2.1 Lâmpadas

A substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes (as quais têm consumos muito inferiores) é uma das medidas mais fáceis e económicas para reduzir o consumo de energia e consequentemente as emissões de CO₂ para a atmosfera. Estas lâmpadas de baixo consumo, não só reduzem para um quarto o consumo de energia, como também apresentam uma vida útil treze vezes superior à das lâmpadas incandescentes tradicionais (Tirone e Nunes, 2008).

Posteriormente às lâmpadas fluorescentes, surgiram no mercado outras que reduzem os consumos de energia para um décimo dos consumos verificados com as lâmpadas incandescentes: as Díodo Emissor de Luz (*Light Emitting Diode*), LED. As lâmpadas LED têm uma durabilidade cinquenta vezes superior quando comparadas com as lâmpadas incandescentes convencionais (Tirone e Nunes, 2008). A aquisição de uma lâmpada LED tem um custo acessível a todos e o curto período de retorno desse investimento torna a ação de substituição de lâmpadas antigas por lâmpadas LED quase obrigatório. Para além da enorme redução dos consumos energéticos, as lâmpadas LED têm ainda um grande benefício para o planeta: no seu fabrico, está restrito o uso de materiais como o mercúrio e o fósforo, já que são elementos dificilmente absorvidos pelos ecossistemas quando em elevadas concentrações (Tirone e Nunes, 2008).

2.3.2.2 Eletrodomésticos

Segundo a Matriz Energética de Lisboa (2004) os eletrodomésticos são responsáveis por trinta e quatro por cento da fatura energética doméstica. Daqui se depreende que se houver forma de economizar ao nível dos eletrodomésticos, haverá uma redução energética significativa.

Neste campo, para além da escolha de eletrodomésticos com desempenhos energéticos e consumos de água de classes eficientes (A, A+ ou A++), existem certas atitudes e decisões que podem também ajudar a fazer a diferença. A postura de, face às máquinas de lavar, optar por fazer os ciclos à noite (quando a energia é vendida a um preço inferior) e só quando estas estão cheias, é já relativamente comum nas famílias portuguesas. No entanto, há um outro aspeto importante que nem sempre é considerado: o tamanho dos eletrodomésticos! Para quê ter um frigorífico com uma grande capacidade, quando não é todo necessário para o armazenamento habitual? A aquisição de um frigorífico de dimensões desnecessárias acarreta consumos de energia maiores e igualmente desnecessários, mesmo que este seja extremamente eficiente.

2.3.3 Reutilização dos resíduos da construção civil

Quando se fala em sustentabilidade pós-construção, não se deve apenas focar na pós-construção que ocorre fisicamente no edifício. Há que agir de forma sustentável face aos resíduos da construção civil, quer estes sejam provenientes de demolições de obras que findaram o seu tempo de vida útil, quer sejam resíduos de construção.

Uma boa prática sustentável ao nível das cidades, é acreditar e trabalhar para que todos os materiais que entrem na cidade contribuam para o seu crescimento e que todos os resíduos sejam valorizados (Tirone e Nunes, 2008). O setor da construção produz resíduos consideráveis, no entanto, felizmente, é possível reciclar e reutilizar esses resíduos.

Existem já instalações de reciclagem de resíduos da construção civil onde, primeiramente, é feita uma triagem manual para separar o entulho dos materiais que realmente provêm da construção civil, para que a matéria-prima que irá dar origem a produtos de qualidade não seja contaminada. Depois da triagem manual, os verdadeiros resíduos da construção passam por uma calha vibratória que separa os materiais terrosos das britas, que por sua vez são passadas por peneiros para dividir os agregados por dimensões. As terras separadas voltam para construções para aterros e construções de estradas. As britas provenientes dos betões são usadas no fabrico de blocos, calcetamentos e também como sub-base e base asfáltica (<http://www.engenhariaminuto.com/>, 2015).

Embora os materiais de construção provenientes de reciclagem e reutilização de resíduos de construção civil serem até quarenta por cento mais baratos, ainda há alguns paradigmas culturais que não facilitam o enraizamento destas técnicas. Infelizmente, ainda se associam os resíduos de construção civil apenas a “lixo” inútil. No entanto, existem normas que salvaguardam que todo o reaproveitamento de resíduos de construção civil em novos materiais é feito com segurança. Uma forma de implementar este tipo de material reciclado com qualidade para certas obras, é a integração de uma legislação no plano de resíduos sólidos dos municípios que obrigue a que uma percentagem do material usado nas obras públicas seja proveniente da reciclagem de resíduos de construção.

O Quadro 2.1 resume as medidas mencionadas ao longo deste subcapítulo que, quando aplicadas corretamente, aumentam o grau de sustentabilidade de uma obra.

Quadro 2.1 – Medidas a implementar para a sustentabilidade na construção

Poupança de Água	Reservatórios para água de “espera” de banhos
	Redutores de caudal
	Botões de autoclismo duplos
Poupança de Energia	Arquitetura Bioclimática (focada em capítulos seguintes)
	Uso de lâmpadas mais económicas
	Uso de eletrodomésticos de classes eficientes
	Aquisição de eletrodomésticos com tamanhos adequados às necessidades
Reutilização de resíduos da construção civil	Centrais de reciclagem de resíduos de construção civil provenientes de demolições e construções
	Criação de legislação que obrigue ao uso de material reciclado em, pelo menos, obras públicas

2.4 Construção Metálica

No que diz respeito à construção metálica, sobretudo em estruturas, o aço e os seus derivados são a matéria-prima mais utilizada e um dos aspetos sustentáveis deste material é o seu alto potencial de reciclagem.

Os processos mais comuns de reciclagem do aço são a produção em alto-forno (*Basic Oxygen Furnace*) e a produção em forno de arco elétrico (*Electric Arc Furnace*). A principal diferença entre os dois processos reside no facto de a produção em alto-forno utilizar entre vinte e cinco e trinta e cinco por cento de aço reciclado, contrastando com os cerca de noventa e cinco por cento da produção em forno de arco elétrico. Uma outra diferença entre os dois processos de reciclagem é a quantidade de resíduos resultantes do processo. Na produção de 1kg de aço em alto-forno, são produzidas cerca de 2494g de equivalentes de CO₂, já no método do arco elétrico, este resíduos não vão além das 462g de equivalentes de CO₂. Assim, o processo em forno de arco elétrico é mais sustentável, acarretando consumos de energia inferiores ao processo de alto-forno (Diamantino, 2014).

No entanto, é muito importante salientar que o aço se traduz num material com elevados índices de reutilização e interesse de reciclagem porque é um material escasso na natureza e de elevado custo de aquisição.

Uma construção metálica justificar-se-á como mais sustentável do que uma construção convencional noutras realidades, como por exemplo, nos países que estão em rápido desenvolvimento, como a China e o Dubai, onde não existem matérias-primas de qualidade

para uma construção convencional e onde há interesse em que certos elementos da construção vão finalizados para o local de obra onde se procede apenas à sua montagem.

Em Portugal, uma construção metálica nunca poderá ser comparada em termos de sustentabilidade a uma construção em betão armado ou em alvenaria de tijolo, por exemplo. Portugal é um país rico em pedra, britas, areias e cimentos de qualidade, não fazendo sentido investir em materiais mais caros e escassos, como é o caso do aço. Senão, vejam-se os índices de construção do Instituto da Construção e do Imobiliário, InCI. O quadro de índices de evolução de custos de materiais CiFE (100 como valor de referência para o índice de construção em Dezembro de 1991) apresenta relativamente a junho de 2015 um valor de 104,4 para britas e 87,9 para areias. Para a mesma data, verifica-se um valor de 270,2 para aço perfilado (InCI, 2015).

Outros aspetos com importância nas questões da sustentabilidade (acústica e térmica de edifícios) são favorecidos pela construção corrente com estrutura em betão armado e alvenaria de tijolo.

No que toca ao comportamento acústico dos edifícios, de acordo com a Lei da Massa, uma envolvente com maior massa tem um melhor desempenho acústico, já que quanto maior é a massa do elemento de separação, maior é o índice de redução sonora e, conseqüentemente, maior será o conforto dos utilizadores. Veja-se a expressão simplificada da Lei da Massa para um ângulo de incidência sonora, θ , igual a zero (Amado e António, 2013):

$$R_0 \approx 20 \log(fm) - 42.4 \text{ dB} \quad 2.1$$

onde:

R_0 – índice de redução sonora;

f – frequência (Hz);

m – massa (kg/m^2).

Quanto ao comportamento térmico dos edifícios, um fator importante que no nosso clima influi no conforto térmico e, conseqüentemente, proporciona um melhor desempenho energético, é a inércia térmica. A classe de inércia térmica do edifício ou fração determina-se a partir do valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento, I_t , fator este que depende, mais uma vez da massa, assim (REH, 2013):

$$I_t = \frac{\sum_i M_{S_i} r S_i}{A_p} \quad (kg/m^2) \quad 2.2$$

onde:

M_{S_i} – massa superficial útil do elemento (kg/m^2);

r – fator de redução da massa superficial útil;

S_i – área da superfície interior do elemento (m^2);

A_p – área interior útil de pavimento (m^2).

Tendo em conta o enunciado relativamente a estas duas grandes áreas da construção que contribuem para uma melhor sustentabilidade da mesma, é pertinente evidenciar que, embora o aço ($\rho=78 \text{ kN/m}^3$) seja um material mais pesado do que, por exemplo, alvenaria de tijolo (para uma parede de 0.11m de espessura $\rho=12,7 \text{ kN/m}^3$), os bons desempenhos térmicos e acústicos dependem sobretudo da envolvente e não apenas dos elementos estruturais. Assim, ter vigas e/ou pilares de materiais mais pesados como é o caso do aço, não contribui de forma significativa para um melhor comportamento do edifício. Há que ter em conta isolamentos, caixas-de-ar e revestimentos, sem esquecer o salientado anteriormente sobre de Portugal ser abonado em matérias-primas de qualidade que permitam que uma construção convencional se traduza como a mais sustentável.

3 EXPERIÊNCIA NO DOMÍNIO

Neste capítulo evidenciam-se dois tipos de experiência que poderão permitir tirar ilações sobre sustentabilidade. Um deles é a construção corrente onde se poderá aprender bastante com erros cometidos. Outro tipo de experiência é realizada em empreendimentos onde à partida se pretendem testar aspetos específicos relacionados com a sustentabilidade (que se designaram de empreendimentos de teste).

3.1 Casos correntes de falha

3.1.1 Imitar conceitos nórdicos

É sabido que nos países nórdicos a qualidade de vida, quer a nível económico, quer a nível ambiental, é superior ao resto da Europa, no entanto, antes de copiar e reproduzir os conceitos da construção nórdica em Portugal, há que os interpretar e avaliar se o que é sustentável no norte da Europa, o será numa zona de clima mais ameno.

Exemplo de uma má prática ao nível da construção em Portugal inspirada na construção de países nórdicos são os edifícios com revestimentos em madeira. Este tipo de revestimento é muito comum nos edifícios nórdicos e traduz-se como uma solução muito sustentável, já que a madeira é lá abundante e que as baixas temperaturas que se fazem sentir todo o ano (e em particular no inverno) garantem uma desinfestação anual da madeira e o bom estado de conservação da mesma. O que acontece em Portugal é que, em regra passada uma década, verifica-se o apodrecimento do ripado de fixação bem como a degradação acentuada do revestimento.

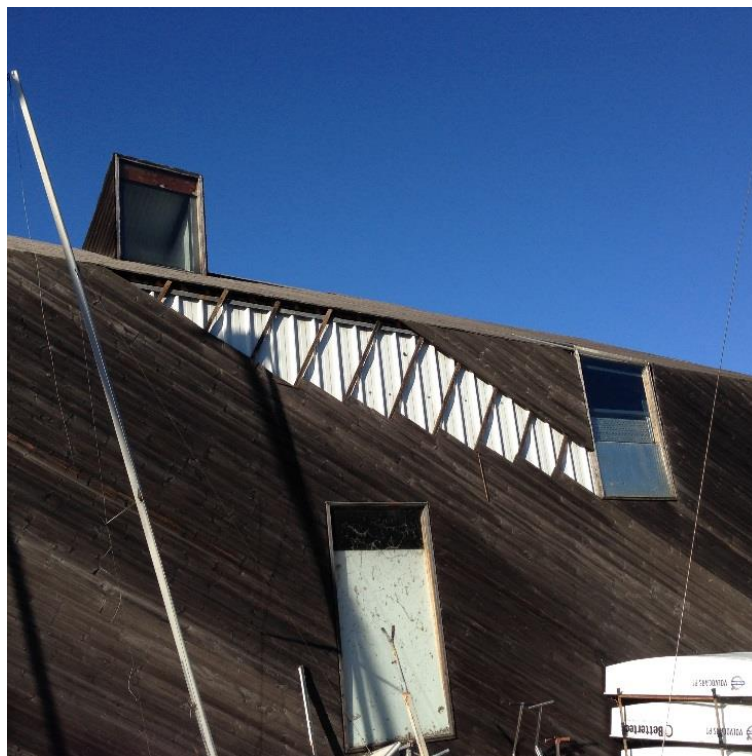


Figura 3.1 – Degradação dos edifícios dos clubes náuticos no parque da cidade, em Coimbra

3.1.2 A pluviosidade em Portugal na equação da sustentabilidade

Se Portugal é um país abençoado pelo seu clima que permite, como se verá em capítulos seguintes, conseguir um conforto térmico nos edifícios sem se recorrer a equipamentos mecânicos, tem outros aspetos que, quando não equacionados, podem por em causa toda a sustentabilidade de um projeto durante o seu tempo de vida útil.

A não consideração da pluviosidade como importante fator de degradação prematura do edificado a nível de rebocos e pinturas é recorrente em Portugal e acarreta vários problemas.

Como se vê na Figura 3.2, devido ao facto de não se equacionar a pluviosidade na conceção do projeto, como consequência a questão da drenagem das águas também não está prevista, o que compromete a sustentabilidade do edifício na medida em que mesmo que se tenha escolhido uma solução para rebocos e pintura que seja sustentável, vai ser posta em causa por este erro. Existindo fissuras nos paramentos (o que se verifica neste caso concreto) haverá também entrada de água através da envolvente.



Figura 3.2 – Degradação de reboco e pintura devido à falta de drenagem de águas (edifício em Coimbra)

3.1.3 Área de envidraçados vs. orientação solar

Como se verá em capítulos adiante, há dois aspetos da arquitetura que tudo podem ditar sobre o bom desempenho térmico de um edifício, são eles a orientação solar das fachadas e a área de envidraçados das mesmas. A relação entre a orientação solar das fachadas e a área de envidraçados presente nas mesmas é de extrema importância, já que no clima de Portugal se justifica abrir maiores vãos envidraçados nas fachadas a Sul (para maximizar os ganhos solares no inverno) e minimizar os vãos envidraçados nas fachadas a Norte (para diminuir as perdas).

Como se verifica na Figura 3.3, todas as fachadas voltadas a Norte do bloco central da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra são envidraçadas, o que levará a perdas de calor brutais.



Figura 3.3 – Envidraçados das fachadas voltadas a Norte, Bloco Central, FCTUC

Já nas fachadas voltadas a Sul, como mostra a Figura 3.4, verifica-se uma conceção sem grandes erros a apontar, já que foram pensadas palas para que a grande área envidraçada não leve ao sobreaquecimento das divisões do interior. No entanto, sabe-se que os espaços de permanência destes envidraçados a Sul atingem temperaturas muito elevadas, pelo que, a não previsão de calhas para estores no projeto, pode ser considerada uma falha que compromete o bom desempenho térmico do edifício, já que apenas as palas não garantem temperaturas confortáveis.



Figura 3.4 – Envidraçados das fachadas voltadas a Sul, Bloco Central, FCTUC

3.1.4 A insustentabilidade sustentável

Na realidade climática e de recursos naturais e económicos de Portugal, uma conceção de edifícios totalmente envidraçados é completamente desfavorável aos ideais da sustentabilidade. No entanto, mais uma vez é importante salvaguardar que o conceito de sustentabilidade varia de meio para meio, isto é, uma região pode apresentar características ambientais, sociais e económicas totalmente distintas de outra região e como já se viu, ambiente, sociedade e economia é o que define a sustentabilidade, por isso é normal que o conceito seja tão subjetivo e alterável de cultura para cultura.

A região árabe é das mais ricas em petróleo e é isso que faz com que, mesmo no deserto com temperaturas muito altas, os arranha-céus revestidos a vidro característicos do Dubai e de Abu Dhabi, como se mostra na Figura 3.5 e na Figura 3.6, se tornem numa insustentabilidade sustentável.



Figura 3.5 - Burj Khalifa, Dubai



Figura 3.6 - Torres Etihad, Abu Dhabi

Estas regiões investem muito no turismo, já que é essa atividade que lhes traz maiores proveitos. Os arranha-céus envidraçados personificam a ostentação destas cidades e são uma enorme atração turística pela sua grandiosidade e irreverência.

Estes edifícios só se traduzem como sustentáveis, estando inseridos no ambiente que estão, pois o acesso ao petróleo é muito fácil e de custo reduzido, daí não haver preocupações com poupanças energéticas que, conseqüentemente, se traduziriam em poupanças económicas e todos os edifícios poderem funcionar com sistemas de ar-condicionado brutais.

3.2 Empreendimentos de teste

3.2.1 A mudança de comportamento em prol de uma cidade mais sustentável

Um edifício nunca se pode esperar sustentável quando considerado isoladamente. Para se projetar um edifício que possa ser considerado sustentável num meio urbano, é sempre necessário levar em conta as características sociais, económicas e ambientais do lugar.

Num contexto mais amplo, que é o das cidades, onde o edificado é composto, maioritariamente, por edifícios de alguma expressão no que toca a altura, há que ter em conta que estes serão ocupados por diferentes indivíduos, que têm exigências também muito diferentes entre si. É importante ter isto em conta no campo de sustentabilidade, pois implica diferentes consumos de energia. Torna-se assim crucial que os edifícios estejam dotados de uma capacidade de adaptação e sejam capazes de oferecer diversidade em vez de condições térmicas ótimas. Com esta adaptabilidade dos edifícios a qualquer uma das exigências dos utilizadores, conseguir-se-á minimizar mais os consumos de energia do que se o edifício fosse projetado para uma condição ótima de conforto térmico que não comprazesse todos os utilizadores.

No entanto, por vezes não é fácil lidar e contornar certas características. Exemplo disso é uma experiência que foi estudada para ser levada a cabo em Shangai, idealizada por *Richard Rogers* em 1991. A proposta consistia num parque urbano em redor do qual se desenvolviam grupos de edifícios de usos e tamanhos variados. O raio pelo qual se distribuíam os edifícios, foi idealizado de maneira a que os residentes estivessem a uma distância máxima de dez minutos a pé do parque, do rio e de outras comunidades vizinhas. A mesma proposta englobava também uma integração entre espaços públicos e uma rede de transportes hierarquizada, onde os edifícios de escritórios, culturais e institucionais se localizariam junto aos pontos de transportes, e os edifícios habitacionais junto ao parque. O ponto alto deste projeto, no que toca à sustentabilidade, foi o planeamento de um determinado agrupamento de edifícios de várias alturas, de forma a que o acesso à luz natural e aos ventos fosse maximizado, minimizando o seu impacto nos espaços públicos. Shangai, como uma cidade movimentada que é, sofre com a poluição veicular e, para que a qualidade do ar melhore e se possa usar a ventilação natural para maior conforto térmico, é fundamental que haja algum controlo na intensidade do tráfego pela cidade. E é aqui que se compreende como algumas das características locais e sociais, podem por em causa todo um projeto que visa melhorar as condições de vida de uma cidade inteira. Mesmo sabendo que a restrição dos transportes em algumas zonas era essencial, o projeto foi

criticado por implicar uma mudança de comportamento do utilizador em proveito do bem-estar de uma cidade. Posto isto, não foi possível levar a cabo a experiência e toda a proposta foi substituída por um conjunto arbitrário de edifícios altos (Gonçalves e Duarte, 2006).

3.2.2 Edifício Solar XXI (INETI)

Na década de oitenta não se falava de sustentabilidade, era "ecologia" o termo usado para expressar as preocupações com o meio ambiente, social e económico que permitissem integrar edifícios com melhores desempenhos energéticos e ambientais. Foi nessa época que surgiu a ideia do Edifício Solar XXI, que só anos mais tarde, em 2001, veio a conseguir os apoios necessários para passar de projeto a ação (ano de início de construção 2004 e inauguração em 2006) e onde a grande motivação era fazer com que fosse um exemplo a seguir na construção de edifícios em Portugal, conduzindo a uma mudança tecnológica.

Para se erguer, o Edifício Solar XXI contou com o apoio do Departamento de Energias Renováveis do Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação (INETI). Este edifício traduz a vontade de criar um projeto e construção de raiz de um edifício ex-líbris da eficiência energética em edifícios e da utilização das energias renováveis.

