



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS
Núcleo de Arquitetura e Urbanismo

Proc. 0806/11/17779

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA HABITAÇÃO

Estudo elaborado no âmbito do projecto de investigação "Habitação para o Futuro" com o apoio de fundos do FEDER concedidos através da Fundação para a Ciência e Tecnologia

Lisboa • Julho 2010

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 239/2010 – NAU

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA HABITAÇÃO

RESUMO

O presente relatório apresenta uma síntese dos conhecimentos sobre sustentabilidade ambiental de edifícios habitacionais e de áreas residenciais. Caracteriza-se a situação de insustentabilidade actual, apontam-se princípios gerais de intervenção, descrevem-se exemplos de aplicação e discutem-se tendências de evolução futura. Esta informação visa apoiar a produção de habitação que alcance um equilíbrio entre a preservação do ambiente e a satisfação das necessidades humanas a curto prazo e a longo prazo.

Os resultados apresentados foram obtidos no estudo "Habitação ecológica". Este estudo fez parte do projecto de investigação "Habitação para o Futuro", desenvolvido no LNEC entre Setembro de 2003 e Janeiro de 2005. O projecto integrou outros dois estudos: "Tipos emergentes de habitação" e "Novas tecnologias na habitação".

O relatório está organizado nos seguintes capítulos:

- 1) na introdução justifica-se a importância do tema, definem-se os objectivos do estudo, descreve-se a estrutura do relatório e enquadra-se o estudo no projecto de investigação;
- 2) no segundo capítulo são identificados os sinais de insustentabilidade da situação actual e resumidas as reacções despoletadas pelos referidos sinais;
- 3) no terceiro capítulo são analisados os recursos ambientais e sintetizados os princípios para uma produção habitacional mais sustentável;
- 4) no quarto capítulo são descritas estratégias para a concretização, no projecto de arquitectura, dos princípios de *eficiência energética* e de *gestão ecológica dos materiais de construção*;
- 5) no quinto capítulo são apresentados alguns exemplos de edifícios e áreas residenciais sustentáveis e descritas as principais tendências de evolução da arquitectura sustentável.
- 6) no capítulo final é realizada uma síntese crítica do estudo e são descritas duas linhas de investigação futura consideradas prioritárias para o contexto português.

ENVIRONMENTAL SUSTAINABLE HOUSING

SUMMARY

This report presents a state of the art on residential buildings and neighbourhoods. The current situation of unsustainability is characterized, general principles of intervention are pointed out, application examples are described and trends of future evolution are discussed. This information aims at supporting the production of housing that achieves a balance between the environment and the satisfaction of human needs in the short and long term.

The results presented were obtained in the study "Ecologic housing". This study was part of the research project "Housing for the future", developed at LNEC between September 2003 and January 2005. The research project included two other studies: "Emergent types of housing" and "New technologies in housing".

The report is organized in the following chapters:

- 1) the introduction justifies the importance of the subject, defines the objectives of the study, outlines the structure of the report and frames the study in the research project;
- 2) in the second chapter signs of unsustainability of the present situation are identified and the reactions motivated by the identified signs are summarized;
- 3) in the third chapter environmental resources are analyzed and principles for a more sustainable housing production are synthesized;
- 4) in the fourth chapter strategies to apply the principles of *energy efficiency* and *ecological management of construction materials* in architecture design are described;
- 5) in the fifth chapter some examples of sustainable buildings and residential areas are presented and trends of evolution of the sustainable architecture are described;
- 6) in the final chapter a critical synthesis of the study is carried through and two research lines considered more priority for the Portuguese context are described.

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA HABITAÇÃO

Índice

1.	Introdução.....	1
2.	Insustentabilidade actual e reacções.....	5
2.1	Situação global.....	6
2.1.1	Alterações climáticas.....	6
2.1.2	Crescimento populacional e urbano.....	8
2.2	Bases para a sustentabilidade.....	13
2.2.1	Desenvolvimento sustentável.....	13
2.2.2	Ambiente construído sustentável.....	13
2.2.3	Urbanismo sustentável.....	14
2.2.4	Construção sustentável.....	15
2.2.5	Arquitectura sustentável.....	16
2.3	Documentos de referência.....	18
2.3.1	Documentos gerais.....	18
2.3.2	Agenda 21 e Agenda Local 21.....	18
2.3.3	Agenda 21 para a construção sustentável.....	19
2.3.4	Livro branco da arquitectura europeia.....	20
2.3.5	Urban Strategy 2004.....	21
2.3.6	Directiva Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios.....	25
2.4	Situação em Portugal.....	26
2.4.1	Alterações climáticas.....	26
2.4.2	Crescimento populacional e urbano.....	30
2.4.3	Gestão dos principais recursos ambientais.....	31
2.4.4	O sector da habitação.....	34
2.4.5	Regulamentação e programas de apoio para a sustentabilidade ambiental.....	36
2.4.6	Investigação, formação e meio profissional.....	38
2.4.7	Opinião pública.....	40
3.	Dos recursos ambientais aos princípios de sustentabilidade.....	41
3.1	Recursos ambientais.....	42
3.2	Escalas de sustentabilidade.....	46
3.2.1	Do território aos habitantes.....	46
3.2.2	Habitat sustentável.....	48
3.2.3	Cidades sustentáveis.....	49
3.3	Princípios para a habitação sustentável.....	61
3.3.1	Uma abordagem global da intervenção.....	61
3.3.2	Ocupação racional do solo.....	62
3.3.3	Eficiência e autonomia energética.....	70

3.3.4	Gestão do ciclo hidrológico	73
3.3.5	Gestão de materiais e resíduos	77
3.3.6	Conforto no uso de edifícios	81
3.3.7	Adequação aos modos de habitar	83
3.3.8	Apropriação e participação dos habitantes.....	85
3.3.9	Optimização da construção e flexibilidade no uso.....	89
4.	Energia e materiais na habitação sustentável.....	93
4.1	Edifícios e inércia térmica	94
4.2	Energia	95
4.2.1	Introdução	95
4.2.2	Funções energéticas.....	96
4.2.3	Sistemas passivos	100
4.2.4	Sistemas activos	115
4.2.5	Controlo e desempenho ambiental	126
4.3	Materiais.....	133
4.3.1	Introdução: Selecção de materiais	133
4.3.2	Materiais naturais	136
4.3.3	Materiais artificiais e sintéticos.....	159
4.3.4	Sistemas construtivos	164
4.4	Avaliação ambiental	167
4.4.1	Métodos de avaliação do desempenho ambiental de edifícios.....	167
4.4.2	Avaliação do ciclo de vida de edifícios – LCA	174
4.4.3	Avaliação ambiental informatizada	175
5.	Tendências da habitação e da arquitectura sustentável.....	179
5.1	Arquitectura e sustentabilidade	180
5.2	Panorama da habitação sustentável na Europa	183
5.2.1	Exemplos no Reino Unido	183
5.2.2	Exemplos na Alemanha	188
5.2.3	Habitação sustentável apoiada pela União Europeia	195
5.2.4	Habitação sustentável em Portugal	196
5.3	Eco-tecnologia	200
5.4	Eco-reabilitação	209
5.5	Eco-habitação.....	212
6.	Considerações finais	219
	Bibliografia	223

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA HABITAÇÃO

Índice de figuras

Figura 1 – Esquema síntese do ciclo do carbono.....	6
Figura 2 – Relação entre valores do PIB e o indicador de sustentabilidade ambiental ESI.....	7
Figura 3 – Conforto bioclimático em Portugal Continental.	27
Figura 4 – Precipitação em Portugal Continental.....	27
Figura 5 – Temperaturas em Portugal Continental.	27
Figura 6 – Radiação solar em Portugal Continental.....	27
Figura 7 – Evolução da temperatura média do ar em Portugal Continental.....	28
Figura 8 – Previsão da temperatura máxima em Portugal Continental no período 2080-2100.....	29
Figura 9 – Impactes da mudança climática na climatização do ambiente residencial.	30
Figura 10 – Grau de urbanização em Portugal Continental.	31
Figura 11 – Casa termicamente otimizada.	39
Figura 12 – Previsão de redução de CO ₂ equivalente nos vários sectores para os próximos 20, 50 e 100 anos.....	42
Figura 13 – Fontes emissoras dos gases com efeito de estufa.	43
Figura 14 – Regulação da humidade através de coberturas verdes.....	51
Figura 15 – Regulação da temperatura e tratamento biológico de águas pluviais em espaços públicos.....	52
Figura 16 – “Caleiras verdes” para infiltração da água no solo.....	54
Figura 17 – Corte esquemático de “caleira verde” (sistema Mulden-Rigolen).....	54
Figura 18 – Pontos de recolha selectiva de resíduos domésticos.	55
Figura 19 – Centro comunitário de informação e participação urbana e ambiental.	56
Figura 20 – Bairro-piloto de “La Luz” construído em terra.....	59
Figura 21 – Renovação da habitação para a densificação de centros urbanos antigos.	63
Figura 22 – Villa Rotunda de Andrea Palladio.	64
Figura 23 – Implantações com diversas orientações e radiação solar resultante no Verão e Inverno.	65
Figura 24 – Direcção da radiação máxima e orientação preferencial de edifícios.....	65
Figura 25 – Radiação solar directa em superfície perpendicular e radiação solar difusa.....	66
Figura 26 – Controlo microclimático exterior por superfície de evaporação e vegetação.	68
Figura 27 – Controlo microclimático com jardim de Inverno em espaço comum.....	69
Figura 28 – Hierarquia de fenestração e da criação de zonas de transição.	72
Figura 29 – Central de produção de energia renovável fotovoltaica.	73
Figura 30 – Água necessária na habitação de uma família ocidental média.	74
Figura 31 – Piscina biológica para tratamento de águas pluviais.	75
Figura 32 – Bio-lagunagem para tratamento de águas pluviais.....	75
Figura 33 – Leitões de macrófitas de circulação horizontal para tratamento de águas residuais domésticas.....	77
Figura 34 – Leito de macrófitas de circulação vertical para tratamento de águas residuais domésticas.	77
Figura 35 – Resíduos produzidos pelo uso da habitação por uma família ocidental média.	78

Figura 36 – Reutilização de paletes em fachada de edifício.	79
Figura 37 – Objectos necessários numa habitação média.	84
Figura 38 – Espaços públicos definidos com a participação dos residentes.	87
Figura 39 – Centro de Iguzzini.	90
Figura 40 – Fachada de habitação com painéis fotovoltaicos.	96
Figura 41 – Gama de dispositivos de sombreamento.	98
Figura 42 – Principais formas de iluminação passiva indirecta.	99
Figura 43 – Chaminés de extracção para ventilação e luz natural sem encandeamento.	102
Figura 44 – Duas hipóteses de transformação de tecto-falso para melhoria da iluminação natural directa.	103
Figura 45 – Isolante translúcido com aerogel integrado em fachada polivalente, à esquerda.	104
Figura 46 – Parede de Trombe não ventilada em betão.	105
Figura 47 – Parede de Trombe ventilada com indicação das temperaturas atingidas.	105
Figura 48 – Funcionamento de parede de Trombe ventilada.	106
Figura 49 – Representação da influência das cores de uma fachada orientada a Poente.	106
Figura 50 – Colectores térmicos em habitação geminada.	107
Figura 51 – Fachada dupla habitável.	108
Figura 52 – Fachada ventilada.	108
Figura 53 – Reabilitação por adição de fachada ventilada.	109
Figura 54 – Duas alternativas de acumulação térmica associada a estufas.	109
Figura 55 – Comportamento de paredes expostas a ganhos indirectos para acumulação térmica.	110
Figura 56 – Aspecto de estufa no Inverno.	111
Figura 57 – Aspecto de estufa no Verão.	111
Figura 58 – Arrefecimento pelo solo combinado com cobertura ventilada.	112
Figura 59 – Torres de ventilação com terminais rotativos.	113
Figura 60 – Detalhe dos terminais rotativos para ventilação com recuperação de calor.	113
Figura 61 – Dispositivos de condução indirecta da luz.	114
Figura 62 – Efeito no espaço interior de iluminação natural por luminoducto.	115
Figura 63 – Corte por luminoducto e clarabóia.	115
Figura 64 – Aspecto do topo de luminoducto.	115
Figura 65 – Colectores solares térmicos em cobertura.	117
Figura 66 – Tanque para armazenamento de água quente.	117
Figura 67 – Sala do Parlamento Alemão.	118
Figura 68 – Silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo ou thin film.	120
Figura 69 – Células fotovoltaicas integradas em superfície de vidro.	121
Figura 70 – Utilização de PV integrado em fachada de edifício de habitação unifamiliar.	122
Figura 71 – Produção energética anual de sistemas fotovoltaicos em Portugal, conforme inclinação dos painéis orientados a Sul.	123
Figura 72 – Aerosolar Roof.	124
Figura 73 – Reactor de biogás doméstico.	126
Figura 74 – Modelo à escala real de fachada dupla.	129
Figura 75 – Fachada dupla ventilada.	129
Figura 76 – Pormenor de controlo automático BMS da fachada dupla.	129

Figura 77 – Estimativa das necessidades anuais de energia para as habitações em Portugal.	131
Figura 78 – Low Energy House com orientação Nordeste-Sudoeste.....	132
Figura 79 – Habitações passivas.	133
Figura 80 – Habitações e-plus.	133
Figura 81 – Construção em taipa à vista.....	140
Figura 82 – Edifício de habitação unifamiliar em taipa, pedra e madeira.....	141
Figura 83 – Construção contemporânea com a aplicação de taipa.....	142
Figura 84 – Tijolos de adobe a secar.	143
Figura 85 – Tijolos de adobe aplicados em parede rebocada.	143
Figura 86 – Fabrico de Blocos de Terra Compactada.....	144
Figura 87 – Terra contida em módulos.	145
Figura 88 – Corte construtivo de parede de palha para zona sísmica.	150
Figura 89 – Construção em fardos de palha, antes de rebocada.	151
Figura 90 – Isolamento de fibras de coco certificado pelo Institut für Baubilogies Rosenheim GMBH.	153
Figura 91 – Aglomerado de cortiça fabricado em Portugal.	153
Figura 92 – Casa de papel no Lago de Yamanashi.	153
Figura 93 – Construção em pedra de tufo, seixos e terra.....	154
Figura 94 – Construção de pedra e terra depois de caiada.	155
Figura 95 – Fachada de madeira com painéis deslizantes de vidro.	158
Figura 96 – Casas de madeira na Serra da Estrela.	158
Figura 97 – Vidro estrutural no Museu do vidro em Kingswinford.	162
Figura 98 – Fachada de madeira pré-fabricada.	164
Figura 99 – Combinação de estrutura de madeira com paredes em terra.	165
Figura 100 – Sistema construtivo misto (betão e aço) otimizado para redução de pontes térmicas.....	166
Figura 101 – Esquema do desempenho ambiental global de edifícios.	167
Figura 102 – Casa em Regensburg.	180
Figura 103 – Fábrica em Munique.....	180
Figura 104 – Centro Cultural Jean-Marie Tijbaou.....	181
Figura 105 – Cité Internationale.....	181
Figura 106 – Conjunto habitacional Chesa Futura.....	182
Figura 107 – Conjunto habitacional Duisburg.....	182
Figura 108 – House of the future.	184
Figura 109 – Hockerton Energy Project: vista do exterior a Poente.....	185
Figura 110 – Hockerton Energy Project: vista do exterior a Nascente.....	185
Figura 111 – Corte transversal de uma habitação em Hockerton.	186
Figura 112 – Conceito global de Hockerton Energy Project.	187
Figura 113 – Idem. Planta ilustrada.	187
Figura 114 – Habitação em Hockerton. Vista do interior da estufa.	187
Figura 115 – Bed Zed Factory, Beddington Zero Energy Development.....	188
Figura 116 – Vista aérea do Bairro de Kronsberg.	189
Figura 117 – Projecto HABITAT: Edifício.	190
Figura 118 – Projecto HABITAT: Tipologias.	190

Figura 119 – Edifício com controlo micro climático avançado – Fachadas laterais do bloco.	191
Figura 120 – Idem – Padrão dos toldos reguláveis para posição de Inverno ou de Verão.....	191
Figura 121 – Ibidem – Aspectos da fachada principal do conjunto habitacional.....	191
Figura 122 – Edifício com controlo micro-climático avançado – Esquema de Verão.	192
Figura 123 – Edifício com controlo micro-climático avançado – Esquema de Inverno.....	192
Figura 124 – Vista aérea do Bairro de Vauban.....	193
Figura 125 – Espaço público sem carros.....	193
Figura 126 – Silos automóveis.	193
Figura 127 – Habitações passivas.	194
Figura 128 – Vista e secção de casa solar.....	196
Figura 129 – Vista e secção de parede exterior de casa com sistema construtivo alternativo.....	197
Figura 130 – Conjunto habitacional em Gondifelos.	198
Figura 131 – Conjunto habitacional de Ponte da Pedra.	200
Figura 132 – Maison de Verre.....	202
Figura 133 – Cúpula na Expo de Montreal.....	202
Figura 134 – Museu Menil.	203
Figura 135 – Diafragmas de controlo de iluminação e sombreamento.....	203
Figura 136 – Escritórios GSW.....	204
Figura 137 – Edifício reabilitado ao abrigo do Projecto INTEGER. Aspecto exterior.....	211
Figura 138 – Idem. Dispositivo de ventilação.....	211

Índice de tabelas

Tabela 1 - Emissões de gases com efeito de estufa de 1990 a 2004 em Portugal por sectores.	28
Tabela 2 – Implicações ambientais das diferentes densidades habitacionais.....	58
Tabela 3 – Indicadores comuns europeus (principais e secundários).	61
Tabela 4 – Principais objectivos e instrumentos da boa governância.	88
Tabela 5 – Área de captação solar recomendada para estufas.....	110
Tabela 6 – Energia absorvida no fabrico de diferentes materiais de construção.....	135
Tabela 7 – Hierarquia preferencial para a escolha de materiais para o isolamento de paredes.	156
Tabela 8 – Hierarquia preferencial para a escolha de materiais para a construção de portas e janelas.	157
Tabela 9 – Método de avaliação LiderA v1.02.	168
Tabela 10 – Método de avaliação HQE.....	170
Tabela 11 – Método de avaliação BREEAM.....	171
Tabela 12 – Método de avaliação ECOHOMES.....	173
Tabela 13 – Método de avaliação PIMWAG.....	173
Tabela 14 – Usos de energia previstos pelas intervenções do programa SUNH.	195
Tabela 15 – Usos de energia previstos depois das intervenções de reabilitação do programa SHINE.....	212

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA HABITAÇÃO

1. Introdução

Ponto de partida: conceito de sustentabilidade

O compromisso com o futuro é o dado novo de uma época em plena crise ambiental. Com a consciência de que a acção humana compromete a qualidade do futuro, cada vez mais próximo do presente, torna-se urgente repensar as formas de organização e de construção do *habitat*.

O conceito de sustentabilidade surge como uma resposta preventiva para a possibilidade de colapso do modelo de civilização dominante, tanto numa perspectiva conservadora, considerando essencial o princípio da precaução, como numa perspectiva reformista, questionando os modos de produção e de consumo que imperam na nossa sociedade.

A sustentabilidade, resultante da consciência da espécie e da sua possível extinção, baseia-se na auto-limitação da acção do Homem sobre o meio, de acordo com as suas implicações biológicas. O limite dos recursos e da capacidade de carga e de regeneração do planeta são assim considerados limites irreversíveis que urge conhecer e controlar.

Objecto: habitação urbana

As soluções para promover a sustentabilidade ambiental do *habitat* humano construído estiveram por algum tempo associadas à imagem de um mundo rural isolado e organizado em comunidades autónomas, onde os recursos eram geridos apenas localmente. Mas hoje, no mundo globalizado pela informação e comunicação, o ideal de sustentabilidade do ambiente construído libertou-se do estigma rural e encontrou na habitação urbana um terreno de intervenção fértil, onde indivíduo e colectivo, residência, trabalho e lazer, ambiente construído e natural, podem reorganizar relações.

O desenvolvimento urbano residencial demonstra, ao longo do seu ciclo de vida, sinais de insustentabilidade a combater: são consumidos valiosos recursos (cerca de 50% da produção energética mundial), produzidos impactes irreversíveis e adoptados comportamentos urbanos de risco. A sustentabilidade habitacional emerge como um tema com vários níveis de leitura: as diferentes escalas de acção sobre o território cruzam-se com os diferentes domínios disciplinares (ex., economia, sociologia, biologia). No domínio da arquitectura este tema traduz-se essencialmente na procura da relação equilibrada entre *conforto habitacional* e *desempenho ambiental*.

Tema: arquitectura e sustentabilidade ambiental

O que hoje se designa por *ambiente* abrange uma gama de temas que se estende do ruído de uma rua aos problemas da floresta tropical, de uma praia poluída ao buraco do ozono, ou de uma chaminé fabril ao efeito de estufa.

A sustentabilidade ambiental como atitude remete tanto para o mais tangível acto, como o de fechar uma torneira, como para o mais remoto pensamento sobre a ética da nossa intervenção sobre o Planeta.

Num futuro em risco a vida urbana não poderá evoluir sem reencontrar uma forma durável de gerir e transformar os recursos naturais. O aprofundamento do conhecimento sobre as estratégias e os métodos para a melhoria do desempenho ambiental de zonas edificadas, e em particular da habitação, afigura-se prioritário. É urgente generalizar as soluções para que a arquitectura habitacional possa melhorar a sustentabilidade ambiental do meio urbano.

Propõem-se neste estudo duas atitudes de base para o projecto de edifícios sustentáveis: pensar o edifício como um organismo que efectua trocas de energia, de materiais e de informação com o seu meio; e quantificar as implicações ambientais de cada decisão projectual, para que se possa avaliar o custo ambiental com o mesmo rigor que o custo económico.

As estratégias de sustentabilidade ambiental para edifícios e bairros, quando integradas em projectos não determinam um universo formal único, podendo em cada projecto assumir uma expressão arquitectónica própria.

Objectivos: organização de informação

A arquitectura ecológica tem sido uma resposta multi-facetada à necessidade de tornar os edifícios menos vulneráveis à situação de crise ambiental e menos prejudiciais ao ambiente, interpretando a natureza como envolvente dialogante, mas também como precioso recurso.

Este estudo apresenta uma síntese dos conhecimentos mais relevantes sobre arquitectura sustentável e sobre desempenho ambiental de edifícios e áreas residenciais. Pretende-se disponibilizar e tornar acessível informação sobre a sustentabilidade ambiental, evidenciando que esta deve ser uma vertente complementar da qualidade residencial.

O estudo reúne informação de base, vocacionada tanto para o projecto de arquitectura, como para a investigação futura sobre as diversas áreas e escalas do ambiente construído. Apontam-se recomendações gerais, descrevem-se soluções e debate-se sobre as formas de conceber edifícios gerindo o equilíbrio entre o ambiente e a satisfação das necessidades humanas, a curto prazo e a longo prazo.

Estrutura: do problema à solução

O estudo foi desenvolvido com vista a dar resposta a diversas questões que o tema da sustentabilidade da habitação suscita. A estrutura do presente relatório reflecte essa abordagem, fazendo corresponder a cada questão um capítulo:

Capítulo 2 – O que há de insustentável no nosso habitat?

É caracterizado o problema da crise ambiental associada às áreas residenciais urbanas, assumindo-se que a sustentabilidade não sendo um conceito absoluto é sempre relativa a uma determinada situação

de partida. São também abordadas as reacções despoletadas pelos problemas identificados, sintetizando-se a consolidação evolutiva do conceito de sustentabilidade.

Capítulo 3 – Quais os recursos e escalas territoriais essenciais para a sustentabilidade urbana e em que princípios se deve basear uma produção habitacional mais sustentável?

São analisados os principais recursos ambientais a gerir na intervenção sustentável ao nível do ambiente construído e é descrito o contributo de cada escala de planeamento e projecto para a definição de um habitat urbano sustentável. Em seguida são também identificados os princípios de bom desempenho ambiental para edifícios e áreas urbanas, incidindo na função residencial, visando-se a protecção de recursos ambientais e a simultânea satisfação de exigências habitacionais.

Capítulo 4 – Como pôr em prática alguns princípios de habitação sustentável no projecto de arquitectura?

A eficiência energética e a gestão ecológica dos materiais de construção destacam-se de entre os princípios de bom desempenho ambiental para edifícios e áreas urbanas, pelo que são descritas estratégias para a sua concretização no projecto de arquitectura.

Capítulo 5 – Quais os exemplos de aplicação mais relevantes e quais as tendências de evolução mais significativas?

São descritas diferentes aplicações do conceito de sustentabilidade ambiental à arquitectura e apresentados edifícios habitacionais e áreas residenciais demonstrativos, tanto do panorama internacional como nacional. São também apontados os principais rumos de inovação, as tecnologias emergentes e as questões que se tendem a colocar no que respeita à expressão formal da sustentabilidade em edifícios.

Enquadramento: projecto de investigação "Habitação para o Futuro"

O estudo foi desenvolvido no âmbito do projecto de investigação "Habitação para o Futuro", que decorreu no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) entre 2001 e 2005. Este projecto integrou o Plano de Investigação Programada do LNEC para o quadriénio de 2001-2004 e contou com o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, concedido ao abrigo do programa Sapiens 2001 (POCTI/AUR/39795/2001).

O projecto de investigação foi dividido em três estudos, referentes a diferentes vertentes do tema, designadamente:

- "Tipos emergentes de habitação" (vertente social), sobre a concepção de modelos habitacionais mais adequados aos modos de vida presentes;
- "Habitação ecológica" (vertente ambiental), sobre os modos para atingir sustentabilidade no ambiente residencial;
- "Novas tecnologias na habitação" (vertente tecnológica), sobre o uso das novas tecnologias na habitação e áreas residenciais.

A equipa do LNEC que desenvolveu o projecto foi coordenada pelo Arq.º Reis Cabrita e constituída por:

- "Tipos emergentes de habitação" – Arq.º Luís Morgado e Arq.º António Reis Cabrita;
- "Habitação ecológica" – Arq.ª Joana Fazenda Mourão e Arq.º João Branco Pedro;
- "Novas tecnologias na habitação" – Arq.ª Sara Eloy e Arq.ª Isabel Plácido.

Para além desta equipa o projecto contou com o apoio de outros sectores do Departamento de Edifícios do LNEC (Grupo de Ecologia Social e Chefia do Departamento) e de dois parceiros exteriores: o Departamento de Ambiente da Universidade Nova de Lisboa e a firma Tirone Nunes SA.

O presente relatório apresenta resultados do estudo "Habitação ecológica". O relatório concluído em Janeiro de 2005 foi posteriormente revisto com a colaboração de especialistas do LNEC.

Ilustração: fontes

O relatório é ilustrado com imagens de diversas fontes: publicações, Internet, colegas e autores. As imagens obtidas em publicações são referenciadas com o respectivo título, as imagens retiradas da Internet são referenciadas com o endereço do site, e as imagens facultadas por colegas são identificadas com o respectivo nome.

2. Insustentabilidade actual e reacções

As alterações climáticas globais, o esgotamento de recursos, a poluição, a destruição de ecossistemas, a extinção de espécies, a deterioração da qualidade de vida, e a fraca equidade no acesso a recursos e ao conhecimento demonstram que os padrões que regem as actividades humanas se estão a tornar insustentáveis em termos sociais, económicos e ambientais. Os aglomerados urbanos destacam-se como pontos críticos, onde a concentração de milhões de habitantes coloca em risco o próprio futuro da urbanidade.

Face aos sintomas de crise ambiental a opinião pública mostra duas faces: a da visão apocalíptica do nosso futuro, defendendo que qualquer acção de protecção do ambiente é justificada, ou a da visão céptica acusando os ambientalistas de se basearem em evidências falsas ou de deslocarem problemas em vez de os removerem, dispersando esforços inutilmente. Num ponto estão de acordo: há problemas ambientais a resolver e é urgente compreendê-los para que se possam estabelecer prioridades e conduzir acções eficazes para a melhoria da sustentabilidade ambiental.

Os sintomas de insustentabilidade surgem também em Portugal e, à medida que a crise ambiental se evidencia e afecta os níveis de conforto, a preocupação com a defesa do ambiente aumenta e desperta os vários sectores da sociedade.

2.1 Situação global

2.1.1 Alterações climáticas

Quando o Homem iniciou a queima intensiva de carvão e petróleo introduziu na biosfera um processo de conversão de carbono em dióxido de carbono que alterou irreversivelmente a evolução do seu meio. Nos últimos 50 anos as emissões de dióxido de carbono quadruplicaram e hoje podemos afirmar que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera é em grande parte responsável pelo fenómeno das *alterações climáticas*.

A consciência colectiva deste fenómeno cresce a par da degradação das condições de vida e do desconforto trazido pela crescente imprevisibilidade do clima. As alterações climáticas permanecem um tema crítico pois não há certezas absolutas sobre as causas e as consequências que o aumento da concentração de CO₂ poderá ter no clima.

O ciclo do carbono

Os fluxos fundamentais do ciclo global de dióxido de carbono são: de *circulação* por via dos oceanos, de *fixação* através da fotossíntese, e de *libertação* decorrente da respiração das plantas e microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica no solo (Figura 1).

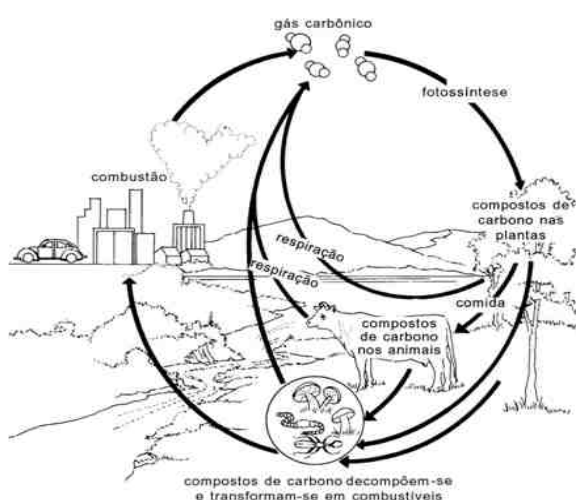


Figura 1 – Esquema síntese do ciclo do carbono.
(fonte: www.escolavesper.com.br)

O equilíbrio do ciclo do carbono está ameaçado pelo aumento ilimitado do consumo de combustíveis fósseis. O funcionamento dos ecossistemas humanos artificiais depende da combustão de carbono, originando uma constante e intensiva libertação de CO₂. É desta produção adicional de CO₂ que reside a causa do desequilíbrio do ciclo, bem como a causa do agravamento do efeito de estufa, principal responsável pelas alterações climáticas¹.

1 O efeito de estufa natural tem um papel vital no funcionamento da biosfera; sem ele a temperatura média do Planeta seria não de +15 °C mas sim de -15 °C e a Terra estaria coberta de gelo. Com o efeito de estufa antrópico é previsível um aumento da temperatura: até ao fim do séc. XXI assistir-se-á a um aumento entre 2 °C e 5 °C da temperatura

Desde o início do séc. XX a temperatura média do Planeta subiu pelo menos meio grau, tendo a subida sido acentuada a partir de 1970, devido ao aumento das emissões de CO₂ e de outros gases intensificadores do efeito de estufa antropogénico.

O principal problema do aquecimento global é a sua rapidez, e as adaptações que exige num curto espaço de tempo, especialmente num mundo densamente povoado, onde as possibilidades de migração são restritas. As adaptações que o Homem e os ecossistemas terão de desenvolver para sobreviverem ao novo clima serão condicionadas pela perda de território, causada tanto pela subida do nível das águas do mar como pela erosão dos solos.

Ignorar estes factores de risco a longo prazo, ainda que leve a ganhos económicos a curto prazo, pode afectar as populações, ao negligenciar as necessidades de milhões de pessoas cujos meios de subsistência dependem de recursos naturais. Existe, assim, uma forte pressão política para regulamentar as emissões de CO₂, enquadrada pelo Protocolo de Quioto e conduzida pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) mas a maior parte das questões que se referem ao agravamento do efeito de estufa não são fáceis de resolver, pois este fenómeno está profundamente enraizado em duas actividades económicas de base: a produção agrícola e a produção de energia.

Embora seja a partir da era industrial que o Homem entra claramente em ruptura com a natureza, é desde há muito que o ser humano transforma o seu meio, tal como as outras espécies vivas foram fazendo ao longo da história do Planeta. O que é novo na atitude do Homem industrial, não é o facto de transformar a natureza, embora o faça cada vez mais depressa, mas sim o facto de ser capaz de compreender, medir e prever a modificação que introduz. Hoje a protecção da natureza é apenas um aspecto do domínio da natureza pelo Homem, assente no domínio de si próprio². Observa-se que os países mais desenvolvidos, no que se refere ao Produto Interno Bruto, são também aqueles que alcançam um desempenho mais elevado no Índice de Sustentabilidade Ambiental (Figura 2).

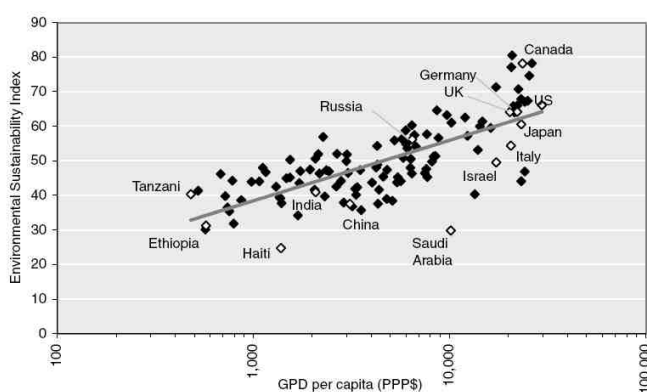


Figura 2 – Relação entre valores do PIB e o indicador de sustentabilidade ambiental ESI. (fonte: The Sceptical Environmentalist)

média do Planeta. Este aumento de temperatura média terá como consequência um nível de desconforto significativo nos países mediterrâneos.

Smith – Sustainability at the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.

² Kandel – A evolução dos climas, 1990.

O ambiente globalizado

O desafio da sustentabilidade ambiental impõe-se em duas dimensões: por um lado tratar a escassez de recursos naturais para as pessoas pobres do mundo e, por outro, inverter os danos ambientais resultantes do elevado consumo dos países ricos³, entre os quais se destacam as alterações climáticas. Entrámos num novo milénio arrastando problemas ambientais ameaçadores⁴, mas devemos enfrentar o futuro com objectivos de equidade e estratégias de mudança.

Em poucos anos multiplicaram-se exponencialmente as agressões ao meio ambiente. As evidências de irreversibilidade da degradação, de limitação dos recursos e de capacidade de carga do Planeta denunciam a insustentabilidade do desenvolvimento actual e alimentam a ideia de *saturação*.

Simultaneamente, as crescentes democratização, liberalização e globalização, sob a égide do mundo ocidental, aproximam as populações e despertam por um lado, um desejo de uniformidade nos níveis de vida e de conforto, levando a um aumento significativo dos consumos nos países em desenvolvimento, e por outro, um sentimento generalizado de consciência e interacção ambiental. Cada vez mais se toma consciência de que hoje, no contexto de uma economia global, uma ameaça ambiental num país pode causar inúmeros impactes deslocalizados.

O mundo é hoje um lugar mais uno mas mais injusto, onde a deslocalização de benefícios e prejuízos é cada vez maior e mais subversiva. Quem polui não é necessariamente quem sofre os efeitos das alterações ambientais, quem usufrui de determinados níveis de conforto não é necessariamente quem paga a respectiva "factura ambiental".

2.1.2 Crescimento populacional e urbano

Todos os anos 20 milhões de pessoas migram para as cidades, existindo já mais de 20 cidades com mais de 10 milhões de habitantes⁵. Alojando cerca de 80% da população mundial, as cidades entraram em ruptura. Ao crescer, homogeneizaram-se, reproduzindo e agravando os seus principais problemas, como, por exemplo, o congestionamento, a contaminação, a reduzida qualidade do ambiente, a fragmentação das redes sociais ou a ausência de uma vida saudável para os seus habitantes.

A generalização do uso da viatura privada e o conseqüente aumento do parque automóvel, de forma desproporcionada em relação à disponibilidade de estacionamento, tornou-se um dos principais problemas do ambiente urbano, a nível europeu. Mesmo nas cidades onde muitos se deslocam de bicicleta ou em transportes públicos o estacionamento tornou-se escasso, complicando visivelmente as rotinas, tanto dos automobilistas, como dos cidadãos em geral.

O alargamento de infra-estruturas de saneamento e de abastecimento de água e energia, feito sem critérios de eficiência, contribui também para o alastramento da urbanização insustentável e provoca

³ ONU – Relatório do desenvolvimento humano, 2003.

⁴ LOMBORG – The sceptical environmentalist, 2002.

⁵ CIB – Agenda 21 para a construção sustentável, 1999.

fortes impactes ambientais, condenando territórios que hoje urge reorganizar e reestruturar, de acordo com políticas de eficiência e sustentabilidade.

Em simultâneo, algumas cidades europeias começaram a sentir os efeitos de um processo inverso ao da urbanização crescente: a estagnação e redução de áreas urbanas. Enquanto as áreas metropolitanas se deparam com a gestão de um vasto parque construído, em grande parte resultante de crescimentos rápidos, algumas cidades pequenas e médias nos países do Norte Europeu estudam já planos de redução e demolição de edifícios remanescentes – são as *shrinking cities*.

Nas cidades ainda em crescimento afigura-se urgente recorrer a estratégias para combater a expansão urbana ilimitada, designadamente de fixação de limites urbanos, de compactação urbana – sem prejuízo dos espaços abertos –, de multi-funcionalização de bairros, de reciclagem ou renovação da construção existente, e de promoção generalizada da agricultura urbana.