O Edifício Solar XXI associa uma estratégia de otimização da envolvente à utilização de sistemas solares, ativos e passivos, onde se destaca a integração de sistemas fotovoltaicos nas fachadas com aproveitamento térmico e um sistema de arrefecimento passivo pelo solo. Os sistemas fotovoltaicos têm uma superfície total de cerca de 100 m² em harmonia com os vãos envidraçados da fachada Sul. O sistema de arrefecimento passivo pelo solo é feito através de tubos enterrados que permitem a entrada de ar fresco proveniente do solo, já que esta ronda temperaturas entre os 16°C e os 18°C no Verão, quando a temperatura do exterior pode subir até aos 35°C. Com a aplicação desta estratégia o objetivo é alcançar condições de conforto térmico melhoradas, reduzindo ou mesmo anulando os consumos energéticos para esse efeito (Brochura Solar XXI, 2005).



Figura 3.7 – Fachada Poente Sul Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005)



Figura 3.8 – Fachada Sul Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005)



Figura 3.9 – Fachada Nascente Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005)



Figura 3.10 – Fachada Nascente Norte Edifício Solar XXI (de Brochura Solar XXI, 2005)

O Edifício Solar XXI localiza-se no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (antigo INETI) no Lumiar, em Lisboa, e é um edifício de serviços (salas e gabinetes de trabalho e laboratórios). As salas de ocupação permanente localizam-se na fachada orientada a Sul, de forma a tirar partido da insolação direta e assim promover ganhos solares no Inverno. A fachada orientada a Norte engloba os espaços laboratoriais e salas cuja ocupação é de carácter menos permanente. O edifício tem três pisos, um dos quais semienterrado, e na zona central encontra-se um espaço de circulação e distribuição servido por uma claraboia que para além de iluminar zenitalmente os três pisos, serve também para ventilação, já que os vãos ao nível da claraboia podem abrir-se para esse efeito.

Em termos construtivos é um edifício constituído por paredes simples de alvenaria de tijolo de vinte e dois centímetros de espessura, isoladas pelo exterior com seis centímetros de poliestireno expandido, correspondendo a um valor de $U=0,5W/m^2K$. A solução do isolamento pelo exterior leva a uma maior eficiência, uma vez que no período de Inverno mantém a massa inercial do edifício no interior e conserva-o mais quente, e no Verão constitui uma primeira barreira à onda de calor exterior. A laje de cobertura é maciça, isolada pelo exterior com dez centímetros de isolamento (cinco centímetros de poliestireno expandido mais cinco centímetros

de poliestireno extrudido) perfazendo um $U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. O pavimento em contato com o solo é igualmente isolado com dez centímetros de poliestireno expandido. Os vãos são constituídos por vidro duplo incolor com um $U=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, protegidos por estores exteriores de lâminas reguláveis, o que conduz a fatores solares de Verão na ordem de $F_s=0,09$. Estes estores são elementos fundamentais em toda a estratégia solar do edifício. Primeiro pelo facto de serem reguláveis e orientáveis, o utilizador adequa a entrada de radiação solar e de luz para o seu espaço de trabalho, depois o facto de serem aplicados pelo exterior, traduz-se numa eficiência e estratégia fundamental para o período de Verão, uma vez que evitam a incidência solar direta nos vãos e portanto o aquecimento do interior (Brochura Solar XXI, 2005).

3.2.3 Quinta Verde

A Quinta Verde é um empreendimento bioclimático com a assinatura da arquiteta Livia Tirone que engloba noventa casas bioclimáticas. Este empreendimento situa-se em Nafarros, Sintra, e as noventa casas bioclimáticas foram construídas de acordo com o clima, permitindo que quer no Inverno, quer no Verão, sejam termicamente confortáveis e permitam poupanças de energia.

O empreendimento Quinta Verde é bastante atrativo já que é enorme a diversidade de tipologias (onde praticamente não existem duas casas iguais), o que o torna um contexto urbano interessante e dinâmico.

Neste conjunto de noventa casas, pode ver-se muito do que é necessário para alcançar um edifício sustentável. Na Figura 3.11 é visível a aplicação de quatro conceitos base que dão origem a um edifício bem conseguido do ponto de vista da sustentabilidade.

1. Boa orientação solar das fachadas;
2. Boa proporção de envidraçados (tendo em conta a orientação solar);
3. Sombreamentos exteriores bem conseguidos;
4. Utilização de painel solar.

Por falta de informação sobre o projeto da moradia da Figura 3.11, depreende-se que a fachada orientada a Sul seja a que tem maior área de envidraçados (a que se vê iluminada na Figura 3.11) para que no Inverno se tenham os ganhos solares que proporcionam conforto térmico no interior. Os estores metálicos se vêm nessa mesma fachada fazem todo o sentido para que no Verão se possam proteger as áreas interiores da incidência direta do Sol, prevenindo o sobreaquecimento, sendo que no Inverno, como estes estores são reguláveis e orientáveis, os ganhos solares continuam assegurados. A fachada que, à partida, não tem tantas horas de Sol por dia, a mais “fresca” (que se vê com sombra na Figura 3.11) possui menos áreas de envidraçados para que não hajam perdas. Vê-se nessa fachada que uma janela é basculante, o que é de todo pertinente para que se possa fazer uma ventilação natural dos espaços interiores garantindo a salubridade dos mesmos e arrefecê-los quando necessário. Nesta moradia é ainda

visível um painel solar que tem uma enorme importância nos consumos energéticos do edifício, reduzindo-os consideravelmente.



Figura 3.11 – Moradia integrante do empreendimento Quinta Verde, Nafarros, Sintra (adaptado de <http://www.ecoreporter.abae.pt/>)

3.2.4 Torre Verde

Igualmente ao empreendimento Quinta Verde analisado no subcapítulo anterior, o edifício Torre Verde, localizado no Parque das Nações, em Lisboa, é também da autoria da arquiteta Livia Tirone.

Este edifício é muito importante pois, para além de ter sido o primeiro edifício bioclimático habitacional em Portugal, foi galardoado com o prémio “Ambiente 1997” pel’A Revista Imobiliária. Conta com quarenta e um apartamentos e uma área de construção de, aproximadamente, sete mil e duzentos metros quadrados (<http://www.lidera.info>).

A Torre Verde contou com um subsídio do programa *Thermie 96* para implementar um sistema solar ativo para satisfazer aproximadamente setenta por cento das necessidades de água quente para consumo doméstico e a sua monitorização ofereceu, pela primeira vez em Portugal, dados concretos para a avaliação dos benefícios da arquitetura bioclimática (<http://tironenunes.pt>, 2006).

A primeira característica que faz da Torre Verde um edifício bem conseguido do ponto de vista da sustentabilidade é o fato de cada um dos apartamentos ter os espaços principais orientados a Sul, por forma a conseguirem-se maiores ganhos solares. Um outro indicador de uma

construção sustentável é o facto de o edifício ter um terraço comum proporcionando aos habitantes uma excelente possibilidade de interagirem positivamente, assim, verifica-se que foi tida uma preocupação em integrar a componente do "social", que é outro dos ideais da sustentabilidade.



Figura 3.12 – Edifício Torre Verde, Parque das Nações, Lisboa (de <http://www.lidera.info/>)

Em 2007 o edifício Torre Verde foi certificado pelo LiderA tendo obtido a classificação A, o que corresponde a um desempenho ambiental cinquenta por cento superior à prática atual.

A Figura 3.13 mostra duas características do projeto que são essenciais para que este se traduza como sustentável. Verifica-se a existência de estores exteriores metálicos orientáveis e reguláveis que no Verão impedem a insolação direta, mantendo uma temperatura interior agradável, e no Inverno permitem o contrário para se conseguirem os ganhos solares desejados. A capacidade basculante das janelas, como se vê também na Figura 3.13, é uma outra característica muito importante, já que nos dias de maior calor permite uma ventilação natural dos espaços garantindo não só um conforto térmico, como também a boa qualidade do ar interior, assim, nenhuma das habitações da Torre Verde tem qualquer necessidade de equipamento de ar condicionado.



Figura 3.13 – Pormenor de uma das fachadas do edifício Torre Verde, Parque das Nações, Lisboa (de <http://www.lidera.info>)

Com todas as medidas bioclimáticas passivas implementadas neste edifício verifica-se uma redução efetiva no consumo de eletricidade total e para além disso, com a implementação do sistema solar ativo, a Torre Verde recorre a energias renováveis para satisfazer grande parte da energia necessária para aquecimento de águas sanitárias.

3.2.5 Planeamento sustentável de zonas degradadas

Uma experiência piloto ao nível da sustentabilidade nas cidades foi desenvolvida em parceria por entidades do Brasil e do Reino Unido, nomeadamente entre o *Martin Center*, da *University of Cambridge*, a *School of Architecture and Visual Arts*, da *University of East London* e o Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. O objetivo de todas estas colaborações que intervieram no projeto foi desenvolver um método de planeamento e projeto para espaços urbanos que estejam degradados no momento. O projeto visa explorar abordagens ambientais para a revitalização em áreas centrais, quer de vazios urbanos, quer de zonas ocupadas de baixa densidade, salientando as suas vantagens socioeconómicas, culminando assim numa cidade mais sustentável, onde todo o projeto foi baseado fortemente nas características e contexto do local (Gonçalves e Duarte, 2006).

3.2.6 CENPES II

Em 2004, uma empresa brasileira, a Petróleo Brasileiro (Petrobras) promoveu um concurso para a criação de um novo centro de pesquisas. Este concurso distinguiu-se de todos os outros até então realizados já que pela primeira vez no Brasil o edital de um concurso colocou questões de sustentabilidade na arquitetura e construção (chamadas pela Petrobras de ecoeficiência) em dez tópicos eliminatórios. Desta forma, o Centro de Pesquisas - CENPES II assume um papel histórico no contexto da arquitetura e construção do Brasil, sendo que contribuiu para a formalização do interesse das empresas públicas pela inserção de questões de sustentabilidade na construção.

Os dez tópicos eliminatórios respetivos ao concurso lançado pela Petrobras foram:

1. Orientação solar adequada;
2. Forma arquitetónica: adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para a minimização da carga térmica interna;
3. Material construtivo das superfícies opacas e transparentes: termicamente eficiente;
4. Superfícies envidraçadas: taxa de WWR (*window Wall ratio*) adequada às condições de conforto térmico e luminoso internos;
5. Proteções solares externas: adequadas às fachadas;
6. Ventilação natural: aproveitamento adequado dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno;
7. Aproveitamento da luz natural;
8. Uso da vegetação;
9. Sistemas para uso racional de água e reuso;
10. Materiais de baixo impacto ambiental: dentro do conceito de desenvolvimento sustentável.

Pela análise das dez exigências para a ecoeficiência, mais uma vez se conclui ser crucial combinar os conhecimentos das diversas áreas e disciplinas do projeto: arquitetura, engenharia, paisagismo, estruturas, sistemas prediais e conforto ambiental, desde a etapa de conceção e proposição.

Toda esta iniciativa da Petrobras foi bastante positiva e aponta para o facto de que os projetos de arquitetura e engenharia com determinantes de ecoeficiência podem redefinir as obras públicas no Brasil e contribuir para uma maior sustentabilidade no sector (Gonçalves e Duarte, 2006).

3.2.7 *Campus of School of the Built Environment*

No Reino Unido, a *School of the Built Environment*, da Universidade de *Nottingham*, está a desenvolver um campus em Pequim, na China, onde os edifícios são concebidos com os princípios de uma arquitetura e construção sustentáveis. Este investimento demonstra um grande número de inovações em materiais de construção, mecanismos para iluminação natural, acumulação de calor e tratamento acústico, geração de energia nas fachadas (através do uso de células fotovoltaicas), recolha e reutilização de água e investigação de outros recursos e técnicas. Este projeto culmina numa experiência bastante positiva já que todos os alunos e investigadores se sentirão inspirados a atingir metas cada vez mais altas no âmbito da sustentabilidade (Gonçalves e Duarte, 2006).

3.2.8 *Introdução da Norma Passive House em Portugal*

E de todas as experiências que têm vindo a ser feitas para se alcançar um conceito preciso de sustentabilidade, surge a norma *Passive House* que, inclusivamente, em Novembro de 2012, deu origem a uma associação em Portugal, a *Passivhaus Portugal*.

O conceito de *Passive House* nasceu na Alemanha no final da década de 80 e conta já com mais de cinquenta e cinco mil edifícios certificados em todo o mundo (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).

Em Portugal, os primeiros edifícios classificados como *Passive House* foram certificados em Ílhavo pela *Homegrid*, empresa criada pelos mesmos fundadores da *Passivhaus Portugal*.

Com o desenvolver dos projetos das duas moradias de Ílhavo, a *Homegrid* procurou também a eficiências hídrica e a produção local de alimentos. Esta procura deu origem a uma marca registada, a *WEFI BUILDING – water energy food almost independent building*, cujo conceito chegou mesmo a ser aplicado numa das duas moradias (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).

Aqui fica a prova que a sustentabilidade é uma área vasta que pode ter inúmeras ramificações, desde que haja um bom equilíbrio energético que seja benéfico para o meio ambiente, confortável para os utilizadores e economicamente apelativo para os investidores.

Esta visão alargada dentro da sustentabilidade, valeu à moradia abrangida pela *WEFI BUILDING*, a classificação de A+ no âmbito da certificação *LiderA* (Sistema Voluntário para Avaliação da Construção Sustentável) e foi também reconhecida pelo *Wuppertal Institut* (Instituto para o Clima, Ambiente e Energia) que considerou o projeto como sendo um exemplo de boa prática ao nível da sustentabilidade (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).



Figura 3.14 – Moradias de Ílhavo, primeiros edifícios certificados como *Passive House* em Portugal (<http://www.homegrid.pt/>, 2013)

Ainda em Portugal e dentro da norma *Passive House*, em 2013, foram desenvolvidos três projetos que assentam nesse conceito: uma unidade de alojamento local na Costa Nova, um centro canino no concelho de Gouveia, na Serra da Estrela, e uma moradia *low cost* em Aveiro. Também os arquitetos da *Homegrid* reabilitaram o escritório onde trabalham com base nestas normas, não só pelas poupanças energéticas, mas também pela produtividade que o conforto ambiental lhes proporcionará. É o primeiro escritório *Passive House* em Portugal (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).

3.2.9 *Energy for Sustainability - EfS*

A iniciativa da Universidade de Coimbra *Energy for Sustainability – EfS*, traduz de forma bem notória a necessidade da multidisciplinaridade para atingir a sustentabilidade, já que agrega docentes de diversas faculdades ligados à energia e ao desenvolvimento sustentável. Com a EfS, e através da interação com decisores políticos, gestores e técnicos responsáveis em vários sectores de atividade, é assegurada a transferência de conhecimento para a sociedade mantendo uma forte ligação aos problemas reais desta.

A Universidade de Coimbra, através da Iniciativa EfS, é membro da *European Platform of Universities Engaged in Energy Research, Education and Training* (EPUE). A EPUE inclui universidades de toda a Europa que possuem capacidade de investigação e ensino na área da energia, abrangendo ciências básicas, engenharias, ciências da vida e da saúde, economia, ciências sociais e humanidades (<http://www.uc.pt/efs>).

No âmbito desta iniciativa, a Universidade de Coimbra oferece programas de formação avançada que incluem um curso de Especialização, um de Mestrado e um de Doutoramento, este último em articulação com o Programa MIT Portugal (<http://www.uc.pt/efs>).

A primeira edição do Mestrado em Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra ocorreu no ano letivo de 2012/2013 e desde então tem-se repetido todos os anos. Este Mestrado é organizado em parceria entre quatro entidades distintas da Universidade de Coimbra: o Departamento de Engenharia Mecânica, o Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, o Departamento de Engenharia Civil e a Faculdade de Economia.

O resultado desta “experiência” são Mestres com uma formação interdisciplinar vocacionada para a utilização eficiente de energia, para a produção de energia, centralizada e descentralizada, bem como para a distribuição da energia, numa perspetiva de desenvolvimento sustentável, com competências nos domínios tecnológicos relevantes e nos da economia da energia e do ambiente, com capacidade para análise de sistemas e inter-relações entre sistemas, habilitados a desenvolver projetos e a resolver problemas de elevada complexidade no âmbito do binómio energia-ambiente (<https://apps.uc.pt/courses/pt/course/467/2015-2016>, 2015).

Incorporando Mestres em Energia para a Sustentabilidade em Departamentos de Sustentabilidade de Grandes Empresas, Empresas das áreas de Energia, Ambiente, Construção Civil, Departamentos de Investigação de Desenvolvimento, Empresas de Projeto e Consultadoria, Ensino, Empresas de transportes ou Planeamento Urbano, os resultados desta “experiência” da Universidade de Coimbra só podem ser positivos, convertendo-se em mentalidades mais sustentáveis que por sua vez darão origem a atitudes globais também muito mais sustentáveis.

4 CONSTRUÇÃO EXISTENTE, SUSTENTÁVEL ATÉ QUE PONTO?

4.1 Avaliação da sustentabilidade em edifícios

Apesar de já serem diversas as técnicas comprovadas para a realização de uma construção sustentável, os edifícios não estão, na sua maior parte, a ser construídos ou reabilitados de uma forma sustentável. O principal obstáculo à mudança de pensamento por parte dos construtores e compradores é, segundo a Comissão Europeia, o facto de pensarem incorretamente que a construção sustentável é dispendiosa, duvidando também da sua fiabilidade e desempenho a longo prazo.

Para contrariar este pensamento tendencioso, a Comissão Europeia propõe a realização de ações para salientar os benefícios da construção sustentável a longo prazo e também a revisão das normas e regulamentos da construção, incorporando cuidados associados à sustentabilidade neste domínio. No entanto, com a promoção destes ideais, a temática da sustentabilidade surgirá como potenciadora da venda de produtos sustentáveis. Deste modo, poderão surgir produtos que se autoavaliem como mais sustentáveis do que as soluções correntes apenas numa ótica de potencializar as vendas. Esta situação implica a avaliação do desempenho geral dos edifícios e construções em termos de sustentabilidade através de uma metodologia comum a nível europeu.

O maior problema em aceitar uma metodologia comum para a avaliação da sustentabilidade dos edifícios é o facto do conceito “sustentabilidade” ser bastante subjetivo, subjetividade essa motivada por diferenças políticas, culturais, sociais e económicas. É essa a razão pela qual, embora já haja uma série de ferramentas desenvolvidas e outras em fase de desenvolvimento, nenhuma é ainda amplamente aceite.

A maior parte das metodologias de avaliação da sustentabilidade baseiam-se na análise de indicadores e em 1991 a Comissão Europeia criou um grupo de trabalho que definiu uma lista de dez indicadores por forma a uniformizar as metodologias de avaliação a nível europeu. No entanto, o carácter pessoal das ações preconizadas por estes indicadores, continua a introduzir uma certa subjetividade no resultado da avaliação (Mateus e Bragança, 2004).

Quadro 4.1 - Indicadores para uniformizar metodologias de avaliação da sustentabilidade (adaptado de Mateus e Bragança, 2004)

Indicadores Principais	- Satisfação dos utilizadores
	- Impactos nas alterações climáticas
	- Mobilidade e transportes públicos
	- Acesso às áreas de serviço e espaços verdes
	- Qualidade do ar
Indicadores Suplementares	- Distâncias aos espaços de ensino
	- Sistemas de coordenação do desenvolvimento sustentável
	- Ruído
	- Uso sustentável do solo
	- Produtos que respeitam o desenvolvimento sustentável

4.1.1 Metodologias desenvolvidas para a avaliação da sustentabilidade em edifícios

A nível internacional, há já algum trabalho consolidado sobre ferramentas e sistemas de avaliação da sustentabilidade. Destacam-se o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), o *Leadership in Energy & Environmental Design* (LEED) e o *Green Building Challenge* (GBTool). A maior parte deles encontram-se sobretudo orientados para a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios, numa perspetiva global, e necessitam do conhecimento prévio de uma panóplia de parâmetros, cuja determinação é quase sempre complexa (Mateus e Bragança, 2004).

No panorama nacional, Ricardo Mateus e Luís Bragança, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, desenvolveram uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas. Esta metodologia foi desenvolvida relativamente à solução construtiva mais aplicada, dita solução de referência, e atribuiu-se-lhe a denominação de “Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas” (MARS-SC).

Na MARS-SC a sustentabilidade das soluções construtivas é avaliada para cada elemento construtivo relativamente à solução de referência. Nesta metodologia são considerados três indicadores: ambiental, funcional e económico e são contempladas seis fases na sua aplicação (Mateus e Bragança, 2004).