Muitos dos problemas urbanos estão relacionados com o papel triplo que a natureza tem no desenvolvimento urbano, onde é um *recurso*, um *espaço de localização* e ainda uma *envolvente* para a nossa existência⁶. A cidade incorpora necessidades e expectativas que se satisfazem recorrendo à natureza, e os milhares que rumam às cidades multiplicam essas necessidades e expectativas começando a pôr em risco o futuro das gerações seguintes.

A ocupação ilegal de terrenos e a construção de bairros clandestinos de elevada densidade torna-se um dos piores flagelos das cidades, sobretudo em África e na América Latina. Algumas destas áreas residenciais, mesmo que legalizadas, apresentam graves indicadores de sustentabilidade, pois não oferecem saneamento básico, a sua reabilitação é inviável, as suas habitações são energeticamente ineficientes, e por último, a sua localização dispersa e periférica não se coaduna com políticas de mobilidade e transportes sustentáveis.

Na actualidade, o desenvolvimento urbano é visto ainda como um processo para economizar trabalho nos processos de produção, objectivo que desde sempre esteve na formação das cidades. Contudo, nos princípios do século XXI, a palavra *desenvolvimento* significa também conservar e manter insubstituíveis recursos naturais e humanos.

Impactes ambientais da cidade

A cidade é o principal *habitat* humano, um *habitat* complexo e artificializado cujos habitantes e infra-estruturas, dependentes do consumo de combustíveis fósseis, produzem grandes desequilíbrios nos processos naturais. O problema ambiental da cidade não é a sua "urbanidade" mas sim a sua dependência dos combustíveis fósseis e a contaminação que estes geram. Os impactes ambientais da cidade industrializada são inúmeros destacando-se os descritos em seguida.

⁶ Hall, Pfeiffer – Urban future 21 a global agenda for twenty-first century cities, 2000.

Ilha de calor urbano

Corresponde a uma zona de temperatura mais elevada do que a sua envolvente territorial, provocada pelas actividades urbanas. Existe uma relação directa entre a densidade e população de uma cidade e a intensidade do seu efeito de ilha de calor urbano.

A subida da temperatura urbana, resultante deste efeito, aumenta as necessidades energéticas para arrefecimento aumentando também as emissões de gases com efeito de estufa. Estes gases e outros poluentes contribuem por sua vez para o aumento global da temperatura, gerando um ciclo prejudicial.

Uso intensivo do solo

Nos impactes ambientais urbanos o solo é o recurso que mais directamente sofre com a edificação e infra-estruturação, e que ainda assim continua a ser desperdiçado em áreas urbanas e suburbanas. O solo é a plataforma terrestre primordial para a acção biosférica, complementada pelas superfícies hídricas, elas próprias também cada vez mais afectadas pela urbanização.

A *pegada ecológica*⁷ é uma forma representativa do impacte ambiental do Homem, traduzida em consumo de solo em hectares. Este indicador expressa o consumo *per capita* em áreas de solo produtivo (solo agrícola, florestal, pastos, pescas, solo energético⁸ e solo ocupado) equivalente ao necessário para disponibilizar recursos e assimilar resíduos. A pegada ecológica facilita a visualização do impacto das actividades humanas sobre a biosfera, mas na verdade é um instrumento que mede muito mais do que solo, pois os hectares consumidos representam biosfera disponível, e não apenas solo inactivo. A pegada ecológica total (contabilizando as seis categorias de ocupação referidas) em valores médios mundiais, apresentada pelas entidades competentes em 2005, com dados de 2001, atinge o impressionante valor de 21,91 hectares *per capita*. Na mesma fonte à União Europeia é atribuída uma pegada ecológica de 60,70, e de 95,99 aos Estados Unidos⁹.

Tráfego e contaminação

A intensificação do tráfego, inicialmente resultante da maximização da acessibilidade oferecida pelas cidades, acaba por causar a congestão e uma significativa perda de qualidade de vida nas cidades, causando desperdício de tempo e o aumento da degradação ambiental. O uso intensivo da viatura privada é um problema que contribui também para a ineficiência de infra-estruturas de transportes públicos em muitas cidades europeias, bloqueando o progresso em direcção a uma mobilidade urbana mais sustentável. A contaminação é não só intensificada pelas emissões do tráfego automóvel, como também pela crescente produção de resíduos. Resolver o problema da acumulação de resíduos passa por transformá-los numa fonte de produção de energia ou de bens, contribuindo para a redução do desperdício ao mínimo e para fechar o ciclo dos materiais.

⁷ Wackernagel, Rees – Our ecological footprint, 1994.

⁸ Entende-se por "solo energético" (*energetic land*) o solo ocupado para a produção e energia.

⁹ Redefining Progress, The nature of economics – Sustainability indicators program, 2005.

Impacte na qualidade da água

A contaminação directa ou através do solo atinge inúmeros aquíferos em zonas urbanas, reduzindo cada vez mais a diminuta percentagem de água potável disponível no Planeta. A expansão das superfícies urbanas impermeabilizadas provoca desequilíbrios hidrológicos nos processos de infiltração natural da água, provocando grandes descargas e cheias que contribuem para o agravamento da erosão do solo. A ausência de espaços com vegetação e a reduzida parte do solo coberta com matéria vegetal dificultam a evapo-transpiração e deixam o solo desprotegido.

Impacte na qualidade do ar

A recente limitação das emissões da combustão fóssil reduziu a poluição de muitas cidades. No entanto, hoje o uso e número crescente de veículos é um dos maiores contributos para o agravamento da poluição do ar, mesmo que estes tenham melhorado nos parâmetros da sua eco-eficiência. A degradação da qualidade do ar e do ambiente sonoro são, geralmente, proporcionais ao crescimento do tráfego rodoviário.

A poeira urbana é outro impacte ambiental urbano, resultante de obras, de fumos de exaustão, do tráfego, da indústria, entre outros, que se acumulam nos materiais porosos e que têm efeitos nocivos sobre a qualidade do ar e sobre a saúde.

Impacte aerodinâmico

Tal como as temperaturas, também os ventos têm características específicas em áreas urbanas. A velocidade do vento é em geral mais baixa em áreas urbanas do que em áreas rurais desobstruídas, devido às barreiras causadas pelos edifícios altos e sobrepostos. O vento afecta a temperatura, a evapo-transpiração e é um factor determinante ao nível do equilíbrio micro climático, e dos consumos energéticos, e influi também na qualidade do ar.

Impactes ambientais da habitação

Dentro das cidades, a habitação é um lugar onde a colectividade, as famílias e os indivíduos são particularmente sensíveis à degradação ambiental. Contudo, a habitação, é ela própria responsável por impactes ambientais significativos, em dois domínios distintos: a construção e o uso. Estas duas fases do ciclo de vida da habitação são geradoras de consumos de recursos e de emissões devidas, respectivamente, a determinados modos de edificar e de habitar¹⁰.

¹⁰ Excluiu-se nesta análise mais global o problema da demolição que será tratado nos capítulos 3 e 4.

Construir

A construção que geralmente se pratica nos países europeus é pouco eficiente no consumo de recursos e nega ainda grande parte dos processos da produção industrial, já correntes noutros sectores de actividade¹¹.

São vários os autores que apontam o atraso das tecnologias da indústria da construção corrente em comparação com as tecnologias da indústria automóvel, onde um veículo de alta complexidade e eficiência pode ser montado numa hora¹².

Construir não só consome como desperdiça recursos. Parte deste desperdício constitui resíduos, originando novos consumos de recursos, necessários para o seu tratamento, eliminação e minoração de riscos de contaminação. A generalidade da habitação não prevê formas de gerir o desperdício, nem durante o processo de edificação, nem durante o uso futuro, e muito menos no fim da vida do edificado. O ciclo exponencial de consumos perpetua-se, assim, tanto nos edifícios como nos bairros e cidades inteiras.

Para contrariar este contributo para insustentabilidade ambiental da habitação, a sua construção pode recorrer a processos de normalização que, sem inviabilizar a diversidade, facilitem a gestão eficiente dos recursos e dos impactes ambientais. Porém, são ainda excepções os casos em que esta optimização é regulamentada ou incentivada, o que mais uma vez demonstra a insustentabilidade das nossas cidades, dos nossos bairros, das nossas casas.

Habitar

As opções arquitectónicas de configuração do ambiente construído e, em particular, do ambiente residencial, têm consequências na caracterização da construção, mas também na definição dos modos de uso do edificado. Estes impactes dependem em grande parte do comportamento individual e de hábitos familiares que perduram por várias gerações. A estes hábitos estão associados consumos quotidianos de recursos, alguns dos quais supérfluos, mas enraizados no quotidiano de cada habitante.

Os consumos que resultam da procura de satisfação de requisitos de conforto individual poderão ser minimizados ou pelo recurso a métodos que proporcionem o mesmo conforto com menos consumo, ou por formas de reduzir as próprias exigências de conforto àquelas efectivamente necessárias. Como é defendido por James Lovelock¹³, para um futuro sustentável "temos todos de ser mais frugais".

A produção e separação de resíduos, a título de exemplo, é uma actividade do habitar contemporâneo com impactes ambientais muito significativos e onde as infra-estruturas têm um papel decisivo na adesão dos habitantes à sua prática.

¹¹ Cannatà, Fernandes – Casa inteligente, 2002.

¹² Daniels – Light tech, low, tech high tech, 1998.

¹³ Lovelock – A vingança de Gaia, 2007.

Associada à gestão racional de recursos, a conservação do edificado tem grandes contributos para a minimização dos impactes do ambiente construído residencial, mas tem sido negligenciada por moradores e proprietários. Espera-se que, com o impulso da reabilitação, esta situação se inverta e se valorize a manutenção da habitação como estratégia para o aumento da eficiência ecológica das áreas residenciais.

2.2 Bases para a sustentabilidade

2.2.1 Desenvolvimento sustentável

Os sintomas de insustentabilidade levaram a comunidade internacional a empenhar-se na procura de uma alternativa ao crescimento convencional, designada por "desenvolvimento sustentável". Foram realizados esforços no sentido de transpor o conceito de desenvolvimento sustentável para o ambiente construído, tendo-se assumido o compromisso de que as intenções de protecção do ambiente se devem reflectir na regulação dos níveis de desempenho ambiental das comunidades urbanas.

Existe um enquadramento conceptual, recomendativo e legislativo da problemática da sustentabilidade ambiental na habitação e áreas residenciais, bastante consolidado a nível internacional. Contudo, não nos devemos cingir a estes conceitos, recomendações e regulamentos, pois é necessário evitar que o consenso internacional domine as especificidades regionais.

Na definição original entende-se por desenvolvimento sustentável o *desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração actual sem comprometer a capacidade das gerações vindouras satisfazerem as suas próprias necessidades*¹⁴. Mas como devemos definir estas necessidades? Devemos tomar como necessidades de referência as do mundo desenvolvido ou as dos países em vias de desenvolvimento? O que é uma necessidade real e o que faz com que uma necessidade possa ser considerada supérflua?¹⁵

Durante milénios, o Homem adaptou-se ao meio e soube encontrar sistemas de exploração racional dos recursos, permitindo a sua renovação cíclica. Contudo, a civilização não se satisfez com este processo equilibrado e quebrou a continuidade natural do seu desenvolvimento, definindo um futuro que é hoje o nosso presente.

2.2.2 Ambiente construído sustentável

Na civilização ocidental as preocupações de controlo da relação entre ambiente natural e construído remontam, pelo menos, às recomendações de Vitruvio¹⁶, correspondendo a uma abordagem centrada no Homem, tomando a natureza e os recursos como uma via para a satisfação incondicional das suas necessidades. Este paradigma não se alterou durante os dois milénios seguintes. Porém o consumo de recursos e a agressividade com que nos servimos da natureza aumentou à medida que fomos

¹⁴ ONU – Report of the world commission on environment and development: Our common future, 1987.

¹⁵ Ruano – Ecurbanismo, entornos humanos sostenibles: 60 proyectos, 1999.

¹⁶ Cofaigh – The climatic dwelling, 1996.

substituindo os combustíveis da superfície terrestre pelos combustíveis fósseis, extraídos do subsolo. No séc. XIX, as condições insalubres das cidades industriais levaram ao surgimento dos movimentos higienistas e de conservação da natureza na cidade, originando o conceito de cidade jardim. Mas a natureza e os recursos, entendidos como ilimitados, continuaram a ser postos ao serviço das necessidades das populações¹⁷.

Apesar de defender o papel social da arquitectura e do urbanismo, o Movimento Moderno tomou a natureza como mero pano de fundo da urbanização, para o bem-estar dos seus habitantes. O acesso solar, a ventilação natural e a relação com os espaços verdes são vistos como factores essenciais, mas o paradigma mantém-se e o controlo do consumo de recursos não se evidencia como um problema para além das questões económicas.

É a partir dos anos 70, com a ocorrência dos choques petrolíferos de 73 e 79, que o paradigma começa a sofrer alterações. Na Arquitectura e no Urbanismo instaurava-se o regionalismo, retomando o significado das características do lugar e o papel do clima, mas negando qualquer determinismo geográfico. É então que o desenho urbano e a arquitectura desenvolvem as primeiras experiências de integração controlada na natureza ou de "bioclimatismo" e também quando se iniciam as primeiras regulamentações térmicas para os edifícios. Abre-se o debate sobre a cidade sustentável. Defende-se uma cidade que proteja e conserve os sistemas de suporte da vida na Terra, a biodiversidade e o ambiente cultural; minimize a poluição; use os recursos de forma eficiente; e ao mesmo tempo promova o progresso e a interacção entre grupos e povos.

À tríade vitruviana (*firmitas* – refere-se à estabilidade e ao carácter construtivo da arquitectura; *utilitas* – originalmente ligado à comodidade, foi associada ao longo da história à função e ao utilitarismo; *venustas* – associada à beleza e à apreciação estética) é adicionado um quarto ideal: *restituitas* ou restabelecimento, segundo o qual o acto de edificar deve gerir o meio ambiente local e global, num sentido ecológico a longo prazo, prevendo os ciclos de reposição dos recursos que utiliza¹⁸.

2.2.3 Urbanismo sustentável

A cidade desempenha um papel cada vez mais importante na criação de estímulos de mudança económica, social e tecnológica. A dinâmica do crescimento metropolitano escapa às simples medidas de planeamento local e exige uma visão estratégica dos problemas e uma capacidade de relacionar os vários sectores dentro de um quadro alargado de planeamento.

O relatório europeu Urban Strategy (2003) define desenho urbano sustentável como: "o processo em que os actores envolvidos – nacionais, regionais e locais, cidadãos, sociedade civil e organizações comunitárias, investigação, instituições académicas e profissionais – trabalham juntos através de sociedades e processos de participação efectivos para integrar considerações funcionais, ambientais e qualitativas no desenho, planeamento e gestão de um ambiente construído que¹⁹:

¹⁷ Ruano – Ecurbanismo, entornos humanos sostenibles: 60 proyectos, 1999.

¹⁸ EC (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

¹⁹ UE – Working group on sustainable urban design, Final report, 2004.

- cria lugares belos, seguros e saudáveis onde se desenvolve um sentido de orgulho comunitário, equidade social, coesão, integração e identidade;
- promove a regeneração urbana eficiente e contínua;
- preserva os solos não utilizados pela construção e opta pela densificação;
- promove usos mistos do solo para beneficiar das relações de proximidade;
- tem densidade e intensidade de actividades adequadas para que os serviços comuns sejam viáveis;
- otimiza a qualidade ecológica das áreas urbanas;
- promove infra-estruturas de acessibilidade de qualidade;
- utiliza as tecnologias actuais de economia de recursos;
- respeita e interpreta o património cultural existente.

2.2.4 Construção sustentável

A construção é, na União Europeia, o maior sector industrial, sendo o que mais consome recursos naturais – espaço, materiais, energia e água – e o que mais produz impactes ambientais negativos. Em Portugal, o sector da construção consome grande parte dos recursos humanos e financeiros disponíveis e a construção é a principal empregadora a seguir ao Estado²⁰.

Para uma construção mais sustentável a solução consensual parece residir na racionalização, em duas dimensões temporais: as construções de ontem e as construções de amanhã. Mas esta racionalização exige repensar o processo construtivo de modo: a considerar os aspectos do clima, da cultura, das tradições construtivas e da fase de desenvolvimento industrial local; a aumentar a colaboração entre projectistas e construtores; a melhorar a gestão de obra; e a criar mais oportunidades para a reciclagem.

Os objectivos da construção sustentável exigem um esforço de mudança nas práticas da construção e do seu planeamento em projecto, bem como uma melhor compreensão dos ciclos de recursos envolvidos e das necessidades e requisitos dos futuros utentes. De entre estes destacam-se os seguintes:

- a integração de tecnologias de poupança energética;
- a concepção de processos construtivos reversíveis e modulares;
- o uso e a reutilização de materiais naturais locais;
- a boa gestão da água e redução das águas residuais;
- a promoção da longevidade e da multi-funcionalidade de edifícios;

O relatório Urban Strategy para a construção sustentável (2004) assume que os projectos demonstrativos neste domínio ainda não alcançaram o impacto desejado no contexto do mercado. Na prática verifica-se que muitos desses projectos, que pretendiam ser de referência, tornaram-se

²⁰ BCSD Portugal – Construção sustentável: Os principais desafios em Portugal, 2006.

exemplos negativos, sobretudo por negligenciar a dimensão cultural e estética da construção²¹. Citando este relatório: *o resultado é que o objectivo de criar uma referência positiva é invertido e o edifício torna-se uma referência do que não fazer!*

É ainda referido, neste relatório, que muitas das medidas para tornar a construção mais sustentável podem ser descobertas na construção europeia tradicional pré-industrial, inspirando técnicas de construção contemporânea, adaptadas às necessidades de conforto actuais.

2.2.5 Arquitectura sustentável

Uma arquitectura sustentável deve ter em conta os domínios ambientais, sociais e económicos envolvidos na criação de condições de habitabilidade, prevendo os impactes a curto e a longo prazo. Como via de relação entre ambiente, sociedade e economia, a arquitectura deve garantir que não incorre em processos irreversíveis de degradação em nenhum desses domínios. A arquitectura sustentável não pode ser limitada à aplicação a princípios gerais ou a recomendações absolutas, pois deve ser uma resposta a requisitos específicos de habitabilidade, num determinado território.

A integração de princípios de sustentabilidade ambiental na arquitectura reflecte-se, geralmente, numa especial atenção à interacção com o clima e uso de energias e materiais endógenos, com vista a atingir elevados níveis de conforto dos utilizadores e um menor impacte ambiental. Diferentes abordagens podem ser adoptadas, designadamente:

- a arquitectura ecológica abrange a globalidade dos recursos naturais e humanos;
- a arquitectura bioclimática trata essencialmente a energia e o conforto;
- a arquitectura solar passiva privilegia a energia solar como fonte para garantir o conforto, a economia e o baixo impacte ambiental.