1ª Fase: Definição dos parâmetros a considerar na avaliação dos indicadores. Na análise de cada indicador podem ser avaliados, entre outros, os parâmetros apresentados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Parâmetros que podem ser considerados na avaliação da sustentabilidade
(adaptado de Mateus e Bragança, 2004)

Indicadores		
Ambiental	Funcional	Económico
Potencial de aquecimento global	Isolamento sonoro a sons de condução aérea	Custo de construção
Energia primária incorporada (PEC)	Isolamento sonoro a sons de percussão	Custo de manutenção
Conteúdo reciclado	Isolamento térmico	Custo de reabilitação
Potencial de reciclagem	Durabilidade	Custo de desmantelamento / demolição
Reservas remanescentes de matéria-prima	Comportamento ao fogo	Valor residual
Quantidade de matéria / recursos naturais utilizados	Flexibilidade de utilização	Custo de tratamento para devolução ao ambiente natural

2ª Fase: Determinação dos índices de comparação, calculados pela equação 4.1. Estes índices expressam a relação de grandeza existente entre um parâmetro da solução em estudo e o mesmo parâmetro na solução de referência, ou seja, permitem verificar, para cada parâmetro, se a solução em estudo é melhor ou pior do que a solução de referência.

$$I_x = \frac{V_x}{V'_x} \quad 4.1$$

sendo:

I_x – Índice relativo ao indicador x;

V_x – Valor do parâmetro x na solução em estudo;

V'_x – Valor do parâmetro x na solução de referência.

3ª Fase: Atribuição da nota a cada parâmetro. Através do valor dos índices é atribuída uma nota a cada indicador numa escala de valores de -3 a 3. Quando a nota é negativa, o desempenho da solução em estudo ao nível desse parâmetro é pior do que a solução de referência. Caso contrário, a solução em estudo é melhor de que a solução de referência. A nota é atribuída através do Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Nota a atribuir a cada parâmetro (N_i) em função dos valores dos índices (I_x) (adaptado de Mateus e Bragança, 2004)

Valor de I_x	Nota (N_i)
≤ 0.6	3
$]0.6;0.8]$	2
$]0.8;1.0[$	1
1.0	0
$]1.0;1.2]$	-1
$]1.2;1.4]$	-2
≥ 1.4	-3

4ª Fase: Representação gráfica (gráfico tipo radar com um número de raios igual ao número de parâmetros em análise) das notas atribuídas a cada parâmetro – Perfil Sustentável.

5ª Fase: Determinação da Nota de Desempenho de cada solução ao nível de cada indicador (ND_i). O desempenho da solução em estudo ao nível de cada indicador é sintetizado num só valor através das equações 4.2 a 4.5.

$$ND_A = \sum_{i=1}^m WA_i \times NIA_i \quad 4.2$$

$$ND_F = \sum_{i=1}^n WF_i \times NIF_i \quad 4.3$$

$$ND_E = \sum_{i=1}^o WE_i \times NIE_i \quad 4.4$$

$$\sum_{i=1}^m WA_i = \sum_{i=1}^n WA_i = \sum_{i=1}^o WA_i = 1 \quad 4.5$$

sendo:

ND_A – Nota de desempenho ambiental;

ND_F – Nota de desempenho funcional;

ND_E – Nota de desempenho económico;

WA_i – Peso do parâmetro ambiental (i);

WF_i – Peso do parâmetro funcional (i);

WE_i – Peso do parâmetro económico (i);

m – Número de parâmetros ambientais em estudo;

n – Número de parâmetros funcionais em estudo;

o – Número de parâmetros económicos em estudo;

NIA_i – Nota atribuída ao parâmetro ambiental (i);

NIF_i – Nota atribuída ao parâmetro funcional (i);

NIE_i – Nota atribuída ao parâmetro económico (i).

O valor a atribuir ao peso de cada um dos indicadores na determinação das três notas de avaliação de desempenho não é consensual.

Ao nível dos parâmetros ambientais já existem alguns estudos que permitem a definição quase consensual dos seus pesos, pelo que, os autores da metodologia MARS-SC sugerem que se utilizem diretamente ou por extrapolação os pesos apresentados nos estudos realizados pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA).

A quantificação dos parâmetros funcionais é relativamente simples, no entanto, o modo como cada parâmetro influencia o desempenho funcional e consequentemente a sustentabilidade não é, mais uma vez, consensual. Numa primeira fase pode-se admitir que todos os parâmetros funcionais apresentam o mesmo peso na avaliação do desempenho funcional, ou então através da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é possível quantificar o peso de cada parâmetro (Mateus e Bragança, 2004).

Medir o desempenho económico de uma solução é bem mais objetivo do que medir os desempenhos ambiental e funcional já que se encontram disponíveis várias metodologias e algumas bases de dados acerca de custos na construção. Assim, é relativamente simples prever os custos associados ao ciclo de vida de um produto da construção, sendo que, quanto menores forem os custos previstos para uma solução, melhor será o seu desempenho económico e, consequentemente, mais sustentável será a solução.

6ª Fase: Determinação da Nota Sustentável (NS) da solução em estudo através da aplicação da equação 4.6.

$$NS = W_1 \times NDA + W_2 \times NDF + W_3 \times NDE \quad 4.6$$

sendo:

NS – Nota sustentável da solução;

W_1 – Peso do indicador ambiental;

W_2 – Peso do indicador funcional;

W_3 – Peso do indicador económico.

O modo como cada indicador influencia a sustentabilidade é subjetivo. Numa primeira abordagem, é aceitável que os três indicadores apresentem o mesmo peso na avaliação da sustentabilidade. No entanto, e uma vez que o conceito “construção sustentável” se prende principalmente com uma maior compatibilidade entre os ambientes construído e natural, sem que se comprometa o desempenho funcional e a sustentabilidade económica do produto, compreende-se que os pesos dos indicadores ambiental e funcional devem ser superiores ao do indicador económico. Na metodologia MARS-SC considera-se a seguinte distribuição de pesos:

$$W_1 = 0.40$$

$$W_2 = 0.40$$

$$W_3 = 0.20$$

Em função da Nota Sustentável obtida e através do Quadro 4.4 é possível concluir o desempenho da solução quanto à sua sustentabilidade.

Quadro 4.4 - Avaliação do desempenho relativo da solução em estudo a partir da NS
(adaptado de Mateus e Bragança, 2004)

Valor da NS	Classificação do desempenho
<-1	Medíocre
[-1;0[Insatisfatório
0	De referência
]0;1[Ligeiramente superior
[1;2[Superior
[2;3[Muito Superior
3	Excelente

4.2 Reabilitar sustentável

Com o elevado crescimento das cidades e das populações, não foi só o termo “sustentabilidade” que ganhou mediatismo nas comunidades, ainda antes dele, também a “reabilitação” começou a andar nas bocas do mundo.

O facto é que nem sempre a reabilitação é mais favorável do que a demolição e nova construção. É por isso que, atualmente, se começa a ouvir falar de reabilitação em conjunto com sustentabilidade.

Nos casos em que a reabilitação é mais favorável do que a demolição, a reabilitação tecnológica dos edifícios – o chamado *retrofit* – é uma forte alternativa.

O termo vem da conjugação da expressão latina “retro”, que significa “movimenta-se para trás”, com a palavra inglesa “fit”, que significa “adaptar-se”. Assim, *retrofit* significa revitalizar um bem, preservando os aspetos originais e adaptando-o às necessidades atuais (<http://blogdopetcivil.com/>, 2013).

O *retrofit* surgiu devido à elevada quantidade de edifícios antigos e históricos com necessidade de serem mantidos, preservando-se assim o património histórico e permitindo uma melhor e mais adequada utilização do edifício.

A principal motivação do *retrofit* é reabilitar edifícios antigos, recorrendo a tecnologias avançadas em sistemas prediais e materiais, para aumentar o tempo de vida útil preservado quer o património histórico, quer o arquitetónico.

Este conceito tem como objetivos, por exemplo, adaptar o edifício a novos usos, melhorar a qualidade ambiental do ambiente interior, otimizar os consumos energéticos a médio e a longo prazo, aumentar o valor arquitetónico e económico de um edifício já existente, entre outros.

Como incitado no início deste subcapítulo, nem sempre ações de reabilitação (e de *retrofit*) são economicamente exequíveis. É por isso que esse tipo de intervenção tem de ser planeada até ao mais ínfimo detalhe, para garantir e conseguir obter o máximo partido de um perfeito *retrofit* que se predispõe a diminuir os custos de manutenção e aumentar as possibilidades de uso de um edifício. São então estes casos que transmitem a relação estreita entre sustentabilidade e reabilitação, ou seja, com um *retrofit* planeado e executado corretamente, o edifício é atualizado tecnologicamente, tornando-o mais funcional para o utilizador, e continua a manter-se viavelmente económico para o investidor.

4.3 Cidades Sustentáveis

O conceito de sustentabilidade poderá ganhar ainda mais importância e mediatismo quando considerado de forma a abranger uma cidade como um todo, ao invés de um edifício singular. Experiências realizadas no âmbito da sustentabilidade mostram que é importante ter em conta um edifício que leve em consideração também fatores socioeconômicos, culturais e ambientais. Desta forma, a cidade deve ser entendida dentro do seu contexto regional, envolvendo o clima, a disponibilidade de recursos naturais e as relações econômicas com outros centros urbanos, o que, adicionado ao desempenho energético de todos os edifícios, contribui para um meio mais sustentável. Um edifício sustentável deve ser visto como impulsionador de uma excelente solução ambiental, social e economicamente viável e há que levar o conceito da sustentabilidade à escala das cidades e tirar o máximo partido das vantagens de construir e reabilitar sustentável.

Quando se fala nas cidades há uma preocupação central que se reflete num direito dos cidadãos: garantir que todos os serviços, espaços verdes e equipamentos de lazer necessários a um dia-a-dia que satisfaça o estilo de vida escolhido por cada indivíduo, estejam num raio de deslocação de dez minutos a pé.

Já nas “aldeias verticais” (Tirone e Nunes, 2008), isto é, nos edifícios de habitação multifamiliares, é importante garantir uma diversidade de tipologia que conduza a um bom funcionamento da comunidade. Desta forma cria-se uma maior probabilidade das pessoas interagirem e se complementarem. Contextos urbanos com maior diversidade de tipologia fomentam a tolerância e a integração social (Tirone e Nunes, 2008).

Ainda um outro sinal de que as cidades podem desenvolver-se por uma via mais sustentável e preocupada com uma total harmonia é a preocupação em tornar as habitações flexíveis às mudanças das famílias. O conceito base é que a casa permita alterar a sua tipologia sem serem necessárias grandes obras. No entanto, esta flexibilidade pode ir além da alteração das áreas e focar-se também num novo conceito de compartimento dedicado a trabalhar a partir de casa com acesso a todas as ferramentas tecnológicas da informação e comunicação. O chamado *Small Office Home Office* (SOHO) pode ser um espaço compacto ou uma extensão de outro espaço da casa. O que este conceito, SOHO, vem adicionar à cidade sustentável é que evita, possibilitando todas as condições para que se trabalhe a partir de casa, que se realizem movimentos pendulares especialmente em horas de ponta, reduzindo consequentemente as emissões de CO₂.



Figura 4.1 – SOHO aproveitando espaço de baixo de escadas (de <http://www.architectureartdesigns.com/>)

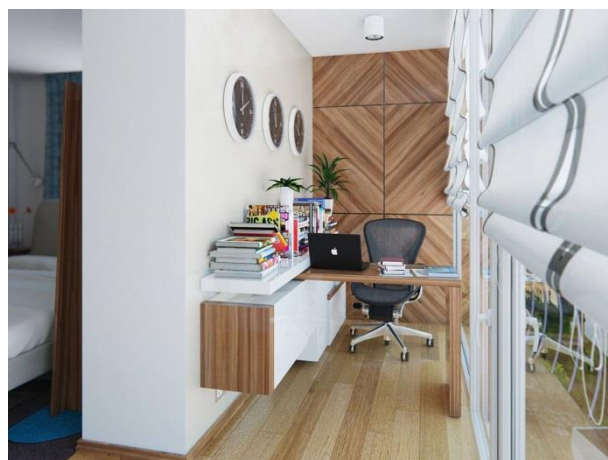


Figura 4.2 – SOHO como extensão de um quarto (de <http://www.interiordecodir.com/>)

Há uma série de entidades que são responsáveis por uma implementação eficaz dos padrões que levam a uma construção sustentável. A essas entidades deve ser exigido que qualifiquem o território pelo qual são responsáveis de forma a assegurar um bom desempenho energético-ambiental.

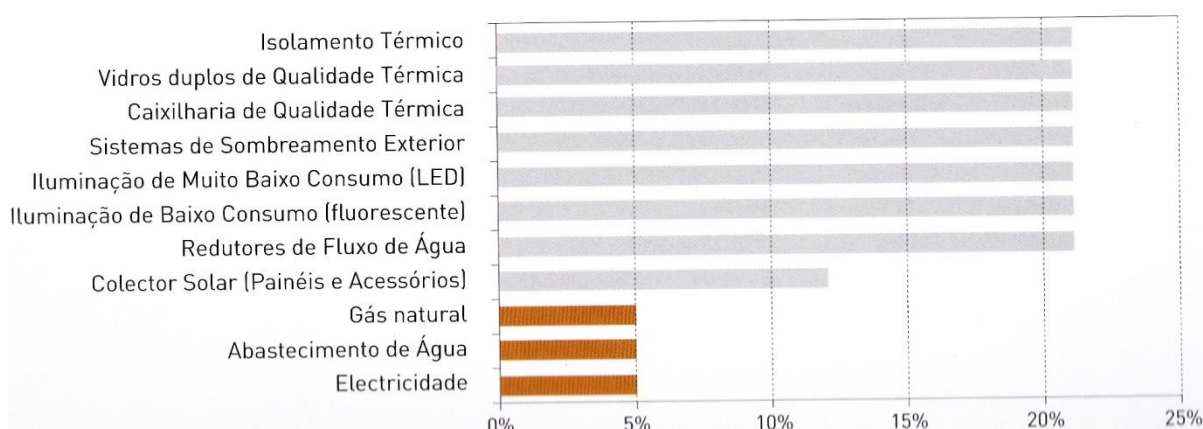
É à escala local que ocorrem os atos que dão origem às disfunções ambientais e por isso cabe às Câmaras Municipais promover o bom funcionamento do território que gerem, assumindo as metas do desempenho energético-ambiental definidas à escala regional.

As oportunidades de intervenção no sector da construção passam, em primeiro lugar, pelo aumento da eficiência energética do meio edificado e em segundo lugar, peça transformação descentralizada de energias renováveis (micro geração à escala local) e também pela otimização da oferta de energia (preferencialmente proveniente de fontes de energia renovável) (Mateus e Bragança, 2004).

Um melhor desempenho de uma cidade, em termos sustentáveis, passa por facilitar e potencializar a descentralização da transformação de energia, para que, deste modo, os edifícios passem de utilizadores a produtores de energia ligados às infraestruturas urbanas de eletricidade, de calor e de frio, para fornecerem a energia excedente, sempre que não for aproveitada pelos próprios (Tirone e Nunes, 2008).

Uma mensagem política bem estruturada, coerente e bem comunicada é quase tudo o que é necessário para que, quando ouvida, possa introduzir mudanças nos comportamentos. A realidade atual do sistema de taxas não reflete, de todo, o enquadramento político e estratégico do novo quadro jurídico que abrange o desempenho energético do meio edificado e, por isso, não promove os comportamentos que se desejam do mercado.

Quadro 4.5 – Sistema de taxação do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA) aos atores relevantes no sector da construção em Portugal (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)



Como ilustra o Quadro 4.5, as categorias de taxação do IVA apresentam uma enorme discrepância. A taxação mínima recai sobre os serviços energéticos e de abastecimento de água, que deveriam ser consumidos de forma eficiente porque são recursos naturais e, no caso da energia, contribuem substancialmente para as emissões de CO₂. O que esta disparidade dos valores do IVA transmite é que não é prioridade do interesse nacional favorecer a eficiência dos sistemas nem a adoção de medidas que permitem a redução das necessidades de consumo de energia e água.

Devem ser tomadas medidas para inverter esta tendência. Essas medidas têm de ser implementadas por todas as entidades do mercado que podem intervir de forma a potenciar o seu impacto ao longo da vida útil dos edifícios. Entre outros, os incentivos que uma entidade licenciadora poderá oferecer aos requerentes, para promover a otimização do desempenho energético-ambiental da cidade, são a redução de taxas e impostos ou a agilização dos processos burocráticos de licenciamento e de autorização, desde que haja uma certificação energética ou ambiental associada ao projeto que alcance o desempenho com o qual a cidade se identifica.

4.3.1 Conforto térmico em espaços exteriores

Contrariamente ao passado, em que as pessoas passavam em média noventa por cento do seu tempo (Tirone e Nunes, 2008) em espaços exteriores, hoje em dia, apenas dez por cento do nosso tempo (Tirone e Nunes, 2008) é passado ao ar livre. No entanto, não é por se passar pouco

tempo nos espaços exteriores que estes não devem ser integrados nas novas preocupações de sustentabilidade. É muito importante que na cidade os espaços exteriores ofereçam um grau de conforto térmico elevado.

É um grande desafio impedir que as envolventes se tornem barreiras às condições de conforto, contudo foi um desafio aceite e superado pela Universidade de Sevilha que em 1992, no âmbito da Feira Internacional EXPO '92, concebeu e realizou um conjunto de atrativos espaços exteriores onde, em pleno Verão, foi possível reduzir a temperatura em 10°C quando comparada com a temperatura exterior local.

Também o *Martin Centre* da Universidade de *Cambridge* tem desenvolvido estudos e programas ambiciosos, alguns dos quais em parceria com o Instituto Superior Técnico, aprofundado os nossos conhecimentos de conforto em espaços exteriores.

É importante interagir entre o espaço interior e exterior, explorando o potencial de espaços de transição ou de atenuação climática, os chamados *buffer zones*, permitindo assim enriquecer a qualidade de vida de qualquer indivíduo, ficando este possibilitado de usufruir de espaços exteriores sem sentir o desconforto térmico que, usualmente, lhe está associado.

4.4 Certificação energética – Diretiva 2002/91/CE e DL78/06 de 4 de abril

Foi definida e aprovada, pela Comissão Europeia, a Diretiva 2002/91/CE, que surgiu por consequência do grande sucesso que teve na Europa a certificação energética dos eletrodomésticos. Entretanto esta Diretiva foi transposta para a Lei Nacional com o DL78/06 de 4 de Abril que obriga todos os edifícios à aplicação do sistema de Certificação Energética.

O objetivo da Certificação Energética é motivar a mudança nas práticas construtivas da Europa de forma a que chegue mais informação ao consumidor final e que este tenha um maior poder de escolha. Com a obrigatoriedade da aplicação da Certificação Energética nos países pertencentes à Comunidade Europeia, espera-se que haja uma melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições climáticas externas e locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade económica.

Através Diretiva 2002/91/CE são estabelecidos requisitos nas seguintes matérias:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação Energética dos edifícios;

- Inspeção regular de caldeiras e de instalações de ar condicionado nos edifícios.

Sobre o enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios é importante fazer referência à ISO 13790:2008 “*Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*”. Este conjunto de normas de padronização fornece métodos de cálculo para a avaliação da energia anual usada para o aquecimento e arrefecimento de edifícios, residenciais ou não, ou compartimentos destes. Esta norma inclui os seguintes cálculos:

- transferência de calor por transmissão e ventilação da zona do edifício quando aquecida ou arrefecida para uma temperatura interna constante;
- contribuição dos ganhos de calor internos e solares para o equilíbrio térmico do edifício;
- necessidades anuais de energia para aquecimento e arrefecimento, para manter as temperaturas nominais especificadas do edifício - calor latente não incluídas;
- energia anual usada para aquecimento e arrefecimento do edifício.

Com a transposição da Diretiva 2002/91/CE torna-se possível comparar o desempenho energético de edifícios em diferentes países da Comissão Europeia, com base em parâmetros mutuamente estabelecidos.

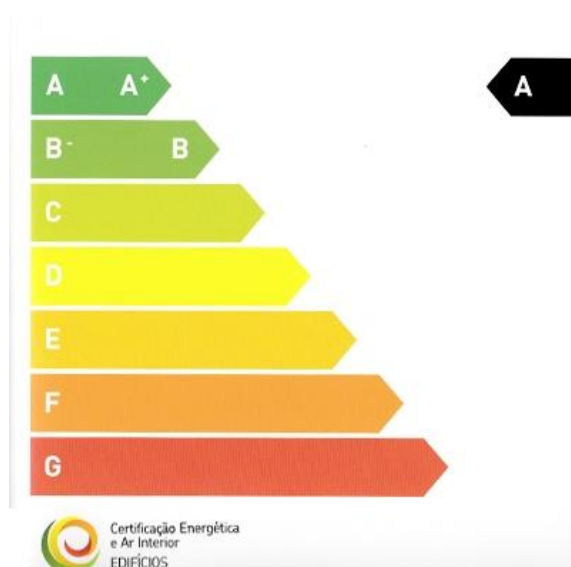


Figura 4.3 – Classe Energética (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

No Quadro 4.6 ilustra-se em que casos se aplica a obrigatoriedade do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). O certificado energético deve ser apresentado pelo proprietário ao potencial comprador, locatário ou arrendatário, aquando da celebração de contractos de venda e/ou de locação, incluindo o arrendamento.