Arquitectura bioclimática

Ao longo dos tempos o Homem criou formas arquitectónicas que se podem considerar ambientalmente sustentáveis, pois não punham em risco o futuro do ambiente. Contudo, embora as considerações de harmonização com o clima e com os recursos tenham existido na arquitectura desde sempre, foram negligenciadas ou mesmo esquecidas, sobretudo ao longo do processo de industrialização das civilizações.

Estas considerações ressurgiram, nos anos 70, a par do crescimento do movimento ecologista, quando se começou a investigar a relação entre arquitectura e energia. Alguns autores, porém, tinham já reencontrado há algumas décadas o tema da interacção entre um edifício e o meio natural, postulando como deve ser a relação entre a arquitectura e o lugar, entre forma e clima, entre urbanismo e regionalismo, entre ecossistema humano e ecossistema natural, e contradizendo as leis implícitas na arquitectura mais oficial das décadas centrais do séc. XX²².

²¹ UE - Working group on sustainable construction, Final report, 2004.

²² Olgay – Arquitectura y clima, 1998.

A partir de então, procurou-se estabelecer nos edifícios bioclimáticos uma interacção, não só com o clima, mas também com as energias renováveis disponíveis, recorrendo a processos e a fontes naturais para aquecimento ou arrefecimento dos edifícios, sendo prestada uma atenção particular à orientação solar, à localização, aos materiais utilizados e aos processos construtivos.

Arquitectura solar passiva

Tal como se pode considerar a arquitectura bioclimática uma particularização da arquitectura ecológica, podemos tratar a arquitectura solar passiva como uma parte da arquitectura bioclimática. Contudo, uma arquitectura solar passiva pode incorrer em erros que não optimizem o desempenho ambiental, ou que reduzam os seus níveis de conforto, e neste caso perderá as suas credenciais de arquitectura ecológica, ou bioclimática, mesmo que continue a integrar dispositivos e estratégias meritórias de aproveitamento passivo da energia solar.

Podemos apontar razões relevantes para investir numa arquitectura que use energia solar e optimize a relação com o clima local, como, a autonomia, a economia, a redução do consumo de combustíveis fósseis e a minimização da degradação ambiental (menor uso de energia significa menores emissões de CO₂ e de outros poluentes)²³.

Os edifícios solares passivos têm um conjunto de características comuns a uma arquitectura com objectivos de sustentabilidade ambiental:

- a adequada orientação e protecção solar;
- o controlo dos vãos para redução de perdas térmicas e de ganhos solares excessivos;
- o isolamento térmico e a massa térmica, pontual ou geral, aumentando a inércia térmica;
- as estufas ou sistemas de ganho indirecto, como paredes de armazenamento térmico;
- a ventilação e a iluminação natural;
- os sistemas de arrefecimento radiativo ou evaporativo.

Arquitectura ambientalmente sustentável

Uma arquitectura com elevado desempenho em termos de sustentabilidade ambiental deve ser concebida integralmente como um sistema dependente e decorrente do meio natural, num tempo e lugar específicos. Uma arquitectura ambientalmente mais sustentável não se traduz na aplicação de técnicas específicas, mas sim numa lógica global utilizada durante todo o processo de concepção. Esta lógica atravessa as diversas escalas do projecto, desde a integração na envolvente até aos elementos de construção²⁴.

Rótulos como arquitectura bioclimática ou solar passiva são pouco relevantes. O que importa é assegurar adequadas condições de conforto, ambiente e conservação de energia, através de

²³ Cofaigh – The climatic dwelling, 1998.

²⁴ Margarita de Luxan (citada em idem).

estratégias integradas na concepção arquitectónica global²⁵. Pode portanto questionar-se a existência de uma arquitectura específica designada de bioclimática ou solar passiva. Os aspectos bioclimáticos ou solar passivos são aspectos inerentes à arquitectura que por si só não definem o carácter arquitectónico de um edifício²⁶. Contudo, como vários exemplos ao longo deste trabalho o demonstram, uma arquitectura ambientalmente sustentável assume características formais e materiais usualmente diferentes da prática corrente e que não são totalmente invisíveis.

2.3 Documentos de referência

2.3.1 Documentos gerais

O desenvolvimento sustentável tem sido, desde o Relatório Brundtland, uma preocupação constante para um conjunto de organizações internacionais das quais se podem citar o Conselho dos Arquitectos da Europa (CAE), o *Comité International du Bâtiment* (CIB), ou num domínio mais abrangente, a Organização das Nações Unidas (ONU) e a União Europeia (UE). Estas organizações internacionais têm vindo a contribuir com programas de acção ao nível do desenvolvimento sustentável das cidades europeias como a Carta de Aalborg²⁷ e a Carta de Hanôver²⁸.

2.3.2 Agenda 21 e Agenda Local 21

Durante as décadas 70 e 80 a legislação europeia estava vocacionada para a fixação de limites de emissão de determinadas substâncias contaminantes. A partir de meados de 80 passou a estar orientada para a regulação do consumo dos recursos naturais. No início dos anos 90 reconheceu-se a importância das directivas horizontais que regulam as diversas actividades com incidência sobre o meio ambiente.

A Cimeira da Terra de 1992 adoptou um plano de acção para a protecção do meio ambiente que abrange transversalmente temas económicos, sociais e culturais. Este plano foi aceite por 150 países e é conhecido pela designação de Agenda 21. O plano abrange uma grande diversidade de temas, pertencentes às três dimensões da sustentabilidade económica, social e ambiental.

A Agenda 21 deu origem, quatro anos mais tarde, à Agenda Local 21 (AL21) que constitui uma base recomendativa para o desenvolvimento de planos para cidades, autarquias ou comunidades locais. Utilizando este documento como guia, milhares de administrações locais estão empenhadas na criação dos seus próprios planos de acção para o desenvolvimento sustentável. A AL21 tem como objectivos conseguir um mundo mais próspero, justo e habitável e promover um mundo fértil, compartilhado e limpo. Para alcançar estes objectivos a AL21 baseia-se em 10 princípios da defesa

²⁵ Alexandros Tombazis (citado em ibidem).

²⁶ Entrevista a Arq.^a Lúvia Tirone, 2003.

²⁷ UNIÃO EUROPEIA – Carta das cidades europeias para a sustentabilidade, 1994.

²⁸ UNIÃO EUROPEIA – Hanover Call of European municipal leaders at the turn of the 21st century, 2000.

local do ambiente: salvar a água, pensar verde, poupar energia, respirar melhor, evitar o ruído, ganhar tempo, cultivar memórias, saúde e segurança para todos, combater as exclusões e conviver.

Os planos de acção municipais que decorrem da implementação da AL21 abordam as áreas da educação, da cultura e desporto, da acção social, da saúde, da habitação e urbanismo, do saneamento e saúde, da protecção civil, do abastecimento público e actividades económicas, das comunicações e transportes, para além da defesa do meio ambiente.

Estes planos são um meio de negociação entre a autarquia e os diferentes grupos, sectores ou movimentos de opinião do município e permanecem por período determinado abertos a propostas de cidadãos para novas acções.

Enquanto noutros países europeus os municípios se empenham na elaboração de planos AL21, como os principais instrumentos de desenvolvimento sustentável, em Portugal verifica-se um atraso significativo, pois as autarquias ainda têm estado concentradas nos problemas ambientais de primeira geração (água, saneamento e resíduos sólidos urbanos). Portugal era, em 2004, o país da União Europeia a 15 em que menos municípios tinham Agendas Locais 21 em curso ou preparação (menos de 20 municípios). Na Alemanha, por exemplo, existiam no mesmo ano 2042 municípios a desenvolver estes instrumentos de planeamento, em Espanha 359 e em Itália 429. Um inquérito de 2004 do programa OBSERVA, dinamizado pelo Instituto de Ciências Sociais, demonstrou que 44% dos autarcas portugueses inquiridos não conseguiram definir os objectivos da Agenda 21 Local²⁹, o que evidenciou o fraco interesse nacional em promover estes planos, embora o seu valor já tenha sido largamente reconhecido na Europa e no Mundo.

2.3.3 Agenda 21 para a construção sustentável

A construção é, na União Europeia, o maior sector industrial e o que mais recursos consome, com já se referiu. Os edifícios eram, em 1999, responsáveis por 30% das emissões de CO₂ e 40% do lixo de origem humana. Embora uniforme no seu baixo desempenho, a indústria da construção é fragmentada nas suas práticas, dificultando a normalização e implementação de novas directivas.

Em 1998 o *World Building Congress* teve como tema principal a construção sustentável. Na sequência deste congresso foi elaborada a Agenda 21 para a Construção Sustentável (1999)³⁰.

Neste documento a construção sustentável inclui não só uma vertente técnica, mas também as vertentes social, legal, económica e política. É também dada especial importância à gestão e organização do processo construtivo. Refere-se ainda que a construção sustentável deve ter abordagens distintas em diferentes países, de acordo com as condições económicas, sociais e culturais, e sobretudo de acordo com os impactes ecológicos sobre o ambiente local.

A Agenda 21 para a Construção Sustentável apontou como grandes desafios para a indústria da construção:

²⁹ Vieira – Autarcas pouco atentos ao ambiente, 2004.

³⁰ CIB – Agenda 21 on sustainable construction, 1999.

- alcançar uma relação mais próxima com os agentes de concepção de edifícios;
- melhorar os parâmetros de desempenho ambiental;
- repensar os processos construtivos correntes tendo em vista uma maior sustentabilidade.

Nesta Agenda aponta-se como previsível e desejável um aumento da responsabilidade e investimento da parte dos intervenientes na construção, nas seguintes áreas:

- concepção de novos materiais reciclados ou produzidos por fontes renováveis;
- elaboração de sistemas *plug-in*, ou seja, de montar e desmontar e de reutilização fácil;
- normalização e modulação dos componentes;
- melhoria dos instrumentos para o prognóstico do comportamento dos componentes e sistemas;
- nova logística para reciclagem de ciclo fechado;
- sistemas de Informação *on-line* sobre os produtos.

É ainda referido neste documento que uma das principais formas de melhorar a sustentabilidade da construção é aperfeiçoar os métodos de controlo do desempenho ambiental dos edifícios. No entanto, é assumido que a noção de desempenho ambiental de um edifício não está ainda estabilizada – devido aos diversos actores terem diferentes interesses e requisitos – e que os métodos de avaliação do desempenho ambiental são ainda limitados.

Como conclusão, a Agenda 21 para a Construção Sustentável indica o papel dos diferentes intervenientes. Os projectistas são aconselhados a adoptar uma abordagem mais integrada, tomando em conta os fundamentos do projecto sustentável e aprendendo a interpretar a rotulação ambiental dos produtos que decidem especificar nos edifícios que projectam. Os produtores de materiais são incentivados a colaborar com os projectistas na concepção de novos sistemas e na promoção da reciclagem.

2.3.4 Livro branco da arquitectura europeia

No contexto das preocupações mundiais em matéria de ambiente e desenvolvimento, o Conselho dos Arquitectos da Europa (CAE) defende que é importante investir num ambiente construído mais sustentável dada a gravidade de problemas como: o crescimento dos subúrbios e a dispersão rural, a destruição dos centros históricos das cidades, a diminuição da superfície mínima das habitações admitida nas normas, o aumento da poluição do consumo de energia. Estes problemas provêm sobretudo de uma economia de mercado ineficazmente regulamentada, e que produz muitas externalidades ambientais negativas.

De acordo com o livro branco da arquitectura europeia – *A Europa e a Arquitectura Amanhã* (1994) – desenvolvido pelo CAE, a cidade sustentável é um dos principais desafios a enfrentar. Este documento aponta como estratégias para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis³¹:

³¹ CAE – A Europa e a arquitectura amanhã, 1995.

- requalificar as periferias para que o transporte individual não seja essencial, os acessos sejam melhorados, o consumo de energia e a poluição sejam reduzidos, tendo particularmente em conta os numerosos subúrbios socialmente desfavorecidos;
- avaliar o impacto dos projectos de construção sobre o microclima da zona e prevenir os erros das últimas décadas;
- procurar materiais, produtos e sistemas mais duradouros e mais económicos em energia, para a construção, manutenção e reabilitação dos aglomerados urbanos;
- pôr em prática todo o potencial da engenharia moderna para a reciclagem e o tratamento dos resíduos;
- estimular a responsabilidade cívica dos produtores e dos consumidores para reduzirem a produção de resíduos;
- integrar os locais de vida, de trabalho, de lazer e de cultura na cidade para reduzir o recurso ao transporte individual.

O CAE, no domínio da construção, reincide num ponto já referido pela Agenda 21 para a Construção Sustentável, voltando a alertar para o facto de não existir apenas um sector europeu da construção, mas vários.

O CAE alerta ainda para o facto de não existirem hoje soluções simples, ou sempre acertadas, para os desafios lançados pelo actual modo de organização social e cultural, pelo que considerar os modelos contemporâneos de estética e de urbanismo como uma solução universal constitui um erro que ignora três quartos da população do Planeta.

Contudo, o CAE dá-nos alguma esperança ao afirmar que começamos agora a compreender que, se o ordenamento do nosso ambiente continuar a ser feito nos mesmos moldes do que ao longo do século XX, atingiremos inevitavelmente um desastre social, económico e ecológico.

2.3.5 Urban Strategy 2004

No âmbito do sexto Programa de Acção em Ambiente da União Europeia, o Grupo de Peritos do Ambiente Urbano constituiu subgrupos de trabalho temáticos com o objectivo de analisar a situação actual do ambiente urbano e apontar recomendações específicas.

Gestão urbana³²

As principais recomendações para as autoridades locais, contidas no relatório final do Grupo de Peritos do Ambiente Urbano, baseiam-se nas necessidades de: implementar a Agenda 21, aumentar o compromisso do poder local com as políticas de sustentabilidade, garantir o planeamento da gestão, monitorizar a sua implementação e o seu desempenho (recorrendo a sistemas de gestão ambiental urbana como as EMAS, o ISO 14001, o *Eco-labeling*, o *Eco-budgeting* e o *Eco-procurement*) e adoptar

³² UE – Working group on sustainable urban management, Final report, 2004.

indicadores. Os requisitos mínimos indicados para uma gestão sustentável do ambiente urbano, que já encontraram aceitação em alguns Estados Membros, são os seguintes:

- coordenação inter-sectorial de políticas;
- definição de competências para a sustentabilidade;
- enquadramento institucional envolvendo os actores relevantes;
- garantia dos recursos e habilitações para a sustentabilidade;
- definição de perspectivas estratégicas a longo prazo para a qualidade ambiental;
- integração horizontal entre sectores e vertical entre níveis de planeamento estabelecendo compromissos;
- constituição de parcerias entre o governo, comunidades e o sector privado na formulação e implementação do planeamento;
- participação e envolvimento de investidores na formulação de políticas;
- informação ambiental e melhoria do conhecimento sobre o estado e tendências do ambiente;
- avaliação e monitorização de impacte ambiental, assegurando que as implicações ambientais estão a ser consideradas no processo de decisão e avaliação.

Transportes urbanos³³

Para os transportes urbanos sustentáveis as recomendações do Grupo de Peritos do Ambiente Urbano centram-se na coerência entre políticas europeias, no planeamento, nas políticas de financiamento, na monitorização dos progressos e impactes, na disseminação de boas práticas e de conhecimento, na melhoria da governância e na promoção da consciencialização sobre a sustentabilidade nos transportes urbanos. Estas recomendações baseiam-se na análise das tendências do desenvolvimento urbano, do desenvolvimento dos transportes, do congestionamento, dos impactes ambientais e para a saúde, e de uma visão do papel da própria administração. Destas tendências, apoiadas em dados de 2004, destacam-se as seguintes:

- crescente sub-urbanização;
- redução da densidade urbana;
- estrutura espacial separando habitação e trabalho;
- reforço de núdulos urbanos da rede global;
- aumento do número e da utilização de automóveis;
- diminuição da cota de mercado dos transportes públicos;
- estabilização da utilização de bicicletas;
- diminuição das deslocações a pé;
- aumento dos veículos ligeiros comerciais;
- congestionamento das redes rodo e ferroviárias;

³³ UE – Working group on sustainable urban transport, Final report, 2004.

- crescimento em 50% da poluição atmosférica e sonora;
- aumento dos acidentes rodoviários em áreas urbanas;
- aumento dos custos de saúde derivados da poluição causada por veículos;
- efeitos negativos para a saúde da diminuição das deslocações com actividade física;
- fraca coordenação geográfica.

Desenho urbano³⁴

De acordo com o relatório final do Grupo de Peritos do Ambiente Urbano, no que diz respeito ao planeamento urbano, a França, a Holanda e a Eslováquia são os únicos países que implementaram agendas 21 nacionais ou planos de urbanização sustentável. Quanto à promoção de bairros, são já numerosos os bairros de habitação nova ecologicamente amigáveis que têm surgido na Finlândia, Áustria, Alemanha e Holanda. Os temas-chave para o desenho urbano sustentável, apontados no relatório, são os seguintes

- reutilização e regeneração de solo urbano;
- densidade nas áreas novas;
- localização das novas áreas;
- mobilidade e acessibilidade;
- usos diversificados;
- promoção de habitação económica;
- infra-estruturas e serviços de acesso público;
- conservação e reabilitação do património cultural;
- qualidade das tecnologias da construção.

As principais recomendações contidas no relatório final do Grupo de Peritos do Ambiente Urbano são as seguintes:

- promover a consciência, educação, informação e investigação em desenho urbano para a sustentabilidade ambiental e para o desenvolvimento urbano sustentável;
- elevar o perfil e monitorizar o desenho urbano sustentável na agenda política da UE;
- promover o desenho urbano sustentável através da legislação europeia e nacional;
- promover o intercâmbio de conhecimentos e a orientação de boas práticas a todos os níveis;
- promover o desenho urbano sustentável através de incentivos, subsídios, e programas de financiamento.

³⁴ UE – Working group on sustainable urban design, Final report, 2004.

Construção

De acordo com o estado da arte descrito no relatório final do Grupo de Peritos do Ambiente Urbano, em muitas cidades europeias a construção sustentável está a ganhar visibilidade, mas a mensagem política não direcciona o mercado para esta opção. A aplicação das melhores técnicas é geralmente condicionada pelas tecnologias e produtos oferecidos pelo mercado e pela ausência de experiência na sua integração em edifícios correntes. Embora existam já tecnologias das energias renováveis para o invólucro do edifício, nem sempre estas estão disponíveis localmente. Os principais aspectos positivos da construção sustentável actual, a nível europeu, são: a presença de exemplos relevantes, a quantidade de documentação técnica disponível, a percepção da importância do sector da construção no contexto do desenvolvimento sustentável, o apoio da opinião pública ao conceito de sustentabilidade, uma tendência para desenvolver projectos integrados e o reconhecimento do património cultural como um factor determinante na qualidade de vida das pessoas. O estado da construção sustentável é ainda caracterizado por exemplos de sucesso, mais proeminentes no sector da construção nova do que no sector da reabilitação.