Quadro 4.6 – Obrigatoriedade da aplicação do SCE

Data de Início	Aplicado a	Fase de apresentação
1 de Julho de 2007	Todos os edifícios novos de habitação ou serviços e grandes reabilitações com áreas superiores a 1000 m ²	Ato dos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação
1 de Julho de 2008	Todos os edifícios novos de habitação ou serviços e grandes reabilitações independentemente da sua área ou finalidade	Ato dos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação
1 de Janeiro de 2009	Todos os edifícios no ato da celebração de contractos de venda e de locação e edifícios de serviços existentes sujeitos periodicamente a auditorias conforme especificado no RSECE	-
A partir de 2009	Todas as frações autónomas no âmbito do SCE	-

A partir de 2009 a certificação energética passou a representar duas funções distintas. A primeira foi certificar e classificar o desempenho energético da fração autónoma e a segunda foi identificar medidas que, ao serem implementadas, permitem melhorar esse desempenho energético.

Usar a certificação energética como ferramenta de verificação e de definição das medidas que otimizam o desempenho energético dos edifícios é uma forma de contribuir para a qualificação do meio edificado.

Para além do DL78/06 “Criação de Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios”, a transposição da Diretiva da Certificação Energética para Portugal há ainda mais dois diplomas que contemplam alterações legislativas importantes com implicações nas práticas comuns de projetar e de construir edifícios. O DL79/2006 “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE)”, aplica-se a grandes edifícios de serviços ou a pequenos edifícios de serviços ou habitação que disponham de sistemas de climatização superior a 25kW de potência instaladas. O DL80/2006 “Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)”, aplica-se a edifícios de habitação ou a pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, ou com sistemas de potência instalada inferiores a 25kW.

5 MEDIDAS A IMPLEMENTAR PARA TORNAR O SETOR MAIS SUSTENTÁVEL

5.1 Normas e conceitos

5.1.1 Norma *Passive House*

O conceito *Passive House* é um conceito construtivo que define um padrão eficiente, sob o ponto de vista energético, confortável, economicamente acessível e sustentável. Um edifício que esteja de acordo com a norma *Passive House*, pode atingir poupanças energéticas na ordem dos 75% (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).

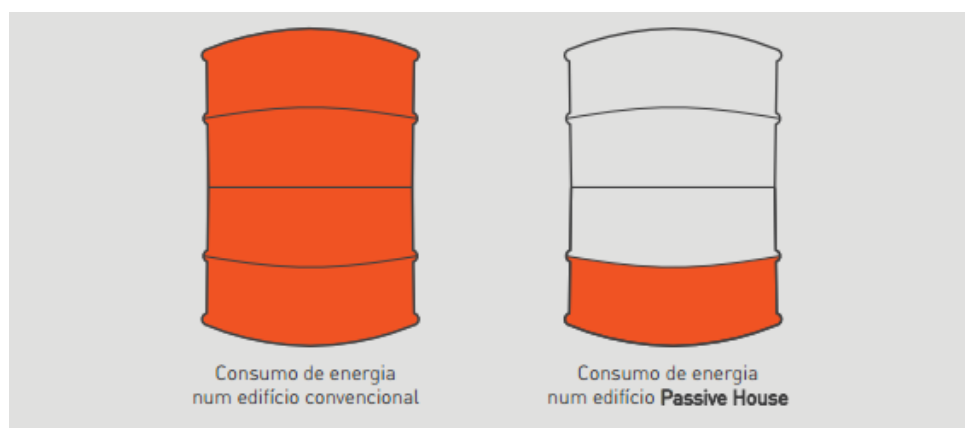


Figura 5.1 - Poupança de energia edifício convencional vs. edifício *Passive House* (<http://www.homegrid.pt/>, 2013)

A prova, em Portugal, de que a norma *Passive House* já está consciencializada, são dois municípios, Águeda e Santarém, que estão a adotar esta norma nos regulamentos municipais, dando vantagens no IMI, redução das taxas municipais e outros benefícios a quem constrói *Passive House*. Mais uma prova de que a construção sustentável é o caminho a seguir e que não faz só diferença a nível ambiental, mas também económico (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).

Num edifício que se adapte, o conforto e a produtividade estão intimamente associados à oportunidade de interagir com o edifício. Isto é, proteções solares eficientes, uma melhor proporção entre fachadas opacas e transparentes, ajustes ao longo do dia para evitar a incidência direta do sol, uso de massa térmica para arrefecimento passivo, ventilação controlada e, consequentemente, custos de operação mais baixos (Gonçalves e Duarte, 2006).

O conceito de *Passive House* apresenta-se como um potenciador de bem-estar dos utilizadores uma vez que a temperatura não apresenta grandes variações ao longo do ano (nunca é inferior a 20°C e nunca ultrapassa os 26°C) e tem uma boa qualidade do ar interior (humidade relativa e CO₂). Também zela pela saúde dos utilizadores uma vez que garante o controlo dos níveis de radão, um gás radioativo que tem origem nas rochas e solos e que, conseqüentemente passa para os materiais de construção, no ambiente interior. Economicamente, também é um conceito apelativo, já que o acréscimo do custo de construção em média não ultrapassa os cinco por cento em relação à construção convencional e no que toca ao custo de manutenção apresenta-se substancialmente mais baixo, já que requer quantidades reduzidas de energia, o que reduz também as emissões de CO₂. Todos estes pontos positivos, tornam a aplicação da norma *Passive House* na reabilitação do parque edificado possível e desejável (<http://www.homegrid.pt/>, 2013).

Mas não é qualquer edifício que pode ser considerado abrangido pela norma *Passive House*. Há alguns requisitos a cumprir (<http://www.diarioimobiliario.pt>, 2013).

- As necessidades de aquecimento têm de ser inferiores a 15 kWh/(m²a) ou carga máxima para aquecimento inferior a 10 W/m²;
- As necessidades de arrefecimento têm de ser inferiores a 15 kWh/(m²a) ou carga máxima para arrefecimento inferior a 10 W/m²;
- As necessidades de energia primária têm de ser inferiores a 120 kWh/(m²a);
- Tem de ser estanque ao ar – verificada através do *blower door test* com um resultado inferior a 0,6 renovações por hora;
- A temperatura interior mínima deve ser de 20°C e máxima de 26°C;
- Não pode ocorrer um excesso de temperatura em mais de 10% do tempo.

Para que estes requisitos sejam cumpridos, há cinco princípios básicos que têm de ser levados em consideração, como é o caso da definição adequada de isolamento nos elementos da envolvente, a escolha apropriada de portas e janelas tendo em conta o conceito de *Passive House*, a definição de um sistema de ventilação eficiente com recuperação de calor, a garantia da estanquidade ao ar ou a garantia de que o edifício não é permeável a trocas de ar com o exterior e o cuidado com as pontes térmicas, sendo que devem ser evitadas (<http://www.diarioimobiliario.pt>, 2013).

A implementação destes princípios por forma a conseguir certificação satisfatória passa bastante por uma mudança do método de trabalho, isto é, antes de projetar seja o que for, há que pensar no todo e não na típica sectorização onde o arquiteto faz o desenho, o engenheiro faz o projeto de estruturas, etc. Tem de haver uma integração e um objetivo comum de dar “conforto” ao edifício desde o início.

Com os resultados que se têm vindo a observar devido à aplicação da norma *Passive House*, torna-se claro que estes conceitos em Portugal não só funcionam, como podem ser a solução de dificuldades que se enfrentam atualmente como é o caso a baixa qualidade do parque edificado, a dependência energética, a dificuldade de criar valor no sector da construção ou a criação de emprego. Posto isto, no início do ano de 2014, o *Passivhaus Institut* lançou um documento com dez pontos com recomendações detalhadas sobre o caminho a seguir pelos municípios e comunidades rumo à sustentabilidade. A nível mundial já vários municípios tomaram esta iniciativa e em Portugal, embora se esteja numa fase inicial de implementação do conceito a nível dos municípios, estão já dados os primeiros passos (<http://jornalarquitecturas.com/>, 2014).

5.1.2 Casa ZEB

Depois de muito se estudar sobre o conceito *Passive House*, nasce o termo “casa zero” ou “casa ZEB” (*Zero Energy Building*). A premissa é bastante simples: uma casa ZEB é um edifício sem emissões de gases poluentes que produz mais energia do que aquela que, efetivamente gasta (<http://p3.publico.pt/>, 2014).

Comparando o conceito “casa zero” com o conceito *Passive House*, a grande diferença entre ambos é que o primeiro assume como obrigatório o uso exclusivo de materiais que gerem mais energia do que aquela que requerem no seu fabrico, na construção em si e na utilização, ou seja, no fundo é a definição de “casa zero”: produzir mais energia do que a que consome (<http://p3.publico.pt/>, 2014).

Um excelente exemplo bem-sucedido da aplicação do conceito “casa zero” é um edifício com *design* do estúdio *Snøhetta* construído na Noruega (em Setembro de 2014). Este edifício foi projetado não só para produzir energia para se abastecer e compensar a energia gasta durante todo o processo construtivo, como também para conseguir alimentar um carro elétrico por um período mínimo de vinte mil quilómetros por ano (<http://p3.publico.pt/>, 2014).

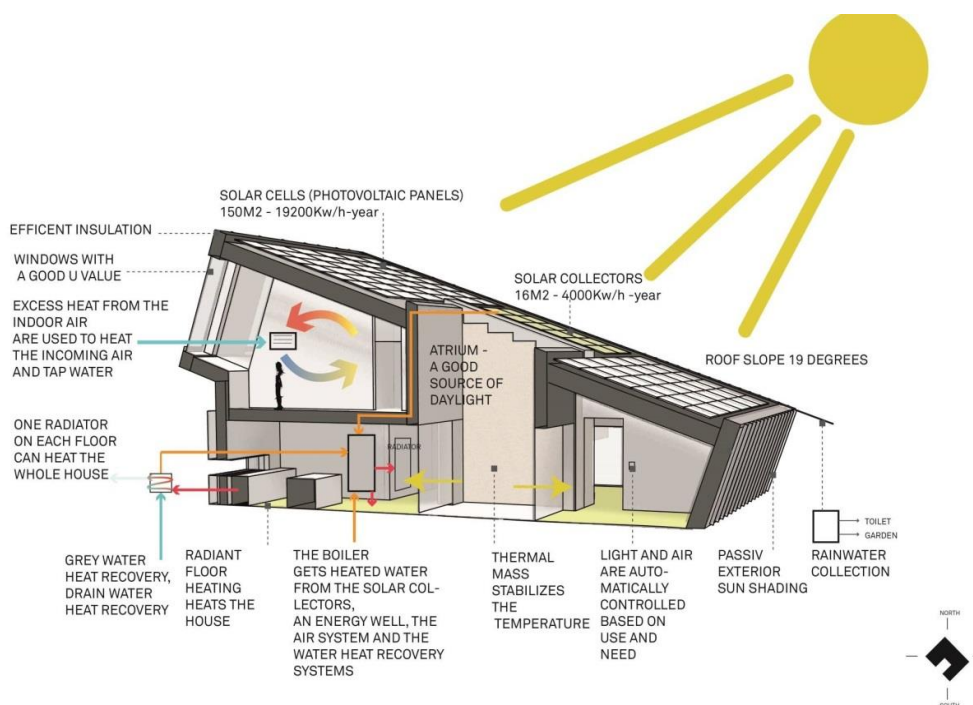


Figura 5.2 - Edifício *Snøhetta* em fase de projeto (<http://snohetta.com>, 2014)

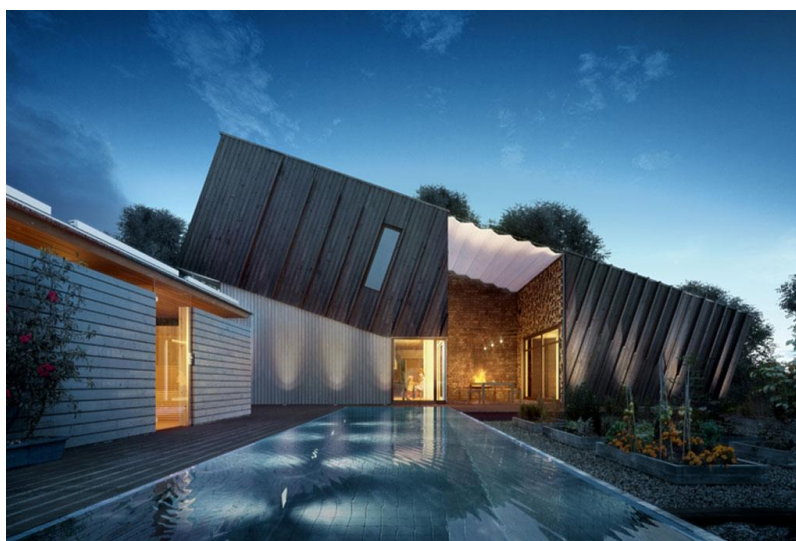


Figura 5.3 – Edifício *Snøhetta* (<http://snohetta.com>, 2014)

Construído com o objetivo principal de ser um edifício familiar, o edifício pretende funcionar também como uma plataforma de investigação para o desenvolvimento da norma ZEB. É composto por um volume inclinado revestido de metal. O telhado apresenta placas fotovoltaicas que são cruciais para alcançar os objetivos da norma. No meio do edifício existe um espaço vazio onde há um pátio, existem também vários espaços que podem ser usados durante todo o ano, árvores de fruto, uma horta e chuveiros e uma pequena piscina exterior, ambos aquecidos através de energia solar (<http://p3.publico.pt/>, 2014).



Figura 5.4 - Edifício Snøhetta (<http://snohetta.com>, 2014)

A Casa ZEB é a materialização dos ideais da sustentabilidade: um edifício autossuficiente que produz mais energia do que aquela que consome recorrendo maioritariamente a energias renováveis.

A energia solar tem um enorme peso na melhoria da eficiência energética dos edifícios na medida em que as poupanças energéticas são enormes se se recorrer à energia solar quer através de medidas passivas, quer através de medidas ativas.

A energia geotérmica é obtida a partir do calor proveniente do interior da Terra e pode considerar-se que a divulgação dos benefícios desta fonte de energia é mínima considerando os impactos económicos e ambientais que pode ter. Ao nível da própria central de energia geotérmica as vantagens residem no facto de não ser necessária uma grande área de instalações para a obtenção de energia o que, conseqüentemente, faz com que não seja necessária a destruição de habitats e paisagem natural. Este tipo de energia é limpo, já que não consome combustíveis fósseis e por isso as emissões de gases poluentes para a atmosfera são também reduzidas. A poupança de energia proveniente de combustíveis fósseis é enormíssima, já que um poço de energia geotérmica obtém mais energia do que dez poços de petróleo. No entanto, há uma parte menos boa associada a este tipo de energia que aqui é o elevado custo inicial e o elevado custo de manutenção. Portanto, recorrer a energia geotérmica traduz-se como sustentável apenas em zonas que apresentem elevado potencial geotérmico, caso contrário os períodos de retorno do elevado investimento inicial ficarão comprometidos.

A energia eólica é a energia obtida pela ação do vento, ou seja, através da utilização da energia cinética gerada pelas correntes aéreas. Igualmente ao que se passa na obtenção de energia pela geotermia, também na energia eólica não há consumo de energias fósseis nem libertação de

gases para a atmosfera, por isso, a nível ambiental e económico torna-se uma fonte de energia sustentável e apelativa. Ao nível dos parques eólicos, a grande vantagem é que estes são compatíveis com outros usos do solo, como por exemplo a agricultura e a criação de gado, mantendo-se a harmonia ambiental. Contrariamente às centrais de energia geotérmica, os parques eólicos não requerem elevados custos de manutenção e mesmo o custo de investimento tem um período de retorno do fabrico, instalação e manutenção de cerca de seis meses. A desvantagem que mais impacto tem nesta forma de produção de energia é que se não houver vento é difícil obtê-la. Também é importante contabilizar o impacto negativo que as centrais eólicas têm no conforto sonoro das habitações mais próximas, na paisagem e no comportamento das aves. Para manter a sustentabilidade desta forma de obtenção de energia é importante conhecer as características da localidade em questão para que se possa tirar o melhor proveito dos parques eólicos sem prejudicar o ambiente em redor.

Anteriormente, expôs-se já a importância de uma escolha adequada das lâmpadas a usar nos edifícios, no entanto, paralelamente à escolha das lâmpadas a usar, pode ainda acrescentar-se, a um nível mais industrial e de serviços públicos, a importância do uso de sensores de movimento. Com recurso a este tipo de ativação das fontes luminosas principalmente nos edifícios de uso público, a poupança que se pode obter é bastante significativa e o período de retorno do investimento é bastante reduzido.

É ao nível da energia que mais se pode intervir para obter poupanças enormes a nível económico e melhorias consideráveis a nível ambiental.

O abastecimento de água é uma outra vertente de projeto onde se pode intervir em prol da poupança deste recurso e do aumento do grau de sustentabilidade dos edifícios.

A ação da poupança ao nível dos dispositivos foi já abordada em capítulos anteriores.

A utilização da água das chuvas ainda não foi abordada ao longo deste trabalho, mas é um tópico que faz todo o sentido depois de se ter interiorizado o conceito “casa ZEB”. É uma ação bastante simples que contribui em muito na poupança de um recurso tão valioso como é a água e, conseqüentemente, também se traduz numa poupança a nível económico. A água das chuvas não é potável, no entanto uma grande percentagem das atividades domésticas desenvolvidas numa habitação não requer água potável, como é o caso das lavagens de máquinas e equipamentos e regas, por exemplo. Se se levar esta forma de obtenção de água para um nível mais industrial e se pensar nas regas na agricultura, é imediata a perceção da enormíssima poupança deste recurso.

A utilização da água das chuvas é feita através de um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) que tem como objetivo a recolha dessa água e o seu armazenamento para

posterior utilização, diminuindo os consumos de água da rede pública. Os SAAP têm um funcionamento relativamente simples onde, com reservatórios estrategicamente posicionados, a água das chuvas é armazenada até ao nível máximo destes e posteriormente utilizada. Quando o nível máximo de armazenamento dos reservatórios é ultrapassado, a água é conduzida a um sistema de drenagem pluvial, sendo desta forma desperdiçada.

Também ao nível do abastecimento de água faz todo o sentido em falar nos sensores de movimento que se encontram na maior parte dos edifícios de uso público e industrial.

Uma outra vertente de projeto importante a ter em consideração na conceção de edifícios mais sustentáveis é a reutilização das águas cinzentas dos esgotos.

As chamadas águas cinzentas dos esgotos são as águas residuais domésticas que não provêm das sanitas. Uma das formas mais promissoras para reutilização de águas cinzentas ao nível habitacional é usá-las para a lavagem de sanitas. Este processo pode ser feito através de um reservatório incorporado nas banheiras (ou nas próprias sanitas) onde a água do duche fica armazenada e pronta a ser encaminhada para a sanita aquando das descargas e/ou de um reservatório incorporado no lavatório que funcionará de maneira semelhante (Verdade, 2008).

Se se quiser levar a reutilização das águas cinzentas um pouco mais além também é possível, recorrendo a tratamentos dessa mesma água, usá-las para regas e lavagens de espaços e equipamentos.

Quer se recorra a esta reutilização para qualquer um dos dois propósitos apresentados, a poupança económica é notória com períodos de retorno curtos e a nível ambiental as melhorias são significativas.

A água residual tratada não pode ser vista como um resíduo, mas sim como um recurso potencial, que pode ser utilizado, com grandes benefícios económicos e ambientais. A substituição de água potável por água já utilizada, ajudará a manter a sustentabilidade deste precioso recurso.

5.1.3 LiderA

O LiderA, acrónimo de Liderar pelo Ambiente, designa um sistema de avaliação e reconhecimento voluntário da construção sustentável e do ambiente construído, que está disponível em sistema voluntário. Este sistema foi desenvolvido por Manuel Duarte Pinheiro, Engenheiro do Ambiente, docente convidado do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico e Diretor do IPA – Inovação e Projetos em Ambiente. O sistema LiderA surge como resultado dos trabalhos de investigação sobre sustentabilidade na

construção e ambientes construídos efetuados desde 2000. Em 2005 foi publicado um protótipo deste sistema e foi em 2007 que ocorreram as primeiras certificações segundo a versão 1.02.

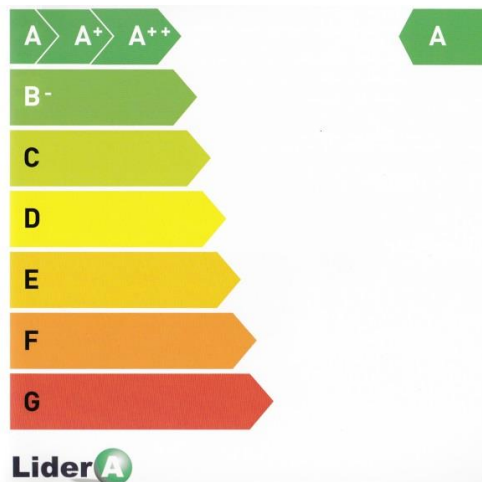


Figura 5.5 – Classes de eficiência ambiental, LiderA (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

O LiderA é o sistema de certificação ambiental adaptado ao contexto climático, económico e sociocultural de Portugal. Assenta numa base de seis princípios que permitem comparar níveis de desempenho ambiental da construção numa ótica de sustentabilidade.

Para a definição dos princípios base deste sistema foram tidas em conta a Agenda 21 e as orientações de sustentabilidade presentes no regulamento geral das edificações. Estes aplicam-se desde a fase inicial da conceção e são apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Princípios base do sistema LiderA (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

LiderA	
Princípio 1	Respeitar a dinâmica local e potenciar os impactos positivos – localizá-los – potenciando as características do solo, valorizando-os ecologicamente, ajustando-os à mobilidade, integrando-os a nível paisagístico e valorizando as amenidades;
Princípio 2	Eficiência no Consumo dos Recursos – fomentar a eficiência dos consumos de recursos, nomeadamente da água, energia e materiais;
Princípio 3	Reduzir o Impacto das Cargas (quer em valores, quer em toxicidade) – atenuando os impactos dos efluentes, emissões e resíduos;
Princípio 4	Assegurar a Qualidade do Ambiente Interior – fomentar o conforto, envolver a qualidade do ar interior, conforto térmico, acústica e iluminação;
Princípio 5	Assegurar a Qualidade do Serviço Perspetiva Ambiental – Promover a Durabilidade e a Acessibilidade, a Gestão Ambiental e a Inovação, interligando as perspetivas económicas e sociais, que, por agora, não estão explicitas no sistema;
Princípio 6	Assegurar a Gestão Ambiental e a Inovação – promover a informação ambiental, a melhoria contínua (sistema de gestão ambiental) e dar saltos qualitativos (inovação).

Estes seis princípios nos quais assenta o sistema, são traduzidos para vinte e duas áreas e cinquenta critérios, nos quais se avalia o edificado em função do seu desempenho visto através da ótica da sustentabilidade. Os diferentes valores de desempenho decorrem do nível atingido e do tipo de uso. O LiderA classifica o desempenho de A a G, sendo que o nível E representa a prática atual e o nível A, em muitos critérios, corresponde a um desempenho cerca de 50% superior ao nível E.

A certificação segundo o sistema LiderA visa apoiar os construtores, projetistas, gestores e promotores na implementação das soluções de melhor desempenho ambiental visto que, os empreendimentos devem adotar soluções que tenham um desempenho ambiental superior à prática existente e dispor de meios para os atingir. Após a validação pela equipa de verificadores do LiderA, atribui-se a certificação aos empreendimentos construídos sempre que obtenham valores de desempenho nos critérios superiores ao nível C.

5.2 Medidas a implementar na construção nova

Para otimizar o desempenho energético dos edifícios, o primeiro passo é a redução das necessidades energéticas dos mesmos, sem que isso comprometa a qualidade de vida dos utilizadores.

No contexto climático de Portugal é possível, recorrendo ao uso das melhores técnicas passivas e ativas, atingir-se um equilíbrio entre o edifício e o clima, proporcionando um elevado grau de conforto interior sem que seja necessário depender-se de sistemas energéticos. Recorrer-se a estas tecnologias é economicamente viável e é extremamente importante implementá-las quer em edifícios novos, quer em edifícios reabilitados.

As medidas passivas tornam-se as mais importantes na medida em que contribuem de uma forma mais acentuada para a diminuição das necessidades energéticas ao longo da vida do edifício, no entanto, as medidas ativas são também bastante pertinentes, contribuindo também para essa diminuição com a diferença de que a sua operação necessita de manutenção, o que ao longo da vida do edifício, implica um custo.

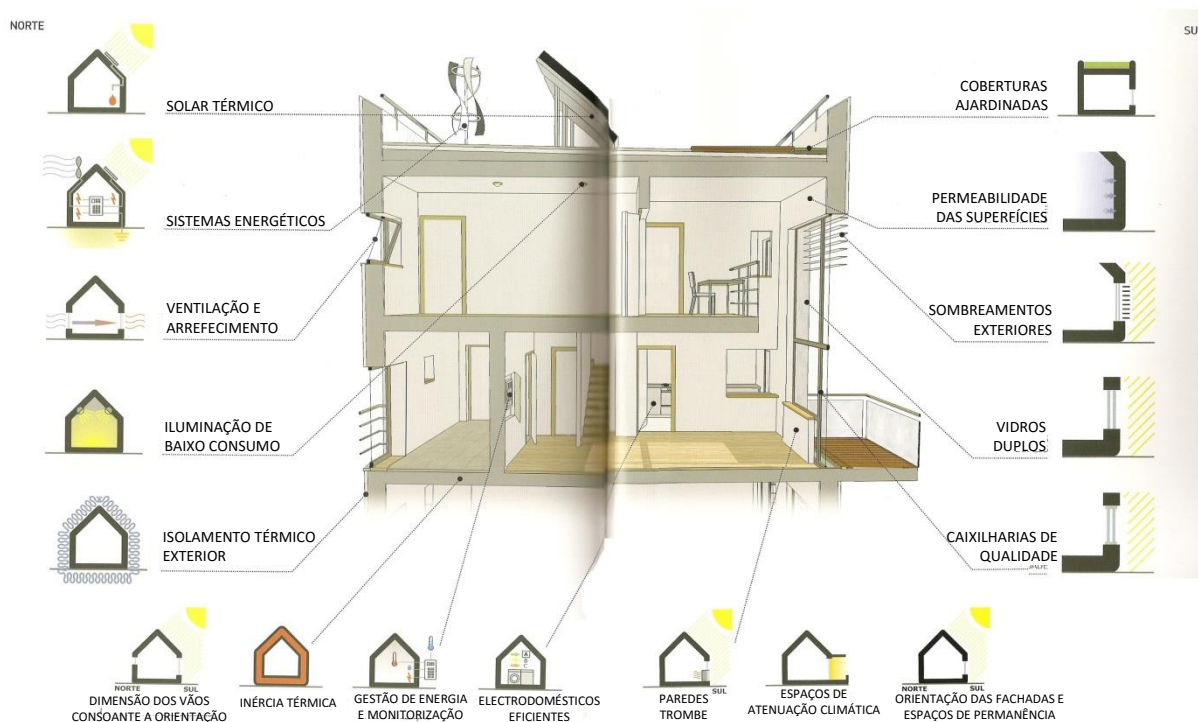


Figura 5.6 – Medidas a implementar para uma construção mais sustentável (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

5.2.1 Orientação das fachadas principais e dos espaços de permanência

A orientação a Sul deve ser sempre privilegiada, pois deixa entrar os raios solares através das áreas envidraçadas apenas no Inverno, quando essa energia é bem-vinda, sem em nada influenciar os custos de construção. Assim, é esta orientação que otimiza os ganhos solares ao longo de todo o ano e, sem qualquer intervenção dos utilizadores, os edifícios orientados a sul são mais confortáveis com menores necessidades energéticas.

No entanto, se uma das fachadas do edifício está orientada a Sul, é certo que haverá uma orientada a Norte, portanto, é importante que na fase de conceção se criem tipologias tais que se consiga tirar partido de ambas as orientações solares. Habitações apenas com orientação a norte devem ser de todo evitadas pois poderão não satisfazer o direito a horas de sol dentro de casa, que é um direito comum a todos (Tirone e Nunes, 2008).

Nos edifícios orientados a Nascente e a Poente, o Sol nasce e põe-se sempre baixo ao longo de todo o ano, o que faz com que a distinção entre Verão e Inverno não seja tão marcada como nos edifícios orientados a Sul. Os raios solares provenientes destas orientações são mais intensos precisamente no Verão, quando não são desejados, portanto, é importante nestes casos instalar sistemas de sombreamento exterior para controlar ou eliminar a sua penetração. Caso seja imperativo existirem fachas orientadas a Poente, no clima de Portugal, o aconselhável é que estas tenham vãos pequenos (Tirone e Nunes, 2008).

5.2.1.1 Eliminação de sombras permanentes projetadas sobre as fachadas a Sul

Cada edifício tem uma sombra permanente que pode ser perfeitamente calculada e prevista em função do volume do edifício e movimento do Sol. Durante a fase do planeamento urbano deve ser considerada uma distância correta entre edifícios, pois é essa distância que dita se haverá sombras permanentes projetadas sobre as fachadas de outros edifícios ou não. Deve então ser adotada uma distância tal, que sejam eliminadas as sombras projetadas das fachadas de edifícios de habitação orientados especialmente a Sul, principalmente durante o Inverno. Este caso de edifícios de habitação orientados a Sul toma uma maior importância no âmbito de evitar as sombras projetadas pois caso estas se verifiquem, os benefícios desta orientação serão por completo anulados.

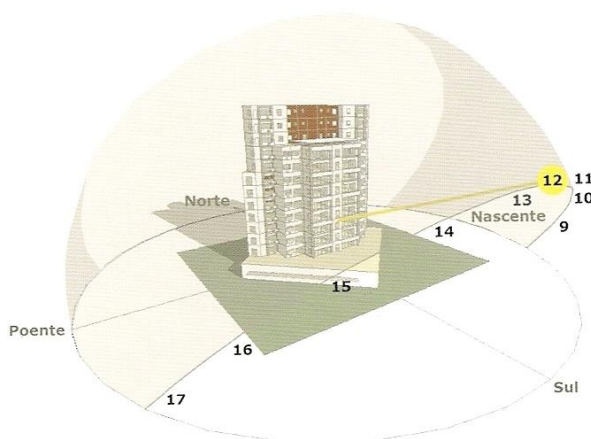


Figura 5.7 – Simulação do meio-dia solar (aprox. 28°) no Solstício de Inverno (21 de Dezembro) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

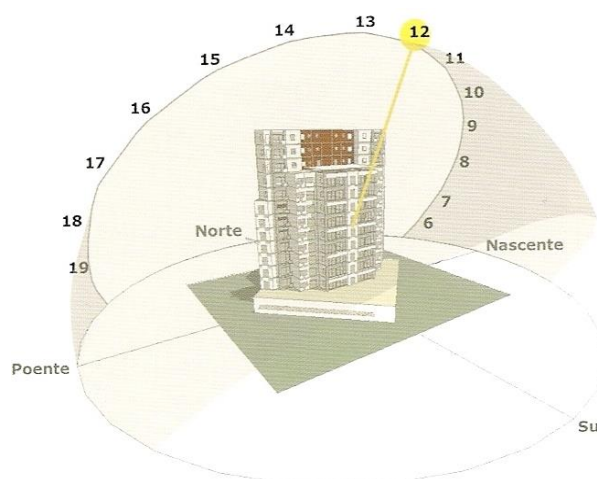


Figura 5.8 – Simulação do meio-dia solar (aprox. 75°) no Solstício de Verão (21 de Junho) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

Para se prever a sombra permanente dos edifícios é necessário considerar o ângulo solar (em Portugal, a 21 de Dezembro, é em média 28°) e a altura do chão a partir da qual existem vãos em habitações que não se pretendem sombrear. Estes parâmetros dão origem a uma fórmula para edifícios de habitação, que permite melhorar o desempenho energético-ambiental sem aumentar os custos de construção e que deve ser tomada em consideração na fase dos planos de urbanização e nos projetos de loteamento.

$$H = 0.6 * d + h \quad 5.1$$

onde,

H – Altura do edifício que sombreia;

d – Distância entre edifícios;

h – Altura do piso 0 do edifício sombreado (medida entre a cota de soleira e o pavimento do piso 1).

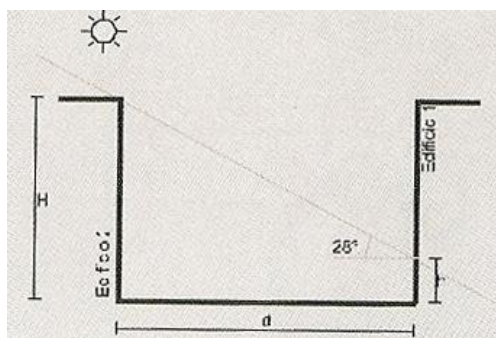


Figura 5.9 – Esquemática da sombra permanente dos edifícios (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

5.2.1.2 Introdução de sombras sazonais sobre fachadas orientadas a Sul

Como se tem vindo a salientar ao longo deste trabalho, é de facto importante criar uma harmonia entre os diversos profissionais no sector da construção, só assim se chegará a um produto final cada vez mais perto da perfeição em termos de consumos energéticos. Também neste capítulo essa harmonia é evidenciada.

Contrariamente à estação fria, no Verão torna-se muito favorável a existência de sombras, em especial quando existem espaços de lazer e de estar no exterior contíguos à fachada orientada a Sul. Assim sendo, a maneira mais sustentável de se conseguir um sombreamento apenas no Verão, é recorrer-se a árvores, arbustos e trepadeiras de folha caduca que criem essas sombras apenas quando desejáveis. É então aqui que se torna crucial envolver o Arquiteto Paisagista com todo o projeto de forma a que este consiga determinar quais as espécies mais adequadas às necessidades de cada edifício e também a criar uma boa relação entre a envolvente do edifício com a natureza, aproveitando todas as mais valias que daí advêm.

5.2.1.3 Dogmas antigos vs. soluções modernas

É certo que todo o conceito de sustentabilidade começou a ganhar forma a partir da década de oitenta, tendo ganho um destaque considerável na última década devido à crise económica que toda a Europa atravessa. No entanto, já antes disso se construía e essa construção seguia normas e regulamentos, documentos esses que, quer por teimosia, quer por distração, nunca foram revistos da melhor maneira. A velha regra do atual Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), obriga a um distanciamento de 45° entre edifícios, sem qualquer referência à orientação solar. Esta imposição impossibilita a criação de espaços mais protegidos da radiação solar (importantes em climas em que há necessidade de proteger do calor) e a eliminação de sombras projetadas em alçados orientados a Sul de edifícios de habitação.

5.2.2 Proporção adequada das áreas envidraçadas, tendo a consideração a orientação solar

São as áreas envidraçadas que deixam entrar a energia proveniente dos raios solares nas habitações. É também através dessas mesmas áreas que a energia mais facilmente se pode dissipar, como tal, é pertinente ter uma proporção adequada dessas. Essa proporção terá em conta o percurso do Sol ao longo de todo o ano, determinando a capacidade de penetração dos raios solares e respetiva captação do seu calor para os espaços interiores. Esta absorção do calor do meio exterior por parte das áreas envidraçadas para o seu interior, transforma-se no principal contributo para o conforto dos espaços interiores, bem como um dos principais responsáveis para a diminuição da fatura energética.

Para que se alcancem condições de conforto interior ideais, é necessário haver um equilíbrio entre áreas envidraçadas e áreas opacas. As áreas envidraçadas são aquelas que estão mais diretamente ligadas ao clima em que a habitação está inserida, ou seja, perto delas, sente-se instantaneamente os efeitos das temperaturas exteriores. O equilíbrio entre áreas envidraçadas e áreas opacas é importante porque estas últimas, devido à sua estabilidade, atenuam o impacto das incidências extremas do clima.

A qualidade e o desempenho das áreas envidraçadas tem um grande peso no cumprimento dos novos regulamentos e são cruciais para se alcançar uma certificação energética Classe A.

5.2.2.1 Vãos envidraçados orientados a Sul

Enquanto o projeto está em fase de conceção, é de todo favorável que se maximizem os vãos envidraçados nas fachadas orientadas a Sul e se minimizem os mesmos nas fachadas orientadas a Norte. Uma fachada orientada a Sul, permite que os seus vãos recebam os raios solares durante os meses em que o Sol está mais baixo (Inverno – quando são desejáveis) e elimina a entrada dos mesmos durante os meses em que o Sol está mais alto (Verão – quando são indesejáveis).

É importante não esquecer que nos vãos orientados a Sul são necessários dispositivos de sombreamento exterior que permitam controlar a luminosidade e os raios solares que penetram na habitação, sem causar a perda da vista ou a liberdade de ventilar.

5.2.2.2 Vãos envidraçados orientados a Nascente e a Poente

Como já se falou aquando da orientação das fachadas principais, nas fachadas orientadas a Nascente e a Poente não há uma grande distinção do ângulo solar que permita controlar passivamente o conforto térmico durante todo o ano. Sobretudo na orientação a Poente, durante os meses mais quentes, os vãos envidraçados precisam de bastante sombreamento exterior que garanta que não seja absorvido mais calor depois de se ter saturado a capacidade máxima de absorção e acumulação da massa térmica do edifício. Posto isto, é importante que o dimensionamento dos vãos orientados a Poente seja o mais conservador (Tirone e Nunes, 2008).

5.2.2.3 Vãos envidraçados orientados a Norte

Nas fachadas orientadas a Norte, os vãos envidraçados têm apenas perdas energéticas, portanto, terão um peso importante no balanço energético do edifício. Ainda assim, existem algumas razões que, em determinados casos, poderão levar a um interesse em aumentar as áreas envidraçadas orientadas a Norte. São os envidraçados com esta orientação que permitem uma boa ventilação do edifício, bem como a capacidade de absorver iluminação natural difusa ao invés de iluminação solar direta (característica de outras orientações). O aumento das áreas envidraçadas orientadas a Norte pode ainda ser justificado com a procura de uma vista privilegiada. Seja qual for a justificação para aumentar os envidraçados a Norte, é sempre essencial reavaliar o equilíbrio global do edifício do ponto de vista de ganhos e perdas energéticas e, em alguns casos, complementá-lo com o aumento dos envidraçados a Sul.

5.2.2.4 Vãos envidraçados zenitais – claraboias

Em Portugal, os raios solares são muito intensos na maioria dos dias do ano, o que torna o uso das claraboias arriscado. Estes vãos aproximam-se muito do plano horizontal, oferecem uma iluminação bem-vinda nos dias de Inverno, contudo, no Verão, podem resultar num sobreaquecimento por consequência do efeito de estufa.

O sobreaquecimento é o principal risco das claraboias que deve ser combatido através da ventilação natural que estas devem permitir, da qualidade do vidro duplo aplicado e também através de sistemas eficazes de sombreamento exteriores. Sempre que forem tidas em consideração as medidas para eliminar o risco das claraboias, estas têm um papel enriquecedor para a qualidade de iluminação do espaço que adornam (Tirone e Nunes, 2008).

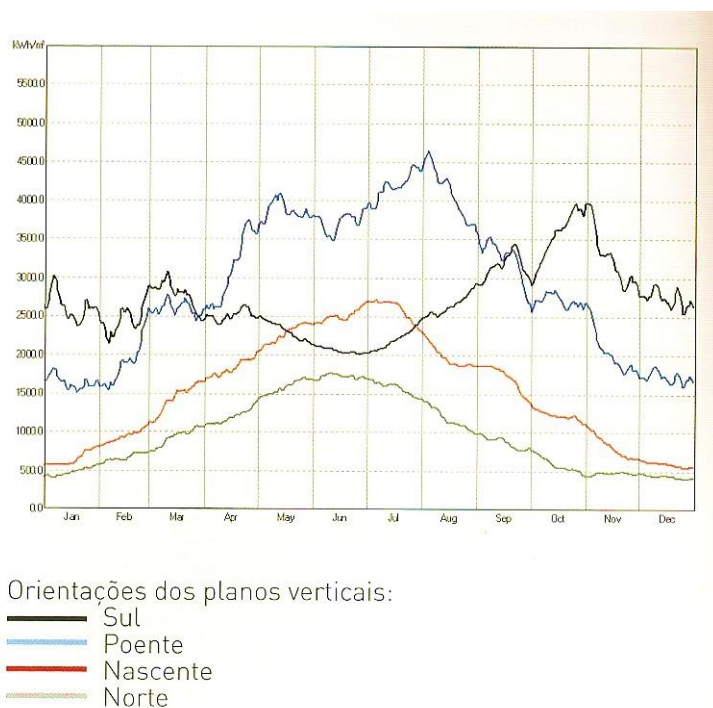


Figura 5.10 – Incidência média anual da radiação solar em 1m² de plano vertical para a região de Lisboa (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

As duas últimas temáticas aqui abordadas, orientação solar das fachadas e área de envidraçados, complementadas com a temática dos sombreamentos exteriores abordada mais adiante, mostram que a arquitetura é muito do que é necessário para se atingir uma construção sustentável e é através dela que é possível satisfazer os princípios essenciais da sustentabilidade.

Em Portugal, o peso da arquitetura na conceção é ainda mais evidenciado pelo fato de a legislação atual, nomeadamente a Lei n.º40/2015 de 1 de junho, permitir apenas aos arquitetos (e não também aos engenheiros como anteriormente a esta lei) a função de assinar projetos de arquitetura. Deste modo, se um projeto de arquitetura não contemplar de forma ideal a orientação solar das fachadas, a proporção da área de envidraçados das mesmas e os sombreamentos exteriores, a sustentabilidade do edifício ficará, em muito, comprometida.

No entanto, não é pelo enorme peso da arquitetura que a engenharia perde destaque num projeto sustentável, pelo contrário. O projeto de estruturas também muito contribui para a sustentabilidade de um edifício.