As recomendações do relatório final do Grupo de Peritos do Ambiente Urbano têm dois pressupostos: em primeiro lugar, os bons exemplos pontuais e as práticas individuais não servem de base para a generalização da construção sustentável e, em segundo lugar, é necessário um grande esforço para motivar os principais intervenientes na construção de modo a obter resultados significativos. O relatório aponta ainda metas qualitativas e quantitativas para avaliar a sustentabilidade da construção. Das metas qualitativas apontadas destacam-se as seguintes:

- fortalecer a identidade do ambiente construído;
- introduzir diversidade de textura, forma, topologia e uso;
- introduzir flexibilidade para prever necessidades futuras;
- aumentar a longevidade dos edifícios e espaços públicos;
- otimizar a orientação para beneficiar do clima local;
- garantir a acessibilidade;
- investir preferencialmente na reabilitação e na reutilização;
- responder às pressões demográficas com implantações mais compactas reduzindo a expansão urbana (*urban sprawl*);
- escolher terrenos já utilizados para construção (*brownfields*) e conservar terrenos virgens ou agrícolas.

Estas metas qualitativas gerais devem ser concretizadas a nível local com indicadores quantificáveis, tais como os seguintes:

- qualidade do ar exterior e interior;
- condições de conforto;
- eficiência energética;
- emissões de CO₂;

- sistemas de energias renováveis integrados;
- resíduos e promoção da sua separação;
- necessidades e reciclagem de água local;
- custos de manutenção;
- impacte na biodiversidade.

2.3.6 Directiva Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios

O consumo de energia está a aumentar e a Europa está cada vez mais dependente de fontes externas. Os sectores dos transportes e da indústria são grandes consumidores de energia, mas a iluminação e a climatização das nossas casas, locais de trabalho e locais de lazer são responsáveis por um consumo tão significativo como o destes sectores³⁵.

Tendo em vista as exigências de utilização prudente e racional dos recursos naturais, de cumprimento do protocolo de Quioto e de protecção do ambiente, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia adoptaram a Directiva 2002/91/CE como via de uniformizar e melhorar a eficiência energética dos edifícios.

Embora a situação portuguesa possa apresentar diferenças significativas em relação aos dados europeus, os factores que estiveram na base da construção desta Directiva europeia foram os seguintes:

- o sector residencial absorve mais de 60% do consumo total de energia da União Europeia e tanto a expansão deste sector como o aumento do nível de vida da população agravarão esta tendência num futuro próximo;
- prevê-se que até 2020 o consumo de energia pelos sistemas de ar condicionado duplicará, e metade deste consumo pode ser economizado com a utilização de equipamentos que obedecem a normas mais rigorosas;
- 10 milhões de caldeiras existentes em habitações não são eficientes pois têm mais de 20 anos e a sua substituição permitirá economizar 5% da energia utilizada no aquecimento;
- estão já disponíveis sistemas e tecnologias que permitem economizar na iluminação de edifícios de comércio e serviços;
- estudos recentes apontam que a aplicação de normas mais rigorosas ao projecto e construção de edifícios permitirá economizar mais de um quinto da energia actualmente consumida por este sector.

A aplicação de normas mínimas em toda a Europa requer uma complexa metodologia de medição do desempenho energético dos edifícios. Esta metodologia contabiliza diferentes aspectos como o isolamento térmico, o sistema de aquecimento, o sistema de ar condicionado, a ventilação natural e o aquecimento passivo. Os sistemas de aquecimento ou de produção de electricidade com base na energia solar, os sistemas de aquecimento comunitários e as instalações de produção combinada de

³⁵ CE – Melhores edifícios, nova legislação europeia para economizar energia nos edifícios, 2003.

calor e electricidade constituem factores positivos para o desempenho. A situação e o ambiente locais, atendendo à grande diferença de condições climáticas na Europa, serão tomados em conta na medição do desempenho energético.

A metodologia comum integra não só os aspectos referidos, mas também as características da envolvente dos edifícios (ex., orientação, inércia térmica, áreas envidraçadas) permitindo, em princípio, que seja valorizado o desempenho energético de soluções construtivas tradicionais locais (ex., construção em terra) ou alternativas (ex., paredes de Trombe, estufas).

Para promover formas mais sustentáveis de fornecimento energético nos edifícios, a Directiva aponta que nos edifícios novos com uma área útil total superior a 1000 m², os Estados Membros devem assegurar o estudo da viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos (ex., sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias renováveis, instalações de produção combinada de calor e electricidade, sistemas colectivos de aquecimento ou arrefecimento ou bombas de calor)³⁶.

Atendendo à importância crescente do sector da reabilitação de edifícios no espaço europeu, a Directiva tem como objecto não só a construção nova, mas também as obras de reabilitação³⁷. Nos edifícios existentes, os Estados Membros devem assegurar que, aquando da realização de obras de reabilitação em edifícios com uma área útil superior a 1.000 m², o seu desempenho energético seja melhorado de forma a cumprir os requisitos mínimos. Pretende-se aproveitar as intervenções de reabilitação para melhorar o desempenho energético, de forma economicamente rentável e sem exigir a renovação total do edifício.

Tendo em consideração que a utilização de aparelhos de ar condicionado tem vindo a aumentar, a Directiva refere ainda que deve ser dada prioridade a estratégias que contribuam para melhorar o comportamento térmico dos edifícios durante o Verão, tais como técnicas de arrefecimento passivo.

2.4 Situação em Portugal

2.4.1 Alterações climáticas

Enquadrado entre as latitudes de 37° e 42° Norte e os meridianos 6° e 9° Oeste, o território português é influenciado pelas condições climáticas mediterrâneas, atlânticas e continentais. Embora a variação dos factores que condicionam o clima em Portugal seja pequena – latitude, orografia, influência dos mares e continentalidade – são significativas as diferenças climáticas ao longo do território nacional (Figura 3):

- a média anual de precipitação em Portugal é de 900 mm mas apresenta grande variabilidade espacial, com 3000 mm no Minho e 500 mm na faixa litoral Sul (Figura 4);
- os valores médios anuais das temperaturas em Portugal variam de 7 °C nas terras altas do interior centro a 18 °C no litoral Sul (Figura 5);

³⁶ UE – Directiva 2002/91/CE, 2003. Artigo 5.º.

³⁷ Idem.

- o valor médio anual da radiação solar decresce de Sul para Norte, com a altitude e de Este para Oeste (Figura 6);
- os ventos predominantes sopram, em regra, de Norte e Noroeste na faixa costeira Ocidental e de Sudoeste no litoral Sul.

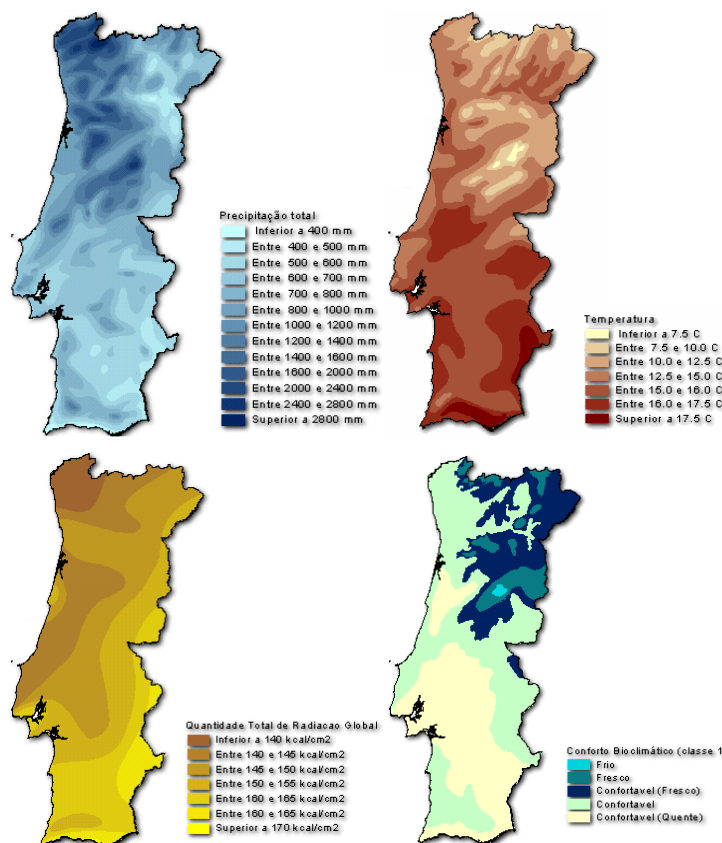


Figura 3 – Conforto bioclimático em Portugal Continental.

Figura 4 – Precipitação em Portugal Continental.

(fonte: Instituto do Ambiente)

Figura 5 – Temperaturas em Portugal Continental.

Figura 6 – Radiação solar em Portugal Continental.

(fonte: Instituto do Ambiente)

Portugal poderá aumentar, entre 1990 e 2012, a emissão de gases com efeito de estufa em 27% (Tabela 1)³⁸. Para o cálculo desta emissão global são contabilizados seis gases com efeito de estufa (GEE), cujas emissões são ponderadas pelo potencial de cada gás para contribuir para o aquecimento global: CO₂ – dióxido de carbono, CH₄ – metano, N₂O – óxido nitroso, HFC – perfluorcarbonos, PFC – hidrofluorcarbonos e SF₆ – hexafluoreto de enxofre. Estes elementos são convertidos em unidades de CO₂ equivalente (CO₂=1, CH₄=21 e N₂O=310). Portugal emite sobretudo os três primeiros gases, e embora a capitação de CO₂ do nosso país seja uma das menores da Europa, os valores da sua emissão têm aumentado continuamente desde o início da década de 90³⁹.

³⁸ Instituto do Ambiente – Relatório do estado do ambiente 2001, 2002.

³⁹ Neste aumento contínuo o período entre 1999 e 2000 foi uma excepção, registando-se uma pequena descida de emissões, justificada pelo abrandamento do crescimento económico e pelo maior recurso às energias renováveis (grande hídrica e gás natural).

Tabela 1 - Emissões de gases com efeito de estufa de 1990 a 2004 em Portugal por sectores.

(fonte: Instituto do Ambiente)

GHGs SOURCE AND SINK CATEGORIES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
	CO ₂ equivalent (Gg)														
1. Energy	40 169	41 968	46 328	44 944	45 548	48 913	46 348	49 010	53 357	60 647	59 189	60 440	64 441	60 011	60 752
2. Industrial Processes	4 626	4 600	4 370	4 224	5 031	5 782	5 536	6 220	6 465	6 170	6 042	6 551	6 957	6 901	7 100
3. Solvent and Other Product Use	220	234	243	236	253	256	275	285	290	285	290	304	312	318	320
4. Agriculture	7 878	7 993	7 855	7 745	7 985	8 059	8 360	8 238	8 219	8 324	8 577	8 414	8 473	7 866	8 240
5. Land-Use Change and Forestry ⁽⁷⁾	-3 818	2 753	486	-115	-1 260	-1 615	-3 100	-3 345	-3 894	-3 407	-3 796	-3 610	-4 138	8 209	-2 455
6. Waste	7 061	7 266	7 379	7 592	7 938	8 174	8 228	8 522	8 884	9 179	8 274	7 888	8 102	8 091	7 944
7. Other	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Note-se que se, por um lado, Portugal é dos países europeus que menos GEE emite, por outro lado, a intensidade carbónica nacional (emissões de GEE por unidade de PIB) coloca-nos numa posição menos favorável, pois é uma das mais elevadas na Europa. Assim, no que diz respeito às metas definidas pelo protocolo de Quioto para redução da emissão de GEE, Portugal é um dos países europeus que cada vez mais se afasta do seu possível cumprimento.

Em 2004 as emissões totais de GEE, sem contabilizar usos do solo, alteração dos usos do solo e floresta (LULUCF), foram estimadas em 84,4 Mt CO₂ equivalente, representando um aumento de aproximadamente 41% relativamente aos níveis de 1990. Comparando o crescimento de 1990 a 2004 com as metas lineares para o período de 1990 a 2010, as emissões portuguesas de GEE estiveram, em 2004, 21,8% acima do limite estabelecido⁴⁰.

As principais causas da poluição atmosférica em Portugal advêm dos gases responsáveis pela acidificação e eutrofização (SO₂ – dióxido de enxofre, NO_x – óxido de azoto, NH₃ – amónia). Está agregação é designada de *equivalente ácido*, e pode ser medida nos solos, de onde geralmente passam para a atmosfera. A presença destes gases é já significativa nas zonas urbanas portuguesas.

Como reacção à situação descrita, a Assembleia da Republica criou em 2001 o "Observatório Nacional sobre as Alterações Climáticas em Portugal" para recolha, análise e difusão de toda a informação, estudos e pesquisas sobre os riscos associados às alterações climáticas. Recentemente foram divulgados os resultados de um estudo sobre a mudança climática em Portugal (Figura 7) que permitem prever as principais alterações do clima num futuro próximo. Este estudo aponta cenários, impactes e medidas de adaptação⁴¹.

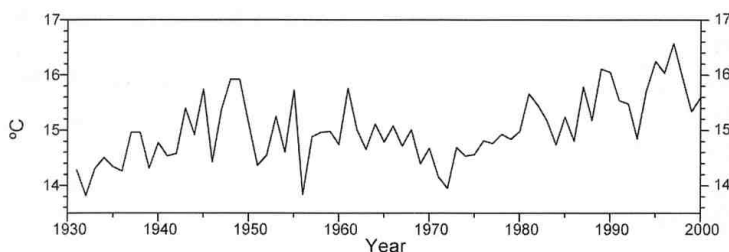


Figura 7 – Evolução da temperatura média do ar em Portugal Continental.

(fonte: Mudança climática em Portugal cenários, impactes e medidas de adaptação. SIAM)

⁴⁰ Instituto do Ambiente – Portuguese initial report under the Kyoto Protocol, 2006.

⁴¹ Forbes, Moita, Santos (eds.) – Mudança climática em Portugal, Cenários, impactes e medidas de adaptação – SIAM. Sumário executivo e conclusões, 2001.

O cenário mais provável para a evolução do clima em Portugal Continental prevê uma diminuição da precipitação anual da ordem de 100 mm e mudanças no ciclo anual da precipitação. De acordo com este cenário, a distribuição da precipitação mensal aumentará no Inverno e diminuirá na Primavera, Verão e Outono embora com diminuições menores nas duas últimas estações. Este padrão de alteração pode aumentar significativamente o risco de episódios de cheias.

Quanto à alteração da temperatura média, prevê-se que no período 2080-2100 a média das temperaturas mínimas no Inverno possa variar entre 6 °C e 16 °C enquanto na simulação de controlo do clima recente esta varia entre 2 °C e 12 °C. A média da temperatura máxima no Verão poderá sofrer um aumento mais substancial, que pode ultrapassar os 9 °C em certas regiões do interior centro (Figura 8). O número de dias em que a temperatura máxima excede os 35 °C aumenta significativamente em todo o país⁴².

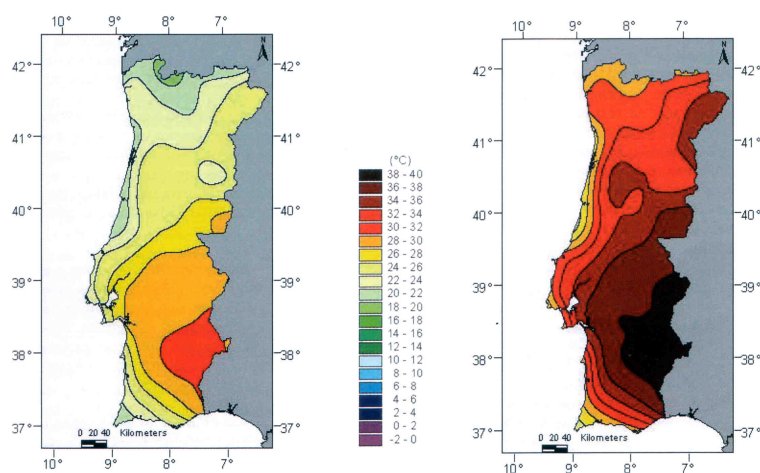


Figura 8 – Previsão da temperatura máxima em Portugal Continental no período 2080-2100.

À esquerda a simulação de controlo, e à direita a simulação com aumento de CO2.

(fonte: Mudança climática em Portugal cenários, impactes e medidas de adaptação. SIAM)

A mudança climática continental terá impactes nos recursos hídricos, nas zonas costeiras, na agricultura, na saúde humana, na biodiversidade, na floresta, nas pescas e na energia. No sector da energia, no que respeita à oferta prevê-se a possibilidade de aumento da produção nas centrais hidroeléctricas a Norte do País, mas a redução da produção nas restantes centrais hidroeléctricas, o aumento das perdas no transporte e distribuição de electricidade e o melhor desempenho dos sistemas solares activos. No que respeita à procura prevê-se um decréscimo das necessidades de aquecimento em edifícios mas um forte aumento das necessidades de arrefecimento ambiente.

No desempenho térmico dos edifícios, residenciais e de serviços, a mudança climática terá como impacte o aumento do consumo anual de energia, já que os aumentos das necessidades de arrefecimento excedem os ganhos por menor aquecimento, assim como as reduções nas necessidades para aquecimento de águas (Figura 9). Estes aumentos terão maior expressão nas regiões Sul e Centro, correspondendo, de acordo com as previsões, a cerca de 50% a 60%⁴³.

⁴² Idem.

⁴³ Ibidem.

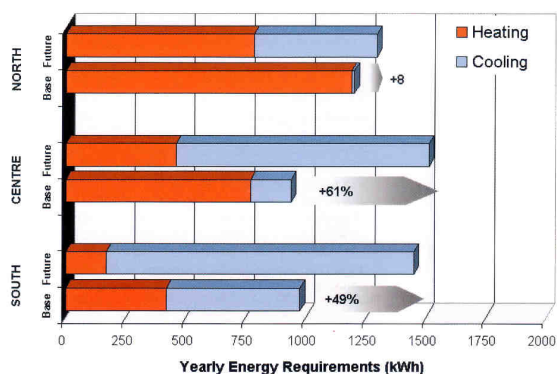


Figura 9 – Impactes da mudança climática na climatização do ambiente residencial.
(fonte: Mudança climática em Portugal cenários, impactes e medidas de adaptação. SIAM)

Na reacção local a estas alterações climáticas em Portugal são as autarquias que, de acordo com a Agenda 21 Local, detêm o papel mais importante na implementação de medidas de adaptação e de prevenção. As autarquias, por constituírem os órgãos de poder mais perto das populações, podem produzir alterações significativas, em particular no comportamento das pessoas e das pequenas e médias empresas⁴⁴.

2.4.2 Crescimento populacional e urbano

Portugal é um país litoralizado, onde as zonas costeiras correspondem a 15% do território e concentram 60% da população. Em termos demográficos, durante a última década, não se registaram alterações significativas em Portugal.

No período 1991-2001 a evolução da estrutura etária da população portuguesa reflecte a tendência geral dos países mais desenvolvidos, embora de forma menos acentuada. De acordo com os dados do Censos 2001 a população residente em Portugal foi estimada em 10.318.084 de indivíduos, o que significou um crescimento de 4,6% em relação a 1991. De 1991 a 2001 verificou-se um aumento em 20% do número de alojamentos e um acréscimo em apenas 18,5% do número de famílias. Já o número médio de pessoas por família decresceu de 3,1 em 1991 para 2,8 em 2001⁴⁵.

A nível da ocupação do território existem, em Portugal, uma forte dispersão e assimetrias regionais pronunciadas e agravadas pelo fenómeno de envelhecimento da população que conduziram à desertificação do interior. A população portuguesa vive cada vez mais em zonas urbanas das quais, a maior parte e as de maior dimensão, se encontram no litoral (Figura 10).

A percentagem de área construída em Portugal – incluindo os sectores residencial, industrial, comercial e o lazer, assim como estradas e outras infra-estruturas técnicas, e omitindo edificações dispersas – aumentou de 15,4% do território, em 1990, para 17,8%, em 1999, sendo então uma das mais elevadas da União Europeia, quer em termos de percentagem do território, quer em área construída *per capita*⁴⁶.

⁴⁴ Instituto do Ambiente – Terceira comunicação nacional sobre alterações climáticas, 2003.

⁴⁵ Idem.

⁴⁶ Ibidem.

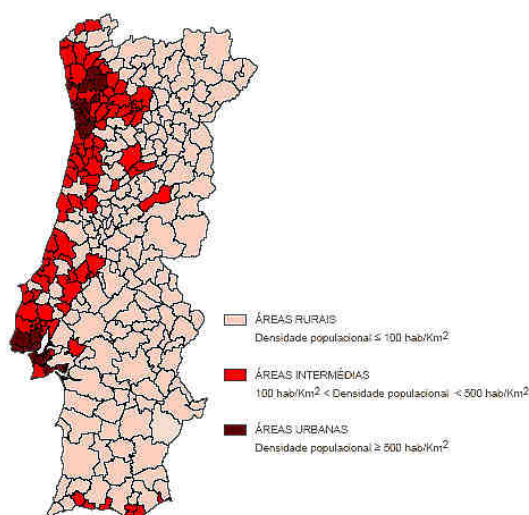


Figura 10 – Grau de urbanização em Portugal Continental.

(fonte: Relatório do Estado do Ambiente 2000)

Em Portugal, nas aldeias e habitats rurais a sensibilidade ambiental é reduzida, sendo diminuto o desagrado causado por disfunções ambientais; contudo, o desagrado aumenta em aglomerados de pequena dimensão e nas grandes cidades atinge-se o máximo da insatisfação com o estado do ambiente local. Mais de metade das pessoas que residem na Área Metropolitana de Lisboa, a título de exemplo, estão insatisfeitas com o local e o tipo de aglomerado urbano onde vivem e gostariam de mudar para zonas com menor densidade populacional e com mais qualidade de vida. A perda diária de tempo e de energia em transportes ineficientes entre a casa e o emprego, a urbanização excessiva do local de residência e a falta de equipamentos de lazer e espaços verdes a par do excesso de ruído e poluição são os aspectos que mais queixas suscitaram no âmbito do estudo "Áreas Metropolitanas, vivências, mobilidades e qualidade de vida" realizado pelo grupo OBSERVA, do Instituto de Ciências Sociais⁴⁷.

De acordo com este estudo, embora a grande migração das últimas décadas para as áreas metropolitanas tenha entrado recentemente num processo de desaceleração, o grande ritmo de construção nas periferias destas áreas mantém-se, e o descontentamento com o local de residência está já a deixar vazios na primeira cintura urbana de cidades como Lisboa. Neste panorama, é urgente diminuir o ritmo de construção e repensar o ordenamento do território urbano nacional para que os níveis de descontentamento nas periferias, futuros viveiros de gerações sem horizontes de emprego e sem qualidade de vida, não venham a gerar uma crise social de graves dimensões.

2.4.3 Gestão dos principais recursos ambientais

Energia

Portugal é um país pobre em recursos energéticos de origem fóssil, dependendo substancialmente de importações. Em 1999, a dependência energética do exterior foi de 92%, tendo o petróleo importado

⁴⁷ Nunes – Maioria na grande Lisboa quer uma vida melhor, 2004.

representado 71% no total do consumo de energia primária⁴⁸. Actualmente, mais de 90% da energia consumida em Portugal é importada. Contudo, o potencial de energias renováveis (Fontes de Energia Renováveis – FER) é assinalável, com destaque para a Energia Solar em primeiro lugar, logo seguida pelas energias eólica, geotérmica, hídrica e da biomassa (lenhas e resíduos). Numa visão a médio prazo, as estimativas disponíveis apontam para contribuições possíveis das FER da ordem dos 15 a 20% do consumo final de energia para o horizonte de 2010⁴⁹, sendo este valor obtido sem considerar as barragens da grande hídrica (> 10 KW).

Apesar do forte aumento do consumo de energia, Portugal mantém o valor mais baixo dos 15 países membros da União Europeia (valor médio de 3,76 tep/hab)⁵⁰. Em 1999, Portugal tinha um consumo de energia *per capita* igual a 57% da média comunitária, resultante de condições climáticas de Inverno favoráveis, da menor exigência da população em termos de conforto e dos reduzidos níveis de motorização e mobilidade em comparação com a média da União Europeia. Contudo, com a subida da qualidade de vida média a factura energética aumentou, acusando entre 1990 e 1999 um crescimento anual de 4,5% (quase quatro vezes superior ao crescimento nos restantes Estados Membros), correspondente à duplicação do consumo energético entre 90 e 99⁵¹.

No que diz respeito aos transportes, a preferência pelo automóvel privado em detrimento da utilização dos serviços de transporte público, bem como a opção pelo transporte rodoviário em detrimento do transporte ferroviário, causou um decréscimo de eficiência energética do sector e um agravamento das emissões de gases poluentes para a atmosfera, entre outras pressões ambientais, tais como o ruído e o congestionamento de tráfego nas zonas urbanas. Em 1999 os Transportes foram o sector de actividade que mais consumiu energia em Portugal (38%), ultrapassando pela primeira vez o sector da Indústria (33%)⁵².

Resíduos

Em Portugal, o nível de desenvolvimento relativamente baixo e as disparidades de ocupação do território determinam por um lado que áreas extensas disponham ainda de uma elevada qualidade ambiental, mas por outro, o carácter obsoleto de algumas das tecnologias utilizadas e o baixo nível de infra-estruturação relativamente ao tratamento de efluentes urbanos e industriais conduz a valores *per capita* de emissões prejudiciais para o meio hídrico muito elevadas.

⁴⁸ Instituto do Ambiente – Relatório do estado do ambiente 2001, 2002.

⁴⁹ Instituto do Ambiente – Terceira comunicação nacional sobre alterações climáticas, 2003.

⁵⁰ Instituto do Ambiente – Relatório do estado do ambiente 2001, 2002.

⁵¹ Fonseca – SHE Sustainable Housing in Europe: State of the art report Portugal, 2003.

Neste documento foi realizada uma análise com base em dados do INE para suporte do projecto demonstrativo SHE Sustainable Housing in Europe, apoiado pela União Europeia.

⁵² Idem.

Em 1990, do total da poluição lançada em meios hídricos apenas 14,1% eram tratadas a nível nacional⁵³. Esta situação tem, contudo, vindo a conhecer melhorias, decorrentes dos investimentos em saneamento e tratamento de águas residuais realizados nas últimas décadas.

O sector dos resíduos sólidos urbanos (RSU) contribui em mais de 3% para o balanço global nacional das emissões de gases com efeito de estufa⁵⁴. Para contrariar este contributo negativo dos RSU, têm sido implementadas estratégias como a prevenção da produção (quer em termos de quantidade como de perigosidade), a reutilização, a reciclagem, a valorização energética e a eliminação.

A gestão dos RSU em Portugal até 1995 resumia-se praticamente à operação de recolha e à deposição em lixeiras, que constituíam o receptáculo dos "sistemas" municipais. Menos de 1% da população era servida com Ecopontos. Contabilizando instalações de compostagem e aterros era então possível afirmar que apenas cerca de 26% dos RSU gerados em Portugal tinham um destino final "aceitável".

Actualmente, a recolha selectiva tem sido desenvolvida e incentivada em todo o país, com taxas de sucesso crescentes. O total reciclado de embalagens, por exemplo, correspondeu em 2000 a cerca de 7%. Até 2005, e por força da Directiva Europeia 94/62, Portugal previa reciclar 15% de cada um dos tipos de resíduos.

Solo

Por constituir o suporte físico das actividades humanas, o solo é palco dos processos de transformação que ocorrem na estrutura social e produtiva, mas a sua degradação é um processo lento e difuso constituindo um problema que muitas vezes passa despercebido. De acordo com a Paisagista Teresa Andersen o solo constitui o principal recurso nacional, mas não aquele que tem sido mais preservado, nomeadamente pelo planeamento⁵⁵. A visão convencional do planeamento em Portugal excluiu dos seus objectivos a construção assumida de paisagem, posição que teve fortes consequências sobre a forma de actuar e de valorizar o solo. Enquanto noutros países se utiliza a retracção na actividade agrícola para renaturalizar regiões sobre-exploradas e redefinir zonas de protecção ecológica, em Portugal tem-se assistido ao mero abandono ou à reconversão do uso do solo guiada apenas por critérios financeiros⁵⁶.

Por outro lado, a acumulação de resíduos em aterros deficientes tem provocado a contaminação dos solos, directa ou transmitida pela água e pela atmosfera, e a erosão natural ou antropogénica contribui também para a sua alteração e degradação. A erosão e a retenção de sedimentos de origem hídrica a montante dos cursos de água, para além de empobrecer os solos, podendo induzir processos de desertificação, têm efeitos a jusante que podem perturbar o equilíbrio de leitos e margens e até de

⁵³ Nunes Correia – Ambiente e ambientalismos. *in* AAVV - Portugal hoje, 1995.

⁵⁴ Instituto do Ambiente – Relatório do estado do ambiente 2001, 2002.

⁵⁵ Andersen – Aula de Mestrado em Planeamento e Projecto do Ambiente Urbano, 2004.

⁵⁶ Nunes Correia – Ambiente e ambientalismos, 1995.

zonas costeiras, pondo em risco o território nacional. Para este risco contribui também a extracção de areias dos rios, intensificada pelo crescimento acelerado da construção civil.

2.4.4 O sector da habitação

Em Portugal, o sector da habitação nas últimas três décadas caracteriza-se por um desajustamento entre a oferta e a procura, que a desvalorização imobiliária parece agora evidenciar.

Por um lado, assistimos ao crescimento notável do parque habitacional, orientado para os estratos médios e superiores. Os índices crescentes de desocupação e sub-ocupação evidenciam uma sobre-oferta. Por outro, assistimos a uma escassez de oferta que integre questões de adequação do custo, de acessibilidade, ou de sustentabilidade ambiental.

O planeamento urbano de áreas residenciais e edifícios de habitação apresenta dificuldade em promover habitação a custo controlado em áreas consolidadas ou centros antigos. Verifica-se que a qualidade funcional, técnica e de imagem decresce quando se passa do nível do alojamento para o do edifício e deste para o da arquitectura urbana⁵⁷.

No que respeita ao projecto dos edifícios e das habitações há uma tendência de diminuição da altura média, mas continuam-se a verificar deficits de conforto, de privacidade, de espaços exteriores privados ou logradouros comuns, de espaços de arrumação, de articulação entre as cozinhas e outros espaços da zona social do fogo e de polivalência dos espaços. Para além destes problemas funcionais, são inúmeros os problemas no que respeita ao desperdício de recursos (ex., energia, água e solo) e à produção de resíduos⁵⁸.

Energia

Em Portugal, em 2001, o parque edificado era constituído por cerca de 3,16 milhões de edifícios, tendo sido construídos de 2001 a 2006 cerca de 320.000 novos edifícios. O balanço energético nacional de 1998 indica que o sector dos edifícios representa cerca de 22% do consumo final total do país, dentro do qual 13% são da responsabilidade do subsector residencial e 9% do subsector dos serviços. As utilizações finais desta energia distribuem-se da seguinte forma⁵⁹:

- 50% para cozinhas e águas quentes sanitárias;
- 25% para aquecimento e arrefecimento;
- 25% para iluminação e equipamentos.

Os consumos energéticos médios dedicados ao conforto ambiental não são muito significativos em Portugal mas têm aumentado a um ritmo elevado e tendem a generalizar-se. Se não houver, em breve, na construção dos edifícios uma aplicação rigorosa dos princípios, regras ou normas que promovam a utilização racional de energia, os níveis de conforto tenderão a ser atingidos cada vez com maior

⁵⁷ Cabrita (et al.) – A futura habitação apoiada, 2000.

⁵⁸ Fonseca – Sustainable housing in Europe, State of the art report Portugal, 2003.

⁵⁹ Idem.

recurso a sistemas de condicionamento de ar interior, o que fará aumentar os consumos globais no sector.

As condições de conforto ambiental em edifícios dependem fundamentalmente da sua localização geográfica (ou seja, do clima) e das características arquitectónicas e construtivas da sua envolvente. Embora o clima possa ser amenizado por estratégias ao nível urbano é na construção da envolvente (ou invólucro) que reside a grande oportunidade de melhorar o desempenho energético dos edifícios, ao atenuar as necessidades de aquecimento ou de arrefecimento, e potenciar o uso de energias renováveis.

As necessidades de higiene ou de conforto térmico têm sido cada vez mais consideradas nos edifícios de habitação. O acréscimo de comodidades traduziu-se num maior consumo de energia e no aumento de produção de gases de efeito de estufa, contribuindo para o aquecimento global. Na habitação, o crescimento anual dos consumos de energia, entre 1999 e 2000, foi de 3,7%⁶⁰ o que evidencia a necessidade de uma atenção particular à eficiência energética das habitações e equipamentos, como forma de moderação dos consumos. Para melhorar a eficiência energética dos edifícios habitacionais, as intervenções devem centrar-se nos aspectos que motivam maiores consumos, designadamente:

- Águas quentes sanitárias: a fonte energética divide-se essencialmente entre o gás, mas a electricidade e a utilização da energia solar térmica poderá ter um impacto muito positivo, evidenciado pela promoção do programa Água Quente Solar para Portugal;
- Etiquetagem de electrodomésticos e lâmpadas: informar os consumidores sobre quais as opções mais adequadas. Neste domínio tem também importância o uso da iluminação natural, embora este esteja apenas sumariamente regulamentado no Regulamento Geral das Edificações Urbanas.

Resíduos

Em Portugal, é nas zonas habitacionais que a sensibilidade ambiental é maior, mas é também aí que os consumos, as emissões e os resíduos, produzidos em edifícios, são mais elevados. No nosso país, a política de gestão de resíduos domésticos está ainda em definição e são vários os sistemas de triagem e recolha em experimentação.

Embora o *Ecoponto* constitua a estratégia mais difundida, a integração destes contentores triplos em edifícios residenciais multifamiliares, e a sua ligação a condutas ou a sistemas de recolha automática, são ainda tarefas raras e dispendiosas. Geralmente não são previstos espaços para pré triagem nas habitações, o que não facilita a boa gestão de resíduos. Nos espaços públicos a situação tem conhecido alguns progressos, a nível dos comportamentos dos utentes, mas os passos seguintes serão a generalização da triagem, tanto no interior como no exterior das habitações, e a previsão, nos pontos de recolha, de um quarto compartimento para o lixo orgânico, prevendo-se a sua compostagem ou utilização como biomassa.

⁶⁰ Ibidem.

Solo

Em Portugal a densidade de ocupação do solo na habitação surge como um aspecto relacionado com problemas ambientais de incidência local. Verifica-se que a sensibilidade ambiental cresce com a densificação, apresentando o seu máximo para as populações que vivem em apartamentos integrados em edifícios com mais de 50 fogos⁶¹. Esta tendência não é, aliás, específica de Portugal e verifica-se na generalidade dos países europeus, como resultado dos problemas crescentes do ambiente urbano em constante densificação.

Contudo, embora a dispersão urbana possa reduzir as queixas ambientais dos moradores, é incomportável para o País. Portugal é um país pequeno, com cerca de ¼ do território em áreas naturais protegidas. A carência de solo será seguramente um dos problemas no futuro de Portugal. Embora o solo não pareça ainda escassear, o ritmo de consumo para urbanização não pode continuar. A densificação dos centros urbanos e a revitalização dos centros históricos constituem prioridades para combater a crescente afectação do solo à urbanização.

2.4.5 Regulamentação e programas de apoio para a sustentabilidade ambiental

Regulamento Geral das Edificações

O Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU)⁶², em vigor desde 1951, foi objecto de uma proposta de revisão elaborada entre 2003 e 2004 por uma Subcomissão do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes⁶³. Esta proposta de revisão foi objecto de pareceres críticos da Ordem dos Engenheiros e da Ordem dos Arquitectos, e não entrou em vigor até à data de publicação do presente relatório.

O interesse do projecto de Regulamento Geral das Edificações (RGE) reside na identificação de actualizações a introduzir no RGEU em vigor, nomeadamente a integração de alguns objectivos de sustentabilidade ambiental. Destaca a introdução de requisitos sobre a interacção entre o edificado e o meio ambiente, os impactes ambientais que a sua construção e demolição podem provocar, e as características dos materiais utilizados.

Regulamentação sobre Desempenho Energético dos Edifícios

Durante a década de noventa foram aprovados dois regulamentos sobre desempenho térmico de edifícios, que definiram requisitos mínimos para as envolventes e para os sistemas de climatização. Apesar de estes regulamentos terem sido concebidos para assegurar adequadas condições de conforto interior nos edifícios, contribuíram indirectamente para melhorar o desempenho energético.

⁶¹ Nunes Correia – Ambiente e ambientalismos, 1995.

⁶² Portugal – Decreto-Lei n.º 38 382, 1951.

⁶³ Subcomissão para a revisão do Regulamento Geral das Edificações Urbanas – Regime Geral das Edificações: Projecto de Decreto-Lei. Versão de Janeiro de 2007.

O regulamento "Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios" (RCCTE), de 1990, visava a melhoria do desempenho térmico da envolvente dos edifícios, no sentido de garantir a melhoria das condições de conforto sem acréscimo do consumo de energia. O nível de exigência deste regulamento era moderado, mas devido a ele praticamente todos os novos edifícios passaram a ter isolamento térmico e vidros duplos, tornando-se estas características correntes da construção⁶⁴.

O "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios" (RSECE), de 1998, aplicava-se a edifícios com climatização e visava o cumprimento das exigências de conforto e de qualidade do ambiente, em condições de eficiência energética⁶⁵.