Como já se viu em capítulos anteriores, é fundamental perceber-se em que contextos é mais sustentável recorrer-se a estruturas metálicas ou a estruturas de betão armado. Esta decisão em muito contribui para o grau de sustentabilidade de uma obra.

Também como já visto anteriormente, nos casos em que uma estrutura de betão armado se traduz como mais sustentável (como é na maioria dos casos em Portugal), pode atingir-se uma solução final cada vez melhor ao nível da sustentabilidade, quanto mais resíduos de construção se conseguir incorporar sem comprometer a qualidade final da obra.

Os resíduos provenientes do setor da construção civil representam uma enorme percentagem na geração de resíduos a um nível mais geral. Esses resíduos, denominados de resíduos de construção e demolição (RCD), resultam da atividade de nova construção, reabilitação e demolição de edifícios, obras públicas e outras estruturas.

Em Portugal, o regime jurídico de gestão de resíduos foi pela primeira vez aprovado em 1985, no entanto, a legislação para a regulamentação do fluxo de RCD apenas foi aprovada em 2008. Através do Decreto-lei nº 46/2008 é exigido que se estime não só a quantidade de resíduos produzidos no global da obra, mas também a quantidade dividida por fluxo específico de resíduos, identificando-os segundo o código da Lista Europeia de Resíduos (LER) (Mália et al., 2011).

No entanto, não é por se ter estudado e trabalho em prol da implementação de leis que visam a reciclagem e reutilização de resíduos provenientes da construção que se verifica essa ação. É crucial implementar uma taxa elevada de deposição de RCD em aterro. Em Portugal, a taxa que atualmente é praticada não promove a reciclagem de RCD, já que se torna mais rentável a sua deposição do que a sua reciclagem (Mália et al., 2011).

Muitos dos estudos já realizados ao nível da reciclagem de resíduos de construção provam que cerca de oitenta por cento do total de RCD é composto por resíduos de betão armado e materiais cerâmicos (Mália et al., 2011), portanto, incorporar estes resíduos em obra é fundamental para avançar de encontro aos ideais da sustentabilidade. Um exemplo da incorporação de resíduos de betão armado na construção é a casa *Sawmill House*, na Austrália. Aqui foram elaborados blocos de betão como subproduto dos RCD que foram incorporados na casa de forma harmoniosa e atrativa como mostram as figuras seguintes.



Figura 5.11 – *Sawmill House*, Austrália (de <http://divisare.com/projects/296660-ben-hosking-archier-sawmill-house>)



Figura 5.12 – Pormenor de *Sawmill House*, Austrália (de <http://divisare.com/projects/296660-ben-hosking-archier-sawmill-house>)

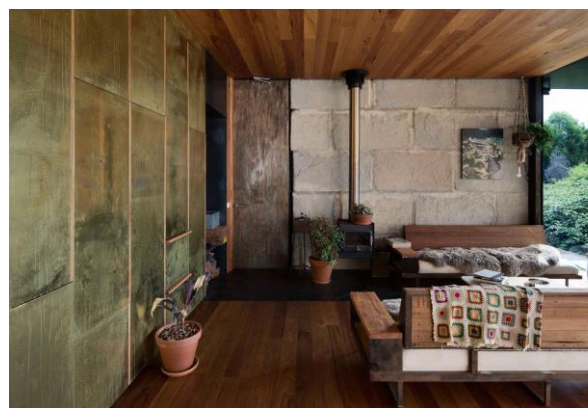


Figura 5.13 – Sala da *Sawmill House*, Austrália (de <http://divisare.com/projects/296660-ben-hosking-archier-sawmill-house>)

5.2.3 Caixilharias de qualidade

Se as áreas envidraçadas e as áreas opacas têm a importância que têm no conforto térmico interior de uma habitação, é fácil de compreender que as caixilharias, elementos que fazem a transição entre as duas componentes anteriormente referidas, terão também um enorme peso nessa temática.

Embora representem uma pequena proporção, as funções da caixilharia são de extrema importância para o edifício. A caixilharia suporta os painéis de vidro duplo que fazem parte da área envidraçada qualquer que seja a posição dos mesmos, garante a estanquicidade dos espaços interiores e com os seus elementos rígidos absorve os movimentos díspares (a força do vento, por exemplo), contribuindo assim para uma otimização do desempenho energético-ambiental do edifício.

Analogamente à evolução tecnológica das características técnicas dos vidros, também as caixilharias, durante a última década, sentiram uma grande evolução. A mais positiva de todas é a evolução tecnológica da estanquicidade, pois permite controlar de forma eficaz o intercâmbio de calor e frio entre o interior e o exterior. Dado o elevado patamar de qualidade que se atingiu na estanquicidade das caixilharias, é necessário definir uma estratégia que garanta uma ventilação natural que satisfaça as renovações de ar necessárias para a salubridade do ar interior. Essas renovações podem ser conseguidas por ventilação natural e, quando esta não é desejada, por grelhas de ventilação (incorporadas no vão envidraçado) e/ou de uma ventilação mecânica adequada.

Características a ter em consideração na especificação da caixilharia (Tirone e Nunes, 2008):

- O grau de estanquicidade da caixilharia que obriga a garantir renovações de ar por outra via;
- O material que constitui o caixilho deve ser tão reciclável quanto possível – devendo ser privilegiados os acabamentos mais fáceis de reciclar, como é o caso do alumínio anodizado, face ao termolacado;
- O material que constitui o caixilho deve ter sido, em parte, reciclado – no caso do alumínio, designa-se por alumínio secundário. A proporção do material reciclado incorporado será indicada pelo fornecedor e deverá ser superior a 50%. É também interessante ser informado, por parte do fornecedor, qual a proporção de material reciclado proveniente de prévias aplicações (pelo menos 40% ser alumínio proveniente de demolições) e qual a proporção proveniente do processo de fabrico (até 60% podem ser desperdícios de fabrico).

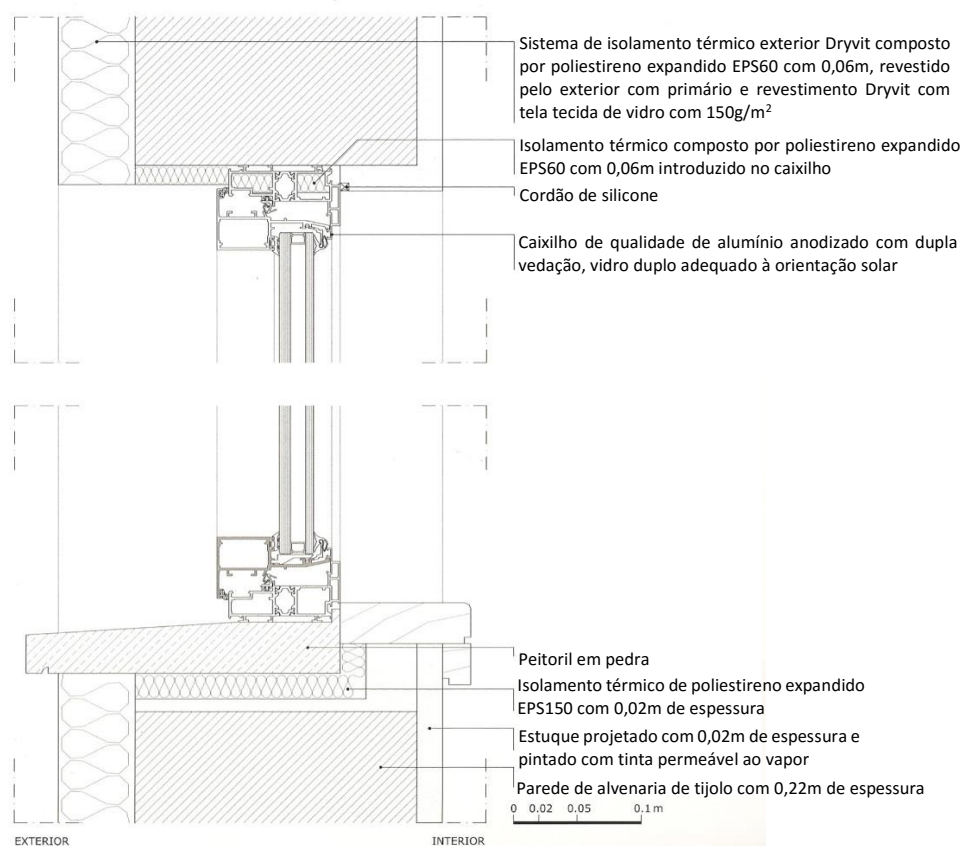


Figura 5.14 – Exemplo de janela de qualidade (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

5.2.3.1 Características a ter em consideração na especificação das ferragens

Anteriormente, já foi mencionada a importância de satisfazer um número de renovações do ar interior que garanta uma boa salubridade do mesmo. Com as caixilharias mais estanques, torna-se necessário investir em ferragens oscilo-basculantes em, pelo menos, uma janela de cada compartimento. Assim, a ventilação está assegurada sem comprometer a segurança do espaço, mesmo quando este se encontra sem utilizadores.

As janelas de correr, devido a metade delas “desaparecer” para o lado que corre, têm a vantagem de proporcionar uma relação entre o interior e o exterior mais íntima. Também para este tipo de janelas, hoje em dia, existem já ferragens que permitem o movimento basculante para ventilação (Tirone e Nunes, 2008).

5.2.4 Vidros duplos de qualidade

O desenvolvimento tecnológico que se tem vindo a verificar nos vidros duplos, vem permitir que se possam aumentar as áreas dos vãos envidraçados em prol de uma melhor luminosidade dos espaços interiores, sem comprometer o desempenho energético da habitação. Todos estes

avanços conferem aos vidros duplos qualidades que, em determinados casos, geram sistemas envidraçados que atingem um grau de desempenho energético similar ao de uma parede maciça.

Para que se possa tirar o máximo partido das qualidades dos vidros duplos no balanço energético de uma habitação, é importante haver um equilíbrio entre as áreas envidraçadas e as áreas opacas – paredes cuja inércia térmica armazena a temperatura média do clima. É importante que os materiais pesados no interior da habitação tenham capacidade para absorver uma grande parte do calor que penetra através dos vãos envidraçados, motivo pelo qual o fator solar quantifica o calor da radiação solar que atravessa para o interior dos vidros e deve ser definido consoante a inércia térmica disponível.

Um fator relevante que define a qualidade dos vidros é o coeficiente de transmissão térmica, U . Este fator transmite a capacidade de isolamento térmico do vidro, ou seja, quanto menor for o coeficiente U , maior é o nível de isolamento proporcionado pelo vidro.

Sobretudo nos projetos ou reabilitações em que se pretende aumentar a luminosidade interior e, conseqüentemente, as áreas de envidraçados, de acordo com Tirone e Nunes (2008), é importante considerar os seguintes aspetos técnicos:

- O coeficiente de transmissão térmica do vidro, U , depende de três fatores: as características técnicas dos próprios vidros duplos, a qualidade da caixilharia e o grau de proteção oferecido pelos sistemas de sombreamento exterior. Estes fatores devem conseguir reduzir as perdas térmicas do interior para o exterior, para que sejam criadas condições de conforto interior, e controlar os ganhos de calor do exterior para o interior;
- O fator solar do vidro resulta da soma do fluxo transmitidos e do fluxo irradiado pelos raios solares que incidem sobre o vão e deve ser o adequado para o contexto específico em que o vidro é aplicado;
- O coeficiente de transmissão luminosa do vidro deve ser o adequado para as atividades que se exercem no interior;
- A relação entre a transmissão luminosa e o fator solar é muito relevante sendo designada por índice de seletividade e calculada dividindo a transmissão luminosa pelo fator solar;
- As propriedades de segurança e de resistência mecânica do painel de vidro duplo, em que pelo menos um dos vidros deve resistir ao impacto mecânico do vento e precaver a intrusão ou mesmo a quebra;
- O grau de resistência à sujidade do vidro exterior, que contribui para reduzir a manutenção bem como a utilização de químicos a empregar na sua limpeza.

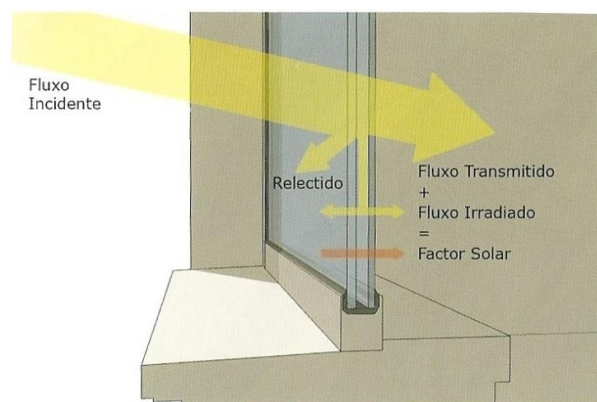


Figura 5.15 – Quanto mais próximo dos 28° (a 21 de dezembro) for o ângulo em que a radiação solar incide sobre a área envidraçada, maior será a proporção da radiação que atravessa o vidro e que entra para os espaços interiores (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

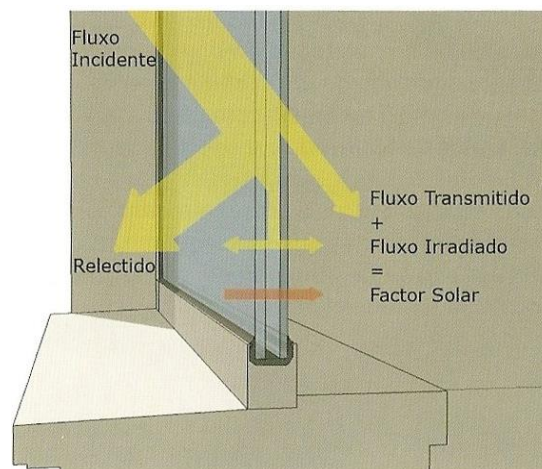


Figura 5.16 – Quanto mais próximo dos 75° (a 21 de junho) for o ângulo em que a radiação solar incide sobre a área envidraçada, maior será a proporção da radiação refletida (também pelo facto de o vidro ser mais espesso na diagonal) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

5.2.4.1 Qualidades do vidro a considerar no ato da especificação

Em alçados orientados a Norte ou permanentemente sombreados, o fator solar não é relevante, sendo importante especificar vidro com um fator U de 1,1. Em alçados orientados a Nascente, Poente e Sul, o fator U poderá ser 1,6, mas o fator solar deverá ser igual ou inferior a 0,4.

Idealmente, o índice de seletividade – relação entre a transmissão luminosa e o fator solar – deveria ser 2, o que é possível atingir com um valor de transmissão luminosa de 0,8 e um fator solar de 0,4, bem como com um valor de transmissão luminosa de 0,5 e um fator solar de 0,25.

A espessura dos vidros e da caixa-de-ar deverá ser (do exterior para o interior): vidro com 8mm, caixa-de-ar de 10mm e vidro com 6mm, assim está assegurada uma redução de 35dB de ruído do exterior para o interior (Tirone e Nunes, 2008).

Os vidros deverão ser sempre incolores para deixar passar toda a luz.

Por mais atrativas que sejam as soluções de construção maioritariamente em vidro, em Portugal, essa escolha será sempre má. Mesmo usando um vidro dotado das mais avançadas características tecnológicas, no sentido de otimizar o respetivo desempenho energético-ambiental, a mensagem estética que passa é extremamente insustentável. Como referido anteriormente, existem já soluções para áreas envidraçadas que conseguem ser tão eficazes como uma parede, no entanto, raramente são aplicadas devido ao seu elevado custo económico (Tirone e Nunes, 2008).



Figura 5.17 – Exemplo de casa em vidro, Watervilla Kortenhoef, Holanda (de <http://waterstudio.nl/projects/52#>)

5.2.5 Sombreamentos exteriores

As janelas são um elemento fundamental para o conforto das habitações. Durante todo o ano, no que toca à luminosidade natural, são as principais intervenientes. Já no âmbito do conforto térmico, as janelas durante o Inverno deixam os raios de sol penetrar e aquecer os compartimentos interiores e no Verão, ao serem abertas, permitem a ventilação e a eliminação de algum do calor acumulado que não é desejável.

Para que se consiga tirar o maior partido das janelas, os sombreamentos exteriores são também elementos importantes a considerar. As janelas proporcionam uma relação mais direta com o exterior, é então importante dotá-las de um elemento de sombreamento exterior para que se possam controlar melhor as trocas energéticas com o exterior, tornando essa relação mais, ou menos direta. Assim, as janelas orientadas a Sul, Nascente e Poente devem ser munidas de sistemas de sombreamento exterior (Tirone e Nunes, 2008).

Os sistemas de sombreamento exterior em nada vão tirar as vantagens que as janelas oferecem, simplesmente vão cortar a incidência dos raios solares, quando estes não são desejados, antes de atravessarem o vidro¹.

¹ A importância dos sombreamentos exteriores cortarem a incidência dos raios solares antes de estes atravessarem o vidro prende-se com o facto de o comprimento de onda desses raios que transportam calor se alterar depois de atravessarem o vidro e fazendo com que não seja possível voltarem a atravessá-lo para fora, efeito este que conhecemos como Efeito de Estufa.

Existem no mercado uma grande variedade de dispositivos de sombreamento exterior: palas, beirados, toldos, portadas, persianas, venezianas, estores de enrolar ou metálicos orientáveis, etc., no entanto, nem todos estes dispositivos salvaguardam os aspetos qualitativos ou estéticos pretendidos.

É importante avaliar a função exata a que se destinam os dispositivos de sombreamento exterior e que se conheça o contexto climático e cultural no qual se intervém.

De acordo com Tirone e Nunes (2008), os aspetos a ter em conta na escolha do sistema de sombreamento exterior, tendo como objetivo controlar a quantidade de radiação solar que atinge os espaços interiores e otimizar o seu desempenho energético, são:

- O sistema escolhido deve proteger os vãos envidraçados da radiação indesejada, sem necessariamente alcançar a oclusão noturna (“*black out*”);
- O sistema selecionado deve permitir uma boa ventilação natural (com a janela aberta), mesmo quando este se encontra descido e orientado na posição de sombrear;
- O sistema deve permitir que se goze a vista, mesmo quando se encontra descido e orientado na posição de sombrear;
- O sistema deve ser orientável para permitir vários graus de proteção da radiação solar, consoante a inclinação dos raios solares;
- O sistema deve ser facilmente operável, preferivelmente pelo interior;
- Para evitar que a radiação térmica captada pelo próprio elemento de sombreamento seja transmitida para o interior, é importante garantir uma distância suficiente entre o elemento de sombreamento e o vão envidraçado para que a ventilação natural possa realizar-se;
- A oclusão noturna deve melhorar o coeficiente de transmissão térmica, contribuindo, no Inverno, para isolar termicamente a envolvente e reduzir as perdas de calor.

De acordo com Tirone e Nunes (2008), os aspetos a ter em conta na escolha do sistema de sombreamento exterior, tendo como objetivo controlar a qualidade da iluminação natural que atinge os espaços interiores, são:

- O sistema especificado deve permitir controlar o nível de luminosidade que se pretende admitir para o interior da habitação, facilitando a criação de uma diversidade de atmosferas;
- O sistema pode ter uma função dupla – a parte superior das lâminas poderá refletir a iluminação solar para o teto do espaço, difundindo-a, fazendo com que chegue aos espaços mais recuados da habitação, enquanto a parte inferior das lâminas poderá estar

orientada de forma a obscurecer, para não criar zonas de reflexo nem brilho nas superfícies de trabalho;

- O sistema pode ter uma função dupla invertida – a parte superior das lâminas poderá obscurecer os espaços interiores e a parte inferior refletir, de forma difusa, a radiação solar;
- Mesmo quando está previsto que a operação do sistema de sombreamento se faça manualmente, é importante efetuar, sempre que possível, uma pré-instalação para eletrificar a sua operação no futuro e para comandar à distância, porque, durante a execução da obra, os custos de executar uma pré-instalação são ínfimos, quando comparados com a sua execução após o termo da obra.