No âmbito da Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios (Directiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002), os regulamentos referidos foram revistos. Em 2006 foi aprovado o "Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior nos Edifícios"⁶⁶ e novas versões do RCCTE⁶⁷ e do RSECE⁶⁸.

As novas versões do RCCTE e do RSECE pretendem aumentar o nível de exigência e melhorar a eficiência energética, com vista a alcançar uma redução significativa dos consumos energéticos no sector residencial e dos pequenos edifícios de serviços. Esta redução deveria verificar-se tanto nos edifícios novos, como nos edifícios existentes que sejam alvo de uma intervenção de reabilitação em que o custo seja igual ou superior a 25% do valor de referência para o edifício construído de novo, sem o custo do terreno. Até à data não está comprovado que se venham a alcançar estes objectivos.

Programa Água Quente Solar para Portugal

Apesar de Portugal ter em algumas regiões cerca de 3 mil horas de Sol anuais, o mercado de colectores solares térmicos tem uma dimensão muito inferior à de outros países, o que indica que o potencial deste recurso renovável para o aquecimento de água não tem sido muito explorado. A Grécia, por exemplo, que tem características semelhantes às nacionais em termos de área, clima, população e nível de desenvolvimento, tem uma capacidade solar térmica instalada 12 vezes superior à de Portugal e é um dos maiores exportadores de painéis solares térmicos do mundo⁶⁹.

Para fomentar o aproveitamento do potencial solar térmico a Direcção Geral de Energia (DGE) promoveu, com a parceria da Agência para a Energia, o Instituto Nacional Engenharia e Tecnologia Industrial, a Sociedade Portuguesa de Energia Solar e a Associação Portuguesa da Indústria Solar, a criação de um programa denominado Água Quente Solar para Portugal⁷⁰. Este programa teve como objectivo a criação de um mercado de colectores solares para o aquecimento de água com garantia

⁶⁴ Gonçalves, Joyce, Silva (eds.) – Fórum energia renováveis em Portugal, uma contribuição para os objectivos de Política energética e ambiental, 2002.

⁶⁵ Idem.

⁶⁶ Portugal – Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril.

⁶⁷ Portugal – Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril.

⁶⁸ Portugal – Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril.

⁶⁹ Azevedo – Os devoradores de energia, 2004.

⁷⁰ ADENE – Linhas de apoio fiscais e financeiras à energia solar térmica, 2003.

de qualidade, visando conseguir um aproveitamento generalizado da energia solar para aquecimento das águas sanitárias, e reduzir significativamente o equivalente de petróleo dos consumos energéticos residenciais, a importação de combustíveis fósseis e as emissões nacionais de CO₂. Este programa assumiu uma meta muito ambiciosa que previa a instalação de 150.000 m² de colectores por ano, a partir de 2003. De acordo com dados da ADENE – Agência para a energia, em 2003 tinham sido apenas instalados 9.210 m², mas em 2006 este reduzido valor tinha já subido para 28.300 m². No final de 2006 tinha-se atingido um total de 253.000 m² de colectores solares térmicos operacionais⁷¹.

De acordo com o RCCTE em vigor, é obrigatório disponibilizar 1 m² de superfície de colector solar com exposição solar adequada por habitante convencional previsto, podendo este valor ser reduzido ao limite mínimo de 50% da área de cobertura total disponível⁷².

Uma das barreiras referidas como inibidora da expansão deste mercado tem sido o elevado investimento inicial que os sistemas solares térmicos implicam. No entanto, por um lado este investimento pode ser rapidamente recuperável através das poupanças de energia resultantes da introdução do sistema solar térmico, e por outro o Estado Português concede incentivos financeiros e benefícios fiscais para a compra de sistemas solares térmicos, por via de reduções no IRS, IRC e IVA.

A utilização de colectores solares para aquecimento de água tem um papel especialmente relevante no sector doméstico, onde os aparelhos para aquecimento de água (ex., esquentadores, caldeiras, termo acumuladores) são actualmente responsáveis por cerca de 50% dos consumos de energia habitacionais⁷³. De acordo com estudos recentes, no nosso país poderiam ser instalados cerca de 7.500.000 m² de colectores solares, e mesmo com apenas 1/3 deste valor seria possível reduzir em 150.000 tep a nossa dependência energética e em 1% as nossas emissões de CO₂ (redução relativa ao valor de 1990). A título de exemplo, note-se que a quantidade de CO₂ evitada por uma família ao instalar um sistema doméstico de aquecimento de água, com 4 m² de colectores solares, compensa a quantidade de CO₂ produzida pela quilometragem média anual de 15.000 km do seu automóvel.

2.4.6 Investigação, formação e meio profissional

A documentação de referência, a regulamentação e os programas de apoio ajudam a responder às novas exigências de sustentabilidade nos edifícios. Contudo, as actividades de ensino, investigação e divulgação científica, desenvolvidas nas universidades e laboratórios nacionais, as acções de formação e debate no meio técnico profissional e a construção de edifícios de ensaio e demonstração constituem também um importante apoio para a promoção da sustentabilidade em edifícios.

O currículo da maioria das licenciaturas em arquitectura não tinha em 2004 disciplinas específicas sobre sustentabilidade ambiental, sendo o tema abordado por via de outras disciplinas. Ao nível de pós-graduação e doutoramento existe um número crescente de cursos vocacionados para o tema da

⁷¹ ADENE – Caracterização do solar térmico em Portugal 2006: Relatório síntese, 2007.

⁷² D.R. – Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios, Artigo 7.º, ponto 2.

⁷³ DGE – Colectores solares para o aquecimento de água no sector doméstico, 2004.

sustentabilidade ambiental em edifícios e nas cidades. Também na engenharia civil, não foram identificadas em 2004 licenciaturas com disciplinas específicas sobre sustentabilidade ambiental, sendo o tema da construção sustentável tratado ao nível de pós-graduação e doutoramento.

A investigação conduzida nas universidades portuguesas sobre o tema da construção de edifícios sustentáveis tem assim tido um rápido crescimento, sendo cada vez mais numerosos os estudos sobre o tema. O número de estudos demonstra o interesse pelo tema e a possibilidade de o desenvolver em Portugal com inovação.

O tema da sustentabilidade ambiental da construção também está a ser abordado nos Laboratórios e Institutos do Estado, nomeadamente no LNEC. O LNEC promove investigação sobre sustentabilidade ambiental em diversas áreas tais como, hidráulica, vias de comunicação, barragens, materiais de construção, edifícios.

Em Portugal constroem-se edifícios bioclimáticos desde há vinte anos. A casa termicamente otimizada, de 1984, foi um dos primeiros edifícios que experimentou as tecnologias passivas em edifícios, comprovando a sua eficiência, e desde então surgiram vários edifícios demonstrativos⁷⁴ (Figura 11).

A importância dos edifícios solares passivos para a melhoria do parque edificado em Portugal e para a redução dos seus consumos energéticos é já reconhecida⁷⁵, mas este contributo será mais significativo na medida que houver mais exemplos de sucesso que constituam referências para o meio profissional.

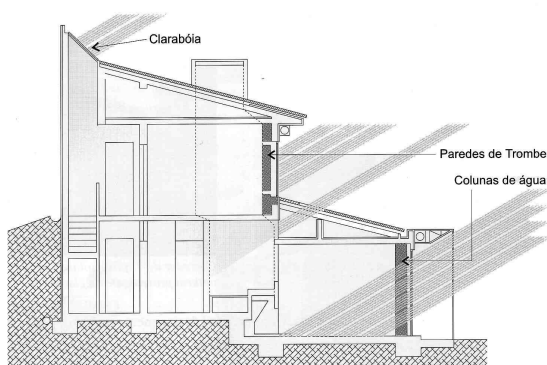


Figura 11 – Casa termicamente otimizada.

Arq.º C. Araújo e S. Boissel, Porto

(fonte: Edifícios Solares Passivos em Portugal)

⁷⁴ Gonçalves – Edifícios solares passivos em Portugal, 1997.

⁷⁵ Gonçalves, Joyce, Silva (eds.) – Fórum energia renováveis em Portugal, uma contribuição para os objectivos de Política energética e ambiental, 2002.

No meio técnico e profissional o número de arquitectos e engenheiros interessados em construção sustentável tem aumentado. Nos concursos de arquitectura algumas das propostas apresentadas evidenciam um elevado investimento no desempenho ambiental das soluções e os projectistas tiram partido dos requisitos de sustentabilidade ambiental para a expressão arquitectónica das soluções.

Para a formação de técnicos e profissionais, numerosas acções de formação, seminários e *workshops* têm sido promovidos por diversas organizações, tais como ordens profissionais, universidades, associações de defesa do ambiente e do património e associações da indústria da construção.

2.4.7 Opinião pública

As avaliações que o público faz dos riscos ambientais e as atitudes que tem para com o ambiente são directamente influenciadas pelos valores culturais e pela exposição a situações concretas de risco ou de degradação ambiental, apresentando assim uma grande variabilidade⁷⁶.

A contradição entre sociedade de consumo e consciência ecológica é visível em Portugal, pois a população em geral está habituada a basear o seu *status* na sua capacidade de consumo, independentemente das consequências ambientais.

Contudo, em relação ao tema do ambiente não existe uma opinião pública única, mas sim uma proliferação de segmentos diferenciados nos seus valores e atitudes, movidos por razões e interesses muito distintos. Tem-se investido no esclarecimento dos mais novos, e através deles dos seus familiares, procurando inculcar-lhes uma consciência mais ecológica. Porém, têm sido as situações de ruptura, como os incêndios, as cheias, a poluição ou o congestionamento do tráfego, que têm provocado o efeito de alerta mais significativo nas populações. Nos últimos anos a publicidade em torno do tema do aquecimento global tem também contribuído para uma maior informação sobre o estado do ambiente e como este depende dos nossos modos de vida.

O desenvolvimento da consciência ambiental colectiva tem sido proporcional ao crescimento do desconforto e à diminuição de qualidade de vida, bem como à mediatização dos problemas ambientais globais, o que constitui uma oportunidade para o esclarecimento da população e para a implementação de uma educação que forme cidadãos ambientalmente cultos e activos na defesa e melhoria da qualidade do ambiente natural e humano.

⁷⁶ Idem.

3. Dos recursos ambientais aos princípios de sustentabilidade

Perante a tendência para a extensão da urbanização, reforçada pelo uso do transporte rodoviário individual, por pressões de mercado e por modos de vida que procuram um ambiente residencial mais tranquilo, parece evidente que enquanto a sociedade adopta a retórica da sustentabilidade está na prática a promover um desenvolvimento insustentável.

Para superar esta contradição, uma intervenção sustentável deve integrar e articular os vários domínios ambientais a diferentes escalas, garantindo uma acção coerente sobre o território e a legitimação das restrições ao uso dos seus recursos.

Na sociedade actual o papel das redes tecnológicas globais ultrapassou o papel das redes locais, mas, simultaneamente, a escala local foi ganhando relevância na promoção da sustentabilidade urbana e incentivando a construção e gestão de um *habitat* baseado em comunidades locais, diversificadas e duráveis.

Mas a sustentabilidade não é um receituário, e sim uma ideologia e uma aceitação colectiva de limites ao desenvolvimento. Aplicar o paradigma da sustentabilidade à habitação e áreas residenciais implica, assim, rever o modelo de habitabilidade assente no consumo extensivo de recursos, e estabelecer princípios de acordo com um modelo de uma habitabilidade ajustada pela gestão eficiente dos recursos naturais.

3.1 Recursos ambientais

Energia e fixação de carbono

Do volume de CO₂ emitido para a atmosfera por efeito da acção antrópica, aproximadamente 70% são provenientes da queima de combustíveis fósseis e 30% de outros usos (queima de florestas ou perdas naturais)⁷⁷. As necessidades energéticas das sociedades industrializadas estão na origem da desregulação do ciclo natural do carbono, pois a queima de combustíveis fósseis liberta dióxido de carbono em excesso e, simultaneamente, por via de efeitos indirectos como a desflorestação, diminui a capacidade de fixação pelos ecossistemas.

O excesso de carbono que não circula no ciclo global acumula-se na atmosfera, intensificando o efeito de estufa e agravando as alterações climáticas. Um ciclo que era naturalmente fechado tornou-se num ciclo aberto, onde uma parte significativa do carbono emitido não encontra retorno às suas fontes naturais não minerais.

Assim, é urgente abandonar a dependência de energias não renováveis (reduzindo as emissões de CO₂ e o ritmo de consumo de recursos esgotáveis) e compensar o desequilíbrio actual do ciclo (recorrendo à floresta, a superfícies de água ou a outras formas de captação e fixação do CO₂ em excesso).

A nível global o Painel Internacional para as Alterações Climáticas (IPCC) aponta o sector dos edifícios como principal responsável pelas emissões de CO₂ equivalente (Figura 12).

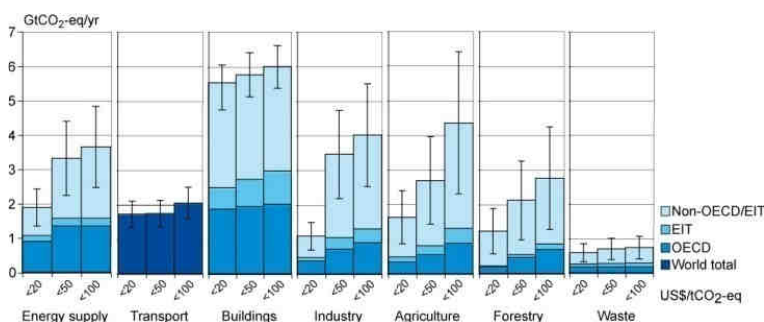


Figura 12 – Previsão de redução de CO₂ equivalente nos vários sectores para os próximos 20, 50 e 100 anos. (fonte: IPCC)

Água e Ar

A água é um bem finito que circula continuamente no Planeta passando por vários estados, onde varia de qualidade e pureza. A água potável representa apenas 0,01% da água do Planeta e encontra-se em circulação contínua, entre a chuva, a evaporação e os cursos de água. A contaminação do ar e da água são processos em grande parte irreversíveis, com efeitos negativos sobre o ciclo hidrológico, e que contribuem para o aumento da escassez da água potável.

⁷⁷ Veja-se o *International Panel for Climatic Change* (IPCC) para informação mais detalhada.

A crescente ocupação do território tem vindo a contribuir para a perda e o desperdício de água, bem como para a contaminação e a diminuição da reposição de reservas, causadas pela redução de infiltração natural nos solos. Como resultado, o desequilíbrio do ciclo hidrológico é hoje visível no agravamento de cheias e secas, nos cursos de água poluídos e na diminuição de reservas de água potável.

Os problemas de poluição da atmosfera são também complexos, dada a grande mobilidade do seu veículo de transporte. A emissão produzida num local pode ter efeitos mais ou menos negativos em função das condições meteorológicas e pode produzir esses efeitos localmente, a muitos quilómetros de distância ou mesmo à escala do Planeta. O estudo da qualidade do ar assume importância por diferentes motivos nas diversas escalas do *habitat*⁷⁸: à escala urbana estão em causa problemas de saúde pública, à escala regional observam-se os impactes sobre a fauna e a flora ou de contaminação de recursos, e à escala global colocam-se as questões da contribuição para o efeito de estufa ou para a depleção da camada de ozono.

A atmosfera é geralmente afectada não só pelo excesso de CO₂ mas também pela presença de outros gases (CH₄ metano; N₂O óxido nítrico; HFC, PFC, SF₆ compostos halogenados) que, para além de agravarem o efeito de estufa, contribuem para a deterioração da qualidade do ar e põem em risco a saúde humana (Figura 13). A acidificação e a eutrofização, processos de poluição atmosférica que não têm fronteiras, são provocados por três gases designados como o *equivalente ácido* (SO₂ dióxido de enxofre, NO_x óxidos de azoto e NH₃ amónia). As emissões de substâncias precursoras do ozono troposférico constituem ainda um fenómeno de poluição atmosférica grave, decorrente da acumulação de ozono em áreas urbanas e áreas industriais⁷⁹.



Figura 13 – Fontes emissoras dos gases com efeito de estufa.

(fonte: Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável – WBSD)

⁷⁸ Nunes Correia – Ambiente e ambientalismos, 1995.

⁷⁹ Esta acumulação é causada por reacções fotoquímicas que envolvem gases poluentes (NO_x óxidos de azoto; COVNM compostos orgânicos voláteis não metânicos, CO monóxido de carbono e CH₄ metano).

A Agenda 21 aponta que, para a preservação da qualidade do ar e da água, é essencial proteger as reservas e as captações, salvaguardar aquíferos e cursos de água da contaminação, e reduzir a poluição atmosférica. Estes objectivos são já banais em virtude de serem amplamente repetidos, mas na realidade continuam a não se repercutir nas intervenções sobre o ambiente urbanizado.

As situações de risco podem ser minimizadas por uma boa gestão do ciclo da água (que começa na redução do desperdício) e pela retenção da água em depósitos naturais, na atmosfera ou no coberto vegetal, evitando a sua contaminação. O tratamento da poluição na fonte, por sistemas locais energeticamente pouco exigentes, tem um papel essencial na minimização dos custos e da dispersão dos impactes negativos, contribuindo igualmente para a conservação da qualidade do recurso Ar.

A diminuição da poluição atmosférica, no que diz respeito ao ambiente construído, depende sobretudo da alteração dos modos convencionais de produção de energia e do seu uso nos edifícios, bem como nos transportes.

Solo e Minerais

Os solos de alta fertilidade e os depósitos de minerais são hoje recursos escassos e desprotegidos perante as leis de mercado. Os solos férteis localizados junto a perímetros urbanos adquirem um valor de mercado que os torna vulneráveis à pressão da urbanização.

Os recursos minerais não renováveis, como o petróleo ou a pedra, são comercializados livremente entre cidades, regiões e nações, não existindo políticas de exploração a longo prazo que limitem as formas de utilização destes recursos. Os recursos minerais extraídos do subsolo só se exploram até à profundidade em que seja economicamente viável fazê-lo, pelo que antes do seu esgotamento se põe o problema da sua acessibilidade. No caso da pedra, a partir de uma determinada profundidade, este material deixa de ser extraído. Neste sentido, a pedra nunca se esgotará mas deixará de ser um recurso com que podemos contar para satisfazer as nossas necessidades. Mas se a pedra pode ser reutilizada, o mesmo não acontece com os combustíveis fósseis.

A Agenda 21 aponta que a conservação e a correcta gestão do solo e dos minerais é uma das principais prioridades a ter em conta na ocupação e transformação do território. Para alterar os padrões convencionais de exploração destes recursos, os critérios de sustentabilidade devem ser tomados em conta na selecção dos locais de implantação de edifícios e na escolha de materiais empregues na construção. Uma exploração sustentável de minerais deve também contemplar a gestão da procura onde os recursos são limitados ou onde o seu uso tem impactes ambientais negativos.