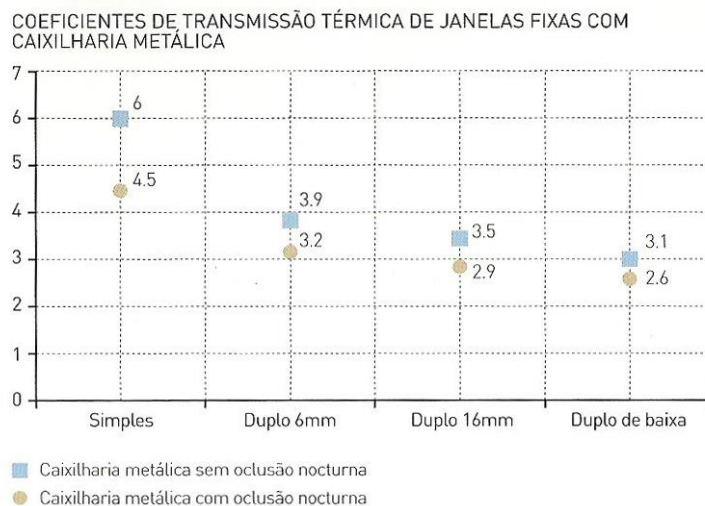


Figura 5.18 – Comparação de coeficientes de transmissão térmica para diferentes tipos de vidro e espessuras em caixilharia metálica com e sem sistemas de oclusão noturna (Dados de Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios – LNEC 2006) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

O sistema de estores exteriores orientáveis para obscurecimento representado na Figura 5.19, é um exemplo de dispositivo de sombreamento exterior que contempla todos os aspetos enumerados anteriormente. Este sistema é composto por lamelas em alumínio com largura de seis, oito ou dez centímetros, que deslizam em calhas laterais, comandadas manualmente ou por motor elétrico. Para além de subir e baixar, este sistema permite ainda orientar as lâminas de forma a excluïrem a radiação indesejada, ventilarem os espaços interiores e deixarem ver o exterior. Reflete até oitenta por cento dos raios solares e permite controlar a qualidade da iluminação natural no interior.



Figura 5.19 – Controlo da luminosidade natural através de sombreamento exterior (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

Existe uma variante deste sistema que permite orientar as lâminas em dois ângulos diferentes simultaneamente. Assim, não é só possibilitado controlar a luz que entra, mas também passa a ser possível regulá-la.

5.2.5.1 Características a procurar num sistema de sombreamento exterior para vãos envidraçados orientados a Sul

Quando não é possível projetar para além da fachada, o sistema de lâminas horizontais orientáveis é bastante vantajoso. Permite refletir a radiação indesejada que incide sobre a fachada a Sul entre os ângulos de 29 e de 75 graus e, para além disso, os utilizadores continuam a ter o privilégio de ver o panorama entre as lâminas, já que o ângulo de visão é normalmente horizontal.

Nos casos em que é possível projetar para além do plano da fachada, há duas soluções que se mostram bastante eficazes: as palas de sombreamento e os toldos. Estas duas soluções são extremamente eficientes pois nos meses em que o sol está mais íngreme, protegem do sol um volume de ar que se mantém mais fresco, proporcionando uma sensação de conforto ao entrar na habitação.

5.2.5.2 Características a procurar num sistema de sombreamento exterior para vãos envidraçados orientados a Nascente e a Poente

Contrariamente às fachadas orientadas a Sul, nas fachadas orientadas a Nascente e a Poente não é tão fácil ter um conforto térmico ao mesmo tempo que se tem a possibilidade de manter a vista para o exterior. Isto porque, nestas orientações, o sol está sempre baixo, nasce e põe-se ao

nível do horizonte. O sistema de sombreamento ideal para manter contacto visual com o exterior ao mesmo tempo que se consegue um conforto térmico interior, seria um sistema constituído por lâminas orientáveis na vertical. Com o sistema de lâminas horizontais orientáveis, também é possível refletir a radiação solar indesejável, no entanto, ter-se-ia de prescindir da vista para o exterior quando o sol se aproxima do horizonte.

No contexto climático de Portugal, os vãos orientados a Poente, são os que mais contribuem para o sobreaquecimento da habitação, pelo que, se torna essencial que estes vãos disponham do melhor sombreamento possível.

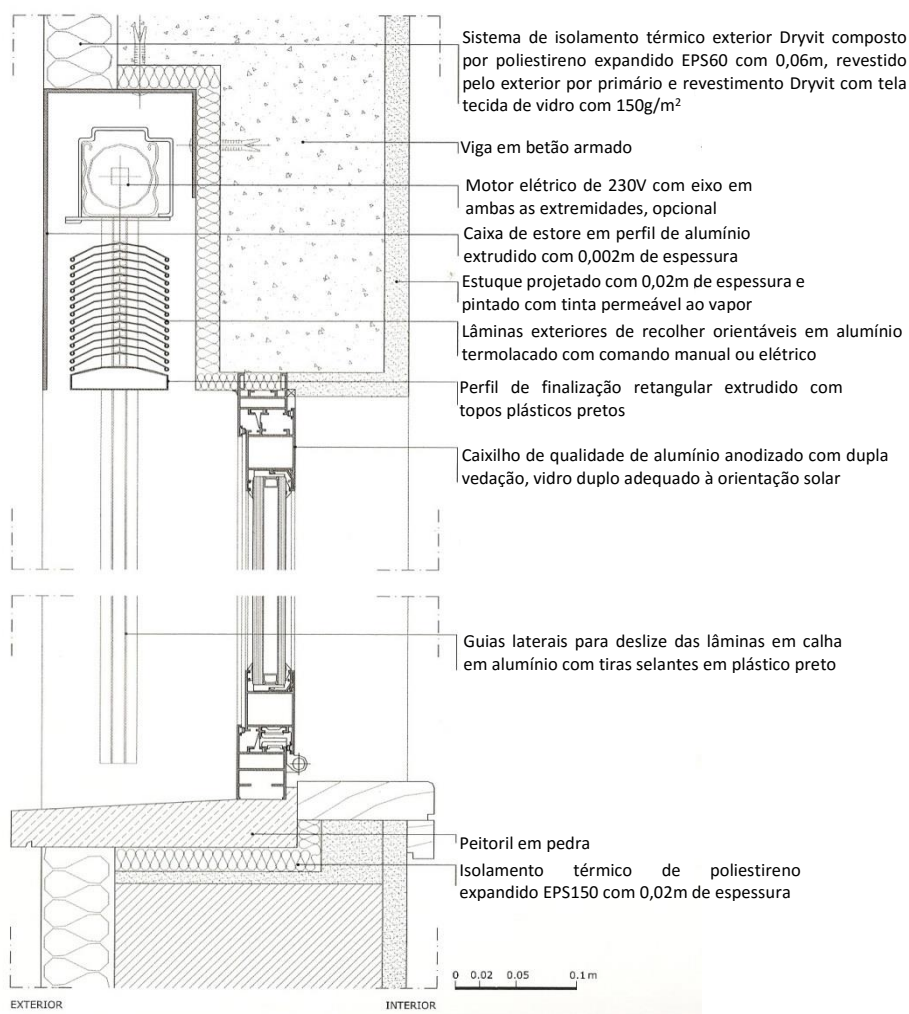


Figura 5.20 – Esquematização de janela com sombreamento exterior de qualidade (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

5.2.6 Isolamento térmico aplicado de forma contínua pelo exterior

Em Portugal, o isolamento térmico em edifícios é usado desde a década de 1950, no entanto, apenas a partir de 1991, com a entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características

de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), passou a ser de uso obrigatório no sector da construção. O isolamento térmico é uma componente essencial para um bom desempenho energético dos edifícios e há três formas possíveis de ser aplicado: pelo interior das paredes da envolvente de um edifício, colocado na caixa-de-ar entre paredes duplas, ou ser assente pelo exterior de um edifício. É sobretudo nesta última forma de aplicação que o isolamento térmico tem a maior eficácia.

De acordo com Tirone e Nunes (2008), um sistema de isolamento térmico com características técnicas e espessura adequadas, quando aplicado de forma contínua pelo exterior, apresenta as seguintes vantagens:

- É conseguida a eliminação de todas as pontes térmicas, que causam o aparecimento de condensações e, conseqüentemente, de fungos em paredes interiores (ou em compartimentos fechados), devendo, tanto o projeto como a execução, garantir a continuidade efetiva do isolamento térmico;
- É improvável uma má execução, ou seja, “esquecer” a colocação de placas, como tão frequentemente acontece quando o isolamento térmico se encontra escondido entre dois panos de tijolo (parede dupla), uma vez que todo o isolamento térmico aplicado pelo exterior permanece visível durante a sua aplicação em obra, facilitando a sua fiscalização;
- A estrutura do edifício e todos os materiais pesados que compõem a envolvente são protegidos dos contrastes e extremos de temperatura e das intempéries. Esta proteção garante uma maior longevidade e a integridade física dos materiais fundamentais, porque, desta forma, não sofrem nem a fendilhação nem as microfissuras típicas em toda a construção tradicional. Evita-se, assim, que estas microfissuras absorvam água por ação capilar, água que deteriora os materiais, sobretudo os metais;
- O isolamento térmico, aplicado de forma contínua e pelo exterior, faz com que a inércia térmica (dos materiais pesados utilizados na construção) funcione a favor do clima interior, contribuindo para que as temperaturas no edifício se mantenham estáveis e dentro das amplitudes térmicas médias do clima mediterrânico. Este comportamento resulta do facto das envolventes (paredes exteriores) não permanecerem em contacto direto com o exterior, estabilizando as temperaturas no seu valor médio. Com ambas as medidas (o isolamento térmico aplicado de forma contínua pelo exterior e a inércia térmica), os extremos do clima mediterrânico não afetam o equilíbrio térmico no interior do edifício;
- Estes sistemas de isolamento térmico pelo exterior podem ser igualmente aplicados na reabilitação de edifícios que não possuam nenhum ou insuficiente isolamento térmico. Sendo o sistema aplicado pelo exterior, é apenas necessário garantir que o mesmo adira

permanentemente à superfície exterior existente e cuidar dos pormenores construtivos em volta de vãos, nas cimalthas e beirados;

- O aspeto com que ficará, poderá ser aquele que se desejar – com acabamento em reboco pintado (em qualquer cor), de revestimento em pedra (colada ou fixada mecanicamente), de tijoleira de burro...
- O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) revisto, Decreto-Lei 80/06 de 4 de Abril, contempla a contribuição das pontes térmicas para o balanço energético negativo do edifício e obriga a soluções que minimizem as pontes térmicas, como é conseguido pelos sistemas de isolamento térmico aplicados de forma contínua e pelo exterior.

No mercado, existem vários tipos de isolamento térmico que são mais ou menos adequados consoante o projeto que se tem, no entanto, há algumas características que independentemente do projeto deverão ser asseguradas. É importante que, independentemente do material escolhido para o isolamento térmico, este possua durabilidade, características de isolamento e espessura correta para o contexto específico. Quando o sistema de isolamento térmico é aplicado continuamente pelo exterior, este deve ser permeável ao vapor e impermeável à água (normalmente, este requisito fica salvaguardado quando, na sua composição, o revestimento exterior apresenta base acrílica). É fundamental que o revestimento exterior tenha uma camada de proteção mecânica (normalmente uma tela de vidro) adequada ao seu contexto específico. Para salvaguardar o bom desempenho estético, é preferível diminuir a textura do acabamento exterior final, tentando que a superfície fique o mais lisa possível, desta forma garante-se que não é necessário pintar o edifício com tanta frequência, principalmente se se localizar em zonas com alto teor de humidade (Tirone e Nunes, 2008).

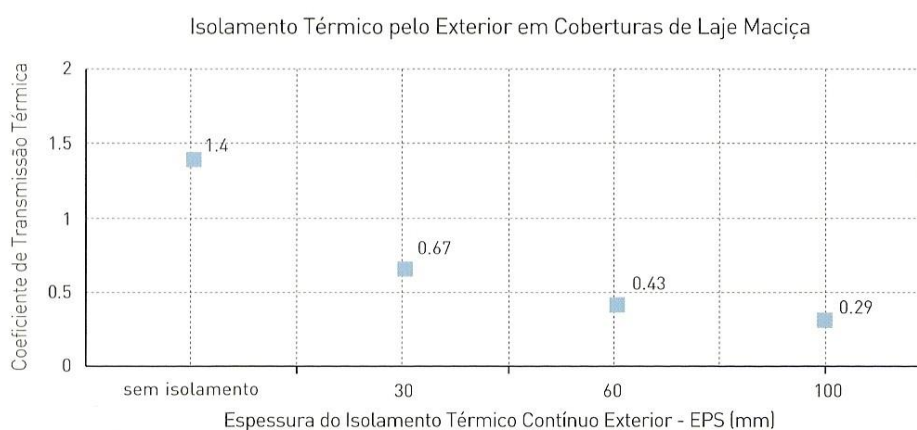


Figura 5.21 – Comparação de coeficientes de transmissão térmica para diferentes espessuras de isolamento térmico exterior em poliestireno expandido (EPS) em coberturas de laje maciça (Dados: Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios – LNEC 2006) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

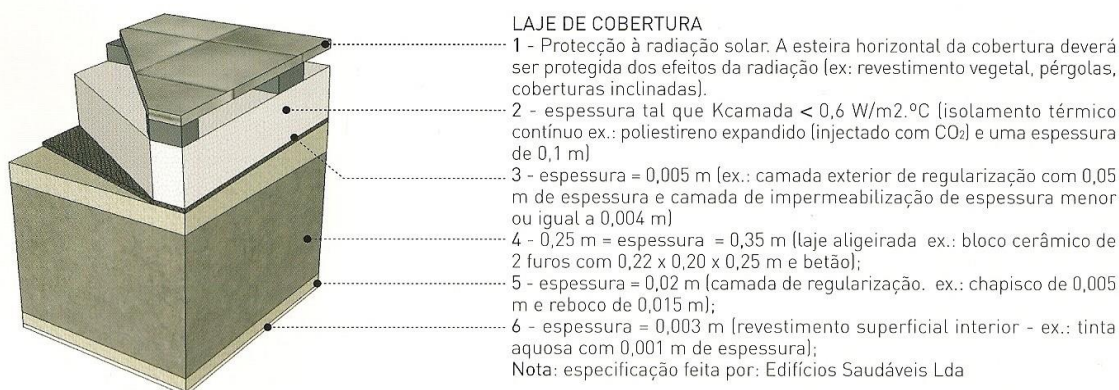


Figura 5.22 – Exemplo de laje de cobertura com isolamento térmico pelo exterior (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)



Figura 5.23 – Exemplo de paredes exteriores com isolamento térmico pelo exterior (adaptado de Tirone e Nunes., 2008)

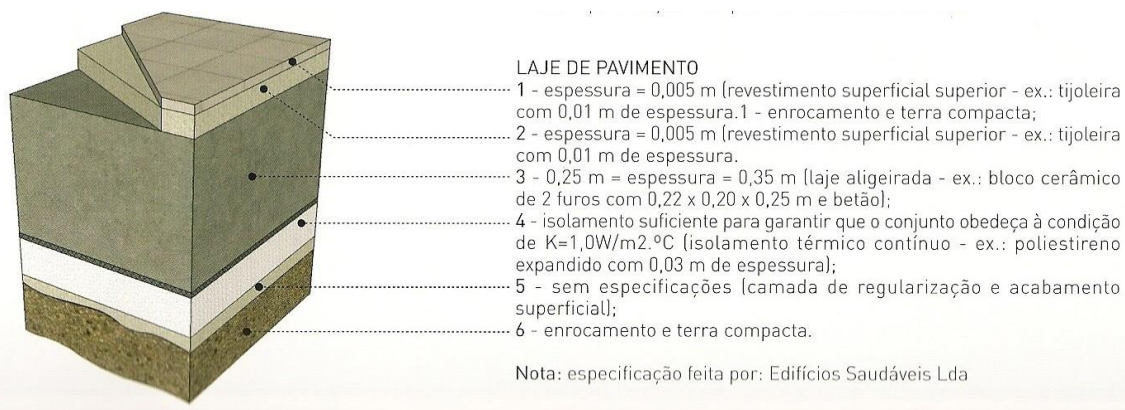


Figura 5.24 – Exemplo de laje de pavimento com isolamento térmico pelo exterior (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

5.2.7 Inércia térmica

A inércia térmica tem um papel fundamental na criação de um clima interior estável e confortável nas habitações.

O clima de Portugal, sujeito a grandes amplitudes térmicas num curto espaço de tempo, é precisamente o clima onde o efeito da inércia térmica melhor se faz sentir. Uma boa inércia térmica é conseguida através do uso adequado de materiais pesados, pois estes interagem lentamente com as temperaturas da envolvente. Como no clima referido as temperaturas de pico não se mantêm durante muito tempo, os materiais armazenam uma energia correspondente à temperatura média do ambiente, proporcionando assim conforto interior.

Como já se referiu anteriormente, o isolamento térmico contínuo aplicado pelo exterior é bastante eficaz a minimizar as perdas de energia do interior para o exterior, o que é muito importante no contexto da inércia térmica. Combinando estes dois princípios, quando um elemento de construção armazena a temperatura média do ambiente exterior, desde que sejam evitadas perdas de energia para o exterior, a energia armazenada é irradiada para o interior continuamente.

Como se tem vindo a constatar até aqui, a chave de uma construção sustentável é o equilíbrio. No âmbito da inércia térmica, revela-se também essencial garantir um equilíbrio entre materiais com elevada inércia térmica e materiais com baixa inércia térmica. Por um lado, não é desejável que os materiais com elevada inércia térmica (como o betão, tijolos e rebocos) sejam revestidos com materiais leves com baixa inércia térmica (como alcatifas e madeiras), pois estes irão funcionar como isolante, interrompendo o intercâmbio térmico que se pretende manter entre os materiais pesados e o ambiente exterior. No entanto, por outro lado, é importante integrar numa habitação, por exemplo, um pavimento de madeira, cujo conforto táctil é maior do que um material pesado.

Para além de combinar a inércia térmica com o isolamento de forma a tirar o melhor partido do desempenho térmico, existem ainda outras estratégias para a otimização do mesmo.

Durante o Verão, mais especificamente nas noites de Verão, a combinação dos conceitos “inércia térmica” com “ventilação natural” assume um papel muito importante, pois é através deste último que o calor acumulado nos materiais pesados é libertado durante a noite, ficando assim restabelecida a capacidade de acumular e absorver o calor excessivo durante o dia seguinte, mantendo o ambiente interior termicamente bastante confortável. A inércia térmica garante um conforto térmico interior ao longo de todo o ano e a ventilação natural permite a redução imediata de extremos de temperatura onde a inércia térmica, por si só, não é suficiente para garantir um conforto térmico.

É do conhecimento comum que as cores claras refletem melhor a radiação, conseqüentemente absorvem menos energia, e as cores escuras funcionam de maneira inversa. Com isto, facilmente se compreende que também a cor das superfícies condiciona a capacidade de absorção térmica e de reflexão da luz, portanto, pode ser interessante adaptar a inércia térmica à cor com a qual é revestida a sua superfície em contacto direto com o meio interior.

Com o ritmo frenético que, hoje em dia, a construção em madeira ou metálica oferecem ao sector, torna-se bastante tentador recorrer a esses tipos de construção para responder positivamente aos prazos apertados que são impostos. No entanto, torna-se fundamental otimizar os prazos de execução em obra para soluções construtivas que ofereçam inércia térmica adequada e necessária a cada clima, contribuindo assim para um bom desempenho energético dos edifícios.

5.2.8 Paredes de Trombe

As paredes de trombe dividem-se, essencialmente, em dois tipos: as paredes de trombe ventiladas e as paredes de trombe não ventiladas e são relativamente simples de integrar na arquitetura, pois vistas pelo lado exterior, aparentam ser janelas, e vistas pelo lado interior, assemelham-se a paredes comuns. As paredes de trombe ventiladas combinam, através da aplicação de aberturas em cima e em baixo, os princípios da radiação e da convecção. Já as paredes de trombe não ventiladas são paredes de acumulação térmica sem qualquer tipo de abertura. Em geral, o rendimento destas é inferior ao das paredes de trombe ventiladas pois, ainda que a temperatura do ar entre o vidro e a parede de armazenamento seja muito superior, a distribuição do calor para o interior é menos uniforme (Mendonça, 2005).

A decisão sobre que tipo de parede de trombe é mais indicado para as necessidades de cada edifício, prende-se com a altura em que é necessário que estas irradiem calor para o interior. Caso seja necessário calor no interior durante o dia, então as aberturas tornam-se fundamentais (Mendonça, 2005). No entanto, no contexto climático de Portugal, as paredes de trombe são importantes para manter o conforto térmico durante a noite na estação fria. Por esse motivo, neste capítulo, serão abordadas com mais detalhe, as paredes de trombe não ventiladas.

As paredes de trombe são sempre orientadas a Sul, pois é esta orientação que permite a captação de uma maior intensidade de radiação solar. Numa análise muito superficial, poderia ser questionado o interesse das paredes de trombe, uma vez que no Verão, no contexto climático de Portugal, é completamente dispensável a absorção de radiação solar por parte das habitações. No entanto, como inclusivamente já foi referido, o ângulo de incidência solar no Verão é muito íngreme, de forma que as paredes de trombe ficam “protegidas” destes pelos vãos envidraçados, resultando assim numa reflexão da maior parte da radiação. Já no Inverno, o ângulo de incidência da radiação solar é tal que uma parede de trombe tem capacidade para acumular o

calor dos raios solares durante o dia, e à noite transmiti-lo para o interior dos espaços (Tirone e Nunes, 2008).

Uma parede de trombe não ventilada é composta por um vão envidraçado com vidro duplo orientado a Sul, uma caixa-de-ar com, aproximadamente, vinte milímetros e por uma parede de betão com, aproximadamente, duzentos milímetros de espessura que, na face exterior deve ser pintada com uma cor muito escura que potencie a absorção dos raios solares. Quando os raios solares, durante o Inverno, atravessam o vão envidraçado da parede de trombe, ocorre o “Efeito de Estufa”, onde a alteração da frequência de onda destes, os impede de tornarem a atravessar o vidro duplo, ficando assim acumulados na caixa-de-ar. Este calor acumulado vai progressivamente aquecendo a parede de betão, penetrando, algumas horas depois, até à face interior da habitação por irradiação pela parede de trombe (Tirone e Nunes, 2008).

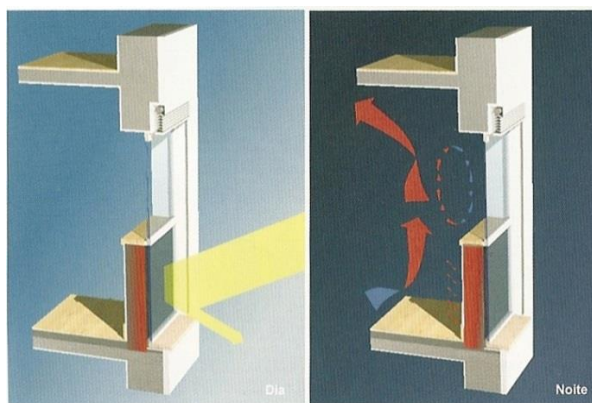


Figura 5.25 – Parede de trombe colocada de baixo de janela (absorvem o calor da radiação solar e libertam-no para o interior) (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

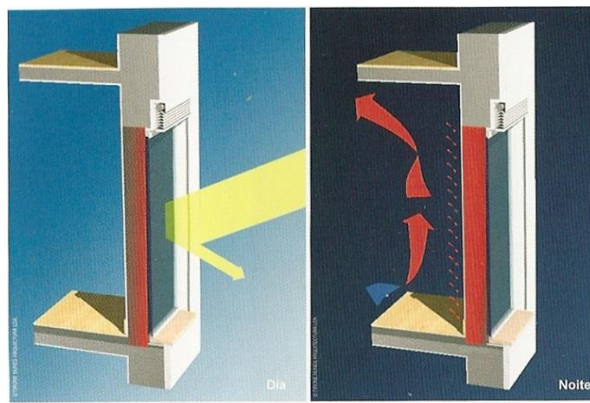


Figura 5.26 – Parede de trombe não ventilada (adaptado de Tirone e Nunes, 2008)

Uma parede Trombe pode satisfazer até quinze por cento das necessidades de aquecimento no período de Inverno, quando corretamente dimensionados e orientados a Sul. Segundo *Nick Baker*, a transferência de calor por uma parede Trombe é cerca de dezoito minutos por cada dez milímetros de espessura. Numa parede com duzentos milímetros de betão, a parede retarda em seis horas ($18 \times 20 = 360$ minutos = 6 horas) a irradiação do calor armazenado. Com o início da absorção da radiação por volta das doze horas (onze horas solares), a parede começará a irradiar calor para o espaço interior por volta das dezoito horas, ou seja, no fim de tarde e início de noite (Tirone e Nunes, 2008).

Como se tem vindo a concluir ao longo deste Capítulo 5, as melhorias térmicas que se pode dar a um edifício através da Norma *Passive House*, do conceito Casa ZEB, e/ou mesmo da aplicação de uma arquitetura adequada a melhores aproveitamentos do clima envolvente, contribuem não só para um conforto superior por parte dos utilizadores, como também para

uma poupança energética e consequentemente redução das emissões de CO₂ para a atmosfera. Assim, a térmica tem um grande peso na definição da sustentabilidade de um edifício e para garantir que o bom desempenho térmico de um edifício está assegurado é importante considerar a ação da ventilação natural e, se possível, aplicar os conceitos de parede de trombe e inércia térmica.

5.2.9 Coberturas ajardinadas

As coberturas ajardinadas podem parecer irrelevantes no que toca à construção sustentável, no entanto, a verdade é que através deste tipo de coberturas consegue-se também controlar as temperaturas mais elevadas no Verão, conferindo conforto e bem-estar aos respetivos utilizadores.

Quando se dispõe de áreas com alguma vegetação que libertam humidade, a frescura que daí resulta pode contribuir para o arrefecimento passivo e aumentar o conforto ambiental no interior das habitações adjacentes (Tirone e Nunes, 2008).



Figura 5.27 – Edifício com cobertura ajardinada (de <http://www.u3j.org/luxury-rooftop-garden-ideas/>)

A plantação de espécies vegetais em áreas de cobertura faz com que sejam criados ecossistemas que contêm muitos dos organismos da natureza que contribuem para absorção e atenuação da poluição da cidade proveniente das atividades humanas.

No entanto, é certo que tudo isto do arrefecimento passivo e da atenuação da poluição só fará sentido se as coberturas ajardinadas forem realizadas de maneira a não comprometer o resto do edifício do ponto de vista estrutural e funcional. É de toda a importância que a impermeabilização, o isolamento térmico, a terra e as espécies usados sejam adequados ao

contexto das coberturas ajardinadas e, no mínimo, apresentem garantias de funcionamento para um prazo de dez anos (Tirone e Nunes, 2008).

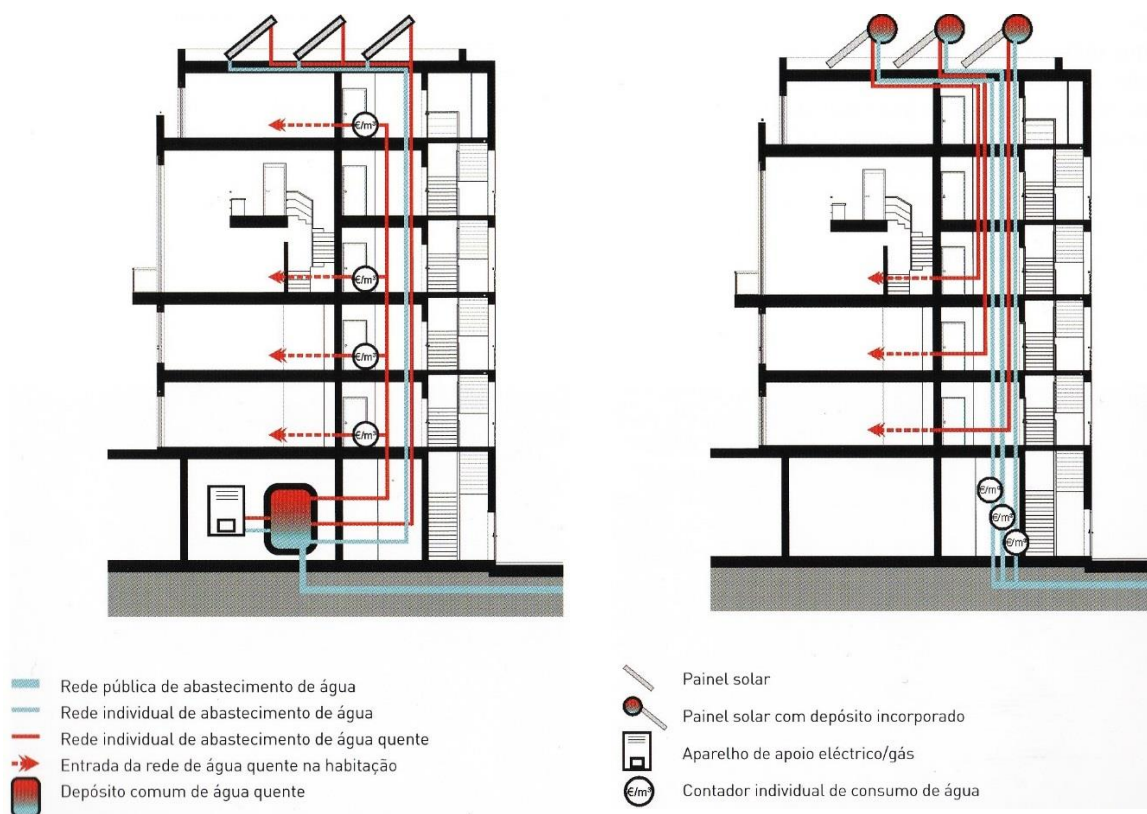
5.2.10 Sistemas solares térmicos

Para além de renovável, a energia solar térmica é um recurso endógeno, ao contrário dos 85% da energia de origem fóssil importada. Sendo Portugal o país da União Europeia com maior número de horas de sol, não há porquê continuar a importar combustíveis fósseis com intoleráveis custos ambientais, económicos e sociais sem se parar para pensar e perceber que a energia solar consegue desempenhar os requisitos para aquecimento de águas quentes sanitárias praticamente em pleno. Ao preferir a energia solar térmica ao invés da energia proveniente dos combustíveis fósseis, está-se não só a contribuir, de forma indireta, para o enriquecimento do país, mas sobretudo e também para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera.

A entrada em vigor do decreto de Lei 80/06 de 4 de Abril vem mudar a aparência das coberturas dos edifícios de habitação de Portugal. Com apenas 1 m² de painel solar por morador, contribui-se com aproximadamente 70% das necessidades energéticas anuais para o aquecimento de águas quentes sanitárias, consumo esse que, segundo a Matriz Energética de Lisboa, corresponde a 25% do consumo de energia primária do sector doméstico. Assim, a instalação de um sistema solar térmico num edifício habitacional, não só faz todo o sentido ao nível de uma otimização do desempenho energético ambiental, como também a nível económico, já que os períodos de retorno do respetivo investimento são inferiores a cinco anos (Tirone e Nunes, 2008).

A única falha dos sistemas solares térmicos é que em dias encobertos ou durante a noite necessitam de uma fonte de energia que os complemente quando a energia solar não está disponível. Desta forma, deve dar-se prioridade à energia solar, mas complementá-la com uma fonte de energia convencional, como o gás natural ou a eletricidade.

A possibilidade ou não de instalar um sistema solar térmico centralizado num edifício habitacional, define os dois cenários possíveis desta medida a implementar para uma construção mais sustentável. Num edifício com múltiplos apartamentos, o sistema solar térmico deve ser centralizado e ter o apoio, como já referido, de uma caldeira central a gás natural, para alcançar uma eficiência ainda mais elevada. No caso das reabilitações, é mais comum não ser possível integrar um sistema centralizado, então, como opção, tem-se a cobertura do edifício para instalar sistemas individuais para abastecer cada um dos apartamentos, cuja caldeira pré-existente poderá passar a dar apoio apenas à água pré-aquecida pelo sol.



Ao longo de todo este Capítulo 5, paralelamente à exposição das técnicas de construção a valorizar para se obter uma construção mais sustentável, e fazendo uma ponte com a informação recolhida em capítulos iniciais, foram-se desenvolvendo ideias conclusão que são agora agrupadas em forma de quadro resumo.

Quadro 5.2 – Principais ações ao nível da conceção de projeto para tornar uma construção mais sustentável

Vertentes de Projeto	Ações
Energia	Lâmpadas económicas
	Sensores de movimento
	Eletrodomésticos eficientes e de dimensões adequadas
	Sistemas solares térmicos
	Escolha de materiais que gerem mais energia do que requerem
	Arquitetura bioclimática
	Energia geotérmica
Abastecimento de água	Energia eólica
	Poupança nos dispositivos
	Utilização da água das chuvas
Esgotos	Sensores de movimento
	Reutilização de águas cinzentas
Arquitetura	Orientação Solar
	Área dos envidraçados
	Sombreamentos exteriores
Estruturas	Estrutura metálica
	Estrutura em betão – reutilização de resíduos
Térmica	Ventilação natural
	Paredes de Trombe
	Inércia Térmica

6 CONCLUSÕES

A sustentabilidade é um campo demasiado vasto e complexo para haver um único modelo de projeto a seguir. No entanto, há uma série de fatores que, quando bem usados, vão redefinindo o grau de sustentabilidade de um edifício. É o caso, por exemplo, do aproveitamento da luz natural e energia solar, porque, como já se viu, uma das principais características de um edifício sustentável é o baixo consumo energético, analisando-se o desempenho através de indicadores como kWh/m² e a emissão de CO₂ proveniente do seu consumo energético.

A importância da sustentabilidade, nomeadamente para as questões ambientais, tem, certamente, um peso crescente e determinante para a conceção quer dos projetos de arquitetura de construção, quer do edificado já construído.

Em Portugal, devido à legislação em vigor, o papel da arquitetura no desenvolvimento de uma construção sustentável é tudo, já que é do projeto de arquitetura que advêm muitos dos fatores que tornam uma construção sustentável ou não. No entanto, para a sustentabilidade, não só o contributo da arquitetura, mas também o da engenharia não têm porte nem lugar, isto é, o tema é tão pertinente que se enquadra em qualquer tipologia de edifício, seja qual for a sua função e contexto.

Um edifício sustentável é aquele cujo processo de construção considerou o equilíbrio entre a capacidade que a natureza tem de gerar recursos e absorver resíduos sem exaustão e minimizando os impactos ambientais.

Não é só de técnicas de construção que se faz a sustentabilidade dos edifícios, também os materiais escolhidos para cada projeto podem e devem dar um contributo importante para essa sustentabilidade através da sua performance ambiental.

Para um melhor desempenho térmico dos edifícios de habitação, para além das preocupações e medidas tomadas aquando do projeto e execução da obra, é igualmente importante consciencializar os seus utilizadores para certas ações, nomeadamente de ventilação natural, que irão contribuir para uma melhor utilização dos espaços e conseqüentemente tornar o edifício mais sustentável.

Mas afinal, o que é a sustentabilidade na construção? Depois deste trabalho, espera-se que se perceba que a sustentabilidade na construção tudo tem a ver com a harmonia entre os diferentes

intervenientes na realização de um projeto de construção civil e com o equilíbrio perfeito entre os interesses sociais, económicos e ambientais. Só depois de se assumir essas premissas como verdadeiras, se poderá então passar para as técnicas de construção apresentadas neste documento como as mais sustentáveis e, sempre que possível, aplicá-las em detrimento de outras que não sirvam tão bem o propósito de uma construção sustentável.

Ao longo do Capítulo 5, de acordo com a informação recolhida e produzida, foram-se desenvolvendo ideias que culminaram num quadro resumo com as principais ações em várias vertentes de projeto que quando aplicadas e respeitadas dão origem a um edifício mais sustentável. Essas ideias deram então origem ao Quadro 5.2, que representa uma parte importante das conclusões a que se chegou com este trabalho.

Uma construção sustentável deve ligar o projeto ao ambiente e à tecnologia, sem esquecer o contexto ambiental, cultural e socioeconómico em que se insere e tendo sempre presente que não só as gerações atuais, mas também as futuras, têm de ser capazes de garantir as suas necessidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amado e António, 2013

Amado, P., António, J., “Transmissão de ruído através de elementos sólidos – sons aéreos”, apontamentos de apoio às aulas de Acústica Aplicada, DEC – FCTUC, 2013.

Architecture Art Designs

<http://www.architectureartdesigns.com/> (acedido em agosto de 2015).

Arquitecturas (2014)

João Gavião: «*Passive House* em Portugal – parte I». Disponível em <http://jornalarquitecturas.com/canal/detalhe/joao-gaviao-passive-house-em-portugal-parte-i> (acedido em novembro de 2014).

Opinião de João Gavião: «*Passive House* em Portugal – parte II». Disponível em <http://jornalarquitecturas.com/canal/detalhe/joao-gaviao-passive-house-em-portugal-parte-ii> (acedido em novembro de 2014).

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

<https://www.ashrae.org/> (acedido em março de 2015).

Brochura Solar XXI, 2005

Edifício Solar XXI, um edifício energeticamente eficiente em Portugal, Dezembro 2005.

DGE (2000)

Direção Geral da Energia. “Balanço Energético Nacional de 2000”.

Diamantino, 2014

Diamantino, P. N. R., “Sustentabilidade na construção metálica”, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014

Diário Imobiliário (2013)

"*Passive House* garante poupança energética de 75%". Disponível em <http://www.diarioimobiliario.pt/actualidade/passive-house-garante-poupanca-energetica-de-75/> (acedido em outubro de 2014).

Earth Council

<http://earthcouncilalliance.org/> (acedido em outubro de 2014).

Ecomeios

Catálogo de produtos ecológicos e economizadores de água Ecomeios. Disponível em <http://www.ecomeios.com/pdf/Catalogo.pdf> (acedido em novembro de 2015).

Engenharia Minuto, 2015

Entrevista ao Engenheiro Juliano Munhoz Beltani. Disponível em <http://www.engenhariaminuto.com/usina-reciclagem-entulhos/> (acedido em novembro de 2015).

Gonçalves e Duarte, 2006

Gonçalves, J. C. S., Duarte, D. H. S., "Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino", Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Universidade de São Paulo, 2006.

Homegrid (2013)

"Edifícios Passive House poupam até 75% de energia". Disponível em http://www.homegrid.pt/pdfs/20130710_publico_imobiliario_artigo.pdf (acedido em outubro de 2014).

InCI (2015)

Quadro de índices de custos de materiais, 2015. Disponível em <http://www.inci.pt/Portugues/Construcao/IndicesCIFE/Paginas/IndicesCIFE.aspx> (acedido em novembro de 2015).

Interiordecodir

<http://www.interiordecodir.com/> (acedido em agosto de 2015).

INE (2002)

Instituto Nacional de Estatística. "Estatísticas do Ambiente 2001".

Instituto Tecnológico e Nuclear, Departamento de Proteção Radiológica e Segurança Nuclear "Radão, um gás radioativo de origem natural". Disponível em www.itn.pt/docum/relat/radao/itn_gas_radao.pps (acedido em outubro de 2014).

ISO 13790:2008

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm%3Fcsnumber=41974 (acedido em outubro de 2015)

L. B. Alumínios

"Produtos: Caixilharia alumínio ruptura térmica". Disponível em http://www.lbaluminios.pt/Caixilharia_aluminio_ruptura_termica_Caixilharia.html (acedido em abril de 2015)

Mália et al., 2011

Mália, Miguel; Birto, Jorge de; Bravo, Miguel; "Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas", 2011.

Mateus e Bragança, 2004

Mateus, R., Bragança, L., "Avaliação da sustentabilidade da construção: Desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas", Universidade do Minho, 2004.

Matriz Energética de Lisboa, 2004

http://lisboaenova.org/images/stories/Publicacoes_LEN/Energy_Matrix/matriz_energetica_site.pdf (acedido em novembro de 2015).

Mendonça, 2005

Mendonça, Paulo, "Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados", Universidade do Minho, 2005.

Passipedia

"*Passipedia - The Passive House Resource*". Disponível em <http://passipedia.org/> (acedido em fevereiro de 2015).

PassivHaus Zero-Energy

"Exemplos de casas passivas". Disponível em <http://www.passivhauszero-energy.com/exemplos.php> (acedido em novembro de 2014).

Pinto e Henriques, 2015

Pinto, M. M., Henriques, P. G., "Arquitetura Sustentável – Análise de processos, técnicas e Materiais", COMPAT Lisboa, 2015.

P3

"ZEB, um edifício zero emissões que produz mais do que gasta". Disponível em <http://p3.publico.pt/actualidade/ambiente/13521/zeb-um-edificio-zero-emissoes-que-produz-mais-do-que-gasta> (acedido em novembro de 2014).

"*Passive House*: casas amigas do ambiente (e de quem as habita)". Disponível em <http://p3.publico.pt/cultura/arquitectura/13078/passive-house-casas-amigas-do-ambiente-e-de-quem-habita> (acedido em novembro de 2014)

REH, 2013

Decreto de Lei 118/2013 de 20 de agosto "Regulamento de desempenho energético dos edifício de habitação (REH)"

Resende, 2013

"Retrofit, a nova tendência das reformas", 2013. Disponível em <http://blogdopetcivil.com/2013/03/22/retrofit-a-nova-tendencia-das-reformas/> (acedido em setembro de 2014).

Roodman e Lenssen, 1995

Roodman, D. M., Lenssen, N., "A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction", Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, março, 1995.

Sá, 2011

Sá, Ana Cristina Briga de, "Parede de Trombe: Análise Experimental e Simulação de Desempenho Térmico", Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

Snohetta

"ZEB Pilot House". Disponível em <http://snohetta.com/project/188-zeb-pilot-house> (acedido em novembro de 2014).

Tirone e Nunes, 2008

Tirone, L., Nunes, K., "Construção Sustentável soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã". 2ª Edição, Tirone Nunes, SA, Sintra, 2008.

UATEC

"Sistema misturador, com poupança de água, para torneiras". Disponível em <https://www.ua.pt/uatec/PageText.aspx?id=13905> (acedido em novembro de 2015).

United Nations, 1987

"*Report of the World Commission on Environment and Development*". Disponível em <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm> (acedido em setembro de 2014).

Universidade de Coimbra

<https://apps.uc.pt/courses/pt/course/467/2015-2016> (acedido em outubro de 2015).

<http://www.uc.pt/efs> (acedido em outubro de 2015).

Verdade, 2008

Verdade, Jorge Henrique de Oliveira, "Aproveitamento de água das chuvas e reutilização de águas cinzentas", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.