Biodiversidade

A biodiversidade é a componente viva do nosso ecossistema global, desempenhando um papel vital na manutenção do equilíbrio dos ciclos naturais da Biosfera. O ambiente biótico, em conjunto com o ambiente abiótico constitui, a "máquina" que fecha a circulação de matéria na Terra e que garante a máxima eficiência no uso contínuo dos seus recursos. Esta sim é a "máquina" da sustentabilidade.

Contudo, a fauna, a flora e os microrganismos são utilizados em grande escala em muitas das actividades humanas, e as suas condições de sobrevivência são constantemente alteradas pelo modelo de desenvolvimento convencional. A extinção de espécies é um fenómeno constante que se calcula ser muito mais veloz do que o reaparecimento de novas espécies, colocando a biodiversidade em risco e em constante empobrecimento.

A Agenda 21 aponta que a alteração e a destruição dos habitats e dos ecossistemas naturais devem ser compensadas prevendo a conservação e multiplicação de áreas com condições para o desenvolvimento da biodiversidade natural. A integração de refúgios, corredores, bolsas verdes, zonas protegidas, áreas húmidas e portos seguros no planeamento territorial e urbano permitem reservar áreas para a vida selvagem. A conservação e a boa gestão da água, bem como a preservação e a melhoria da qualidade do ar, contribuem também para a protecção da biodiversidade e dos seus habitats.

Materiais e resíduos

Consumindo recursos energéticos, água, ar, solo, minerais e a própria biodiversidade, o Homem extrai, usa e produz materiais, originando resíduos. Os materiais naturais são recursos de uso directo, cujos excedentes retornam ao meio ambiente. Os materiais artificiais, pelo contrário, são produtos transformados que não retornam à sua origem e cujo excedente se transforma em resíduo não reutilizável sem uma transformação específica e, em muitos casos, impossível de reutilizar. A produção de materiais artificiais consome recursos, emite poluentes e gera resíduos. A eliminação de poluentes e resíduos, por sua vez, consome mais recursos, em geral, água e energia. Porém, materiais e resíduos tenderão, cada vez mais, a ser vistos não só como consumidores, mas também como geradores de recursos. A reutilização de materiais retardará a produção de resíduos e a reciclagem de resíduos gerará novos materiais, numa cadeia onde as perdas são minimizadas e onde a transformação *Recursos – Materiais – Resíduos – Recursos* tende a ser cíclica. Para além disso, os resíduos têm, não só a potencialidade de se converterem em novos materiais, como também de produzir energia.

A Agenda 21 aponta que a boa gestão do funcionamento da cadeia materiais/resíduos poderá assegurar a autonomia local na produção de alguns materiais e no tratamento de alguns resíduos, permitindo também minimizar o transporte. A boa gestão de resíduos tem ainda uma importância acrescida por interferir na qualidade das reservas de água, ar e solo e por condicionar a conservação da biodiversidade. Para proteger a qualidade ambiental local é essencial controlar o armazenamento dos resíduos e prever o destino dos excedentes que não podem ser convertidos nem em matéria orgânica, nem em energia ou materiais utilizáveis.

Património

Tendo em conta que a ecologia não visa um mero sistema biológico, mas sim um ecossistema onde o Homem está inserido como agente social e cultural, o património é também um recurso a conservar e

a gerir cautelosamente. Na mesma medida em que o ambiente é entendido como envolvente global, e não só natural, o património sociocultural pode ser visto como um recurso ambiental. A qualidade ambiental não é apenas a defesa do ambiente e do património naturais. O património construído, com a sua carga cultural, é um valor indissociável da qualidade ambiental. O "direito à memória" faz parte, com o direito ao ambiente e ao desenvolvimento, da nova geração de direitos fundamentais. O património é um recurso diversificado, incluindo uma componente física (edifícios, paisagem e infra-estruturas) e uma componente cultural (herança histórica, valores estéticos e identidade local). A Agenda 21 Local refere que a conservação do património pressupõe o respeito pelo contexto preexistente e a definição de áreas de importância paisagística ou simbólica, espaços públicos de referência e áreas de salvaguarda e requalificação prioritária, salientando a importância da elaboração de cartas do património municipal.

3.2 Escalas de sustentabilidade

3.2.1 Do território aos habitantes

Durante a segunda metade do séc. XX a rápida expansão e dispersão urbana, baseada numa mobilidade intensiva assente no uso ilimitado dos combustíveis fósseis, fez com que as cidades *transbordassem* para além dos seus limites tradicionais – dados pelo abastecimento de recursos locais – e condenou os novos espaços à ausência de uma estrutura urbana coesa⁸⁰. A gravidade da situação levou a que no fim do séc. XX o conceito de desenvolvimento sustentável elege-se como princípio fundamental a articulação dos intervenientes nas várias escalas de acção territorial, conjugando esforços para um fim comum. No que respeita à habitação, não é apenas a casa que pode tornar o nosso habitat mais sustentável, mas também a rua, o parque e a região.

Ao nível do Ordenamento do Território as estratégias para o desenvolvimento sustentável residem na definição criteriosa de usos do solo, sistemas de infra-estruturas, redes de mobilidade e densidade das zonas urbanas. No controlo do uso do solo reside a oportunidade de reter a expansão das zonas urbanas e apostar na recentralização e revalorização urbana, bem como na potenciação de actividades não urbanas determinantes para a sustentabilidade, como por exemplo a floresta. A densificação urbana tem sido apontada como forma de concretizar o objectivo de retenção da expansão urbana⁸¹, pois permite reduzir a ocupação do solo fértil, a extensão de infra-estruturas, a quantidade e materiais empregues, o consumo de energia.

À escala do Planeamento urbano são tomadas decisões relativas à organização espácio-funcional do lugar, à localização dos espaços verdes, às infra-estruturas e transportes e à morfologia urbana a adoptar. Um planeamento urbano sustentável deve conduzir à definição de padrões de uso de solo e do edificado que definam um sistema equilibrado do uso de espaços livres e construídos, à

⁸⁰ CAE – A Europa e a arquitectura amanhã, 1995.

⁸¹ Barton, Davis, Guise – Sustainable settlements, A guide for planners, designers and developers, 1995.

optimização do microclima urbano, à promoção da mobilidade sustentável, à utilização infra-estruturas ecológicas (para a água, energia e resíduos) e à participação e comunicação com os utentes⁸².

Na configuração de bairros residenciais a relação da habitação com actividades de comércio, lazer e serviços é também determinante para a sustentabilidade urbana. Depois da densificação das zonas urbanas como *estratégia territorial* a multi-funcionalidade dos bairros afigura-se como uma *estratégia urbana* a privilegiar para a sustentabilidade ambiental.

As características construtivas, espaciais, formais e funcionais dos edifícios e dos espaços públicos são definidas através de projectos de arquitectura. O processo de projecto é um ponto-chave para integrar os objectivos de bom desempenho ambiental nas decisões referentes às características dos edifícios, possibilitando o uso eficiente dos recursos durante a totalidade do seu ciclo de vida. A interacção com o clima e o uso de energias endógenas devem ser assegurados desde o planeamento urbano mas é na concepção arquitectónica que poderão ser mais potenciados. A especificação de materiais locais, naturais, renováveis ou reutilizáveis e de sistemas construtivos de bom desempenho é também da responsabilidade do projecto de arquitectura e suas especialidades.

Contudo, para um processo de construção mais sustentável é também necessário reduzir o impacte ambiental da edificação e da infra-estruturação, recorrendo a materiais locais ou renováveis, reduzindo o consumo de energia, minimizando o desperdício de água e adoptando estratégias de gestão dos resíduos da construção. Para atingir estes objectivos é essencial repensar os processos de construção, elaborar normalização e regulamentação, assegurar o controlo da qualidade em estaleiro, investir em formação e investigação, e promover a consciencialização dos profissionais e do público.

Finalmente, numa intervenção sustentável, os habitantes desempenham papéis que também importa considerar: em primeiro lugar, enquanto consumidores (compradores ou arrendatários) estabelecem as solicitações da *procura* no mercado imobiliário; em segundo lugar, como eleitores participam na escolha do poder político ou participam directamente nos processos de tomada de decisões; e, finalmente, como utilizadores dos espaços construídos têm práticas com consequências sobre o ambiente e sobre os recursos.

A monitorização e a divulgação de resultados, acompanhadas de esclarecimento adequado, são uma das principais vias para potenciar o papel positivo dos habitantes como utilizadores e para os motivar como actores para a mudança. Por um lado, a informação dos utentes sobre os seus próprios consumos constitui um incentivo à poupança de recursos, à utilização de água aquecida em colectores solares, à regulação da iluminação ou à utilização equipamentos de baixo consumo. Por outro, os dispositivos de contabilização de consumos ou de emissões, de reciclagem de resíduos ou de uso de transportes públicos podem consciencializar e responsabilizar a população quanto seu desempenho ambiental, permitindo evitar desperdícios, comparar desempenhos e estabelecer objectivos.

⁸² Miguel Amado – O processo do planeamento urbano sustentável. 2002.

3.2.2 Habitat sustentável

Um *habitat* urbano mais sustentável implica a definição de estratégias de controlo e redução da destruição ambiental actual. São descritas em seguida as principais estratégias, transversais aos vários domínios ambientais e às várias escalas de intervenção territorial, que podem estruturar uma visão do *habitat* sustentável do futuro, segundo a Agenda Local 21 do Reino Unido⁸³.

Aumentar a auto-suficiência e reduzir impactes

Uma casa, um bairro ou uma cidade são ecossistemas que definem um *habitat local*, essencial para que o Homem crie as suas condições microclimáticas de conforto e de permanência. Este *habitat* tem a capacidade de crescer e de se renovar, consumindo bens e produzindo efluentes. Quanto mais recursos este *habitat* aproveitar do seu contexto local e quanto mais reduzir a sua dependência de recursos ambientais externos, maior será a minimização da poluição e a degradação do ambiente que o envolve.

O investimento na auto-suficiência implica, a qualquer nível, o abandono da uniformidade e a adesão à diversidade, substituindo os zonamentos por usos mistos, a dependência do automóvel pela intermodalidade, a monocultura por agricultura diversificada, e a pobreza de espécies pela biodiversidade. No contexto de uma economia cada vez mais centralizada pode parecer estranho dar ênfase às necessidades locais e à autonomia local. No entanto, esta escala é a que permite tornar possível a definição de uma sustentabilidade específica, conciliando o progresso global com crescimento local.

Oferecer opções e contemplar necessidades

No desenvolvimento sustentável os objectivos sociais e ambientais reforçam-se mutuamente. Para a sustentabilidade ambiental, como para a estabilidade social, a oferta de várias oportunidades de escolha é decisiva. O objectivo da intervenção sustentável não é forçar o habitante a um determinado comportamento, mas sim facilitar comportamentos que são ambientalmente e socialmente benignos. Provavelmente, não é possível persuadir os utentes a deixarem o automóvel privado quando ele representa a única forma rápida e confortável de se deslocarem para os empregos e equipamentos. Mas se existir a diferentes opções para chegar a esses locais a pé, de bicicleta, ou por transportes públicos, com eficiência e conforto, é muito provável que estas opções venham a ter cada vez mais adeptos. A qualidade de vida é o factor central do *habitat* sustentável. As opções ecológicas só são susceptíveis de ser preferidas quando adequadas aos anseios estéticos, culturais, económicos e sociais das comunidades.

⁸³ Idem.

Criar um ambiente robusto e adaptável

Desenvolvimento sustentável é denominado em algumas línguas por *desenvolvimento durável*, pois a longevidade da vida no nosso Planeta, como desígnio máximo da sustentabilidade, consegue-se com uma maior durabilidade dos sistemas e com um crescimento que se idealiza contínuo sem quebras e sem riscos potenciais de colapso.

A robustez e a adaptabilidade do ambiente construído preparam-no para o futuro. Um *habitat* durável resiste à degradação causada pelo uso e oferece capacidade para assimilar as transformações decorrentes da passagem do tempo. Este tipo de habitat renuncia ao que é efémero mas também não está condicionado pelo que é absolutamente definitivo. A robustez implica que o local esteja preparado para desafios como, por exemplo, o de continuar a sobreviver, mesmo se os preços dos combustíveis fósseis triplicarem. A adaptabilidade implica que os edifícios, os bairros e as cidades estejam preparados para a alteração das necessidades dos utentes e da sociedade.

3.2.3 Cidades sustentáveis

O actual estado dos recursos ambientais evidencia que a sua valorização, embora apregoada desde há já mais de uma década, tem conhecido poucos ecos nas intervenções urbanas recentes. As cidades são conduzidas por poderosos interesses económicos e sociais que as transformam rapidamente⁸⁴. A arquitectura pode ter um papel na inversão desta tendência, mas uma viragem de rumo só será possível através da articulação com outras escalas de acção, em particular o planeamento e o desenho urbano.

O planeamento urbano sustentável deve promover um ambiente que oferece: *diversidade* (variedade e flexibilidade), *produtividade* (eficiência e auto-suficiência) e *protecção* (mitigação de extremos climáticos e da degradação)⁸⁵. Deve também articular-se com o desenho urbano e com medidas de gestão e regulação.

Transportes e mobilidade sustentável

A mobilidade tem estruturado as cidades, mas tem também sido responsável por grande parte da degradação ambiental urbana, em virtude das emissões poluentes provenientes de veículos, do congestionamento do tráfego, e do consumo de solo para alargamento de vias e construção de espaços de estacionamento. A dependência de combustíveis fósseis é a principal causa da ineficiência ecológica dos transportes urbanos, e o custo moderado destes combustíveis bem como o crescente investimento na opção rodoviária têm permitido o recurso continuado a deslocações em veículos poluentes.

A promoção da mobilidade sustentável, baseada numa infra-estruturação de transportes que cumpra as suas funções sociais e económicas, limitando simultaneamente os seus efeitos negativos sobre o

⁸⁴ Hall, Pfeiffer – Urban future 21, a global agenda for twenty-first century cities, 2000.

⁸⁵ AAV – Sustainable urban design, 2000.

ambiente, é inerente a um planeamento urbano mais sustentável. A cidade sustentável deve basear-se no uso do transporte colectivo, de bicicletas e da mobilidade pedonal, visando reduzir a necessidade de uso de transportes individuais poluentes nas deslocações quotidianas.

Na realidade muitas das deslocações quotidianas podem ser feitas sem recorrer a meios motorizados se forem hierarquizadas as vias e reduzidas as distâncias. É possível reduzir as deslocações minimizando a dispersão urbana e aumentando a autonomia das áreas urbanas com zonamentos mistos em que existe proximidade física entre locais de trabalho, escolas, comércio, serviços e habitação.

Porém, a utilização do veículo particular constitui um dos factores mais problemáticos da cidade e um dos hábitos mais enraizados na própria sociedade. Um planeamento urbano mais sustentável não pode implicar o abandono radical do transporte individual, mas deve implementar uma nova maneira de gerir o transporte de habitantes, produtos e mercadorias no espaço urbano. As zonas de acesso controlado, a partilha do automóvel, a restrição da sua velocidade e do seu estacionamento, a promoção de veículos movidos a combustíveis renováveis, o domínio e a intermodalidade do transporte público, e a implementação de percursos pedonais e cicláveis com qualidade de circulação, iluminação e sombra, bem como a cedência de prioridade aos peões, são formas relativamente simples de impulsionar modos mais sustentáveis de transporte.

A utilização crescente das novas tecnologias da informação e comunicação possibilita novos modos de trabalho, educação e lazer. Grande parte do que hoje se realiza no local de trabalho poderá efectuar-se em casa, recorrendo à Internet ou a teleconferência⁸⁶. As necessidades de deslocação dos habitantes entre os locais onde residem, onde trabalham e onde adquirem bens e serviços podem assim diminuir.

Em complemento, as novas tecnologias da informação e comunicação estão a contribuir activamente para a maior eficiência das redes de transportes urbanos. Por exemplo, a transmissão de informação pode ser utilizada para dar prioridade a autocarros e para fornecer informação aos passageiros em espera, e a utilização de cartões com *micro-chips* pode facilitar a partilha de veículos e a cobrança automática de taxas de circulação.

Optimização do microclima e do verde urbano

O clima urbano resulta da conjugação do clima natural de uma zona geográfica com as alterações decorrentes da ocupação do território por infra-estruturas, edifícios e novos elementos paisagísticos.

O reduzido custo da mobilidade rodoviária e a tendência para o zonamento especializado do uso do solo encorajaram, nas últimas décadas, padrões de implantação urbana dispersa que, além de resultar num aumento do consumo de energia, esqueceram a importância das relações entre clima e espaço urbano.

⁸⁶ Ruano – Ecurbanismo, entornos humanos sostenibles: 60 proyectos, 1999.

Nas áreas urbanas predominam os materiais duros, com elevada retenção térmica, as superfícies impermeáveis, que impedem a retenção de água, e os edifícios altos, que condicionam o vento e a circulação do ar. Como consequência, o clima das áreas urbanas tende a caracterizar-se por temperaturas mais elevadas, níveis de humidade menores e concentração de poluição.

Com vista a melhorar a qualidade de vida, a optimização do clima urbano deve constituir um princípio fundamental do planeamento urbano sustentável, controlando factores como a radiação solar, o vento, a temperatura, a humidade relativa, e a qualidade do ar.

Controlo de radiação solar em espaços urbanos

A *radiação solar* incidente num determinado edifício é controlada em grande parte pela orientação. Mas enquanto no Norte da Europa impera a necessidade de maximizar o acesso solar, no Sul requer-se sobretudo a protecção da radiação solar de Verão. Para este fim, o verde urbano tem um papel preponderante pois a vegetação absorve a radiação e protege o solo e as fachadas dos edifícios do sobreaquecimento. A arborização contribui também para o controlo da incidência da radiação solar sobre diversas superfícies, embora a sua eficiência dependa muito dos tipos de árvores. A diferentes espécies arbóreas correspondem diferentes efeitos de sombra e diferentes velocidades e ritmos de crescimento.

As coberturas verdes têm também um papel importante na amenização do clima, protegendo os topos dos edifícios sujeitos geralmente a exposição solar excessiva e melhorando assim a sua estabilidade térmica. Este tipo de coberturas têm ainda a capacidade de adicionar isolamento acústico, criar habitats naturais e reduzir em 50% as descargas de águas pluviais dos telhados, dada a capacidade de retenção e evapo-transpiração da vegetação (Figura 14).



Figura 14 – Regulação da humidade através de coberturas verdes.

Kronsberg (Hanôver).

(fonte: www.sibart.org)

Controlo dos ventos em espaços urbanos

A velocidade excessiva do vento, um problema mais significativo nos climas frios, pode ser reduzida usando a vegetação, os espaços públicos desnivelados e a própria configuração dos edifícios, evitando túneis de vento. Para aumentar a velocidade do vento, geralmente necessária nos climas

quentes, recorre-se à orientação de vias e edifícios, e procura-se localizar os espaços públicos onde beneficiem de correntes de ar.

Controlo da temperatura em espaços urbanos

A opção generalizada por coberturas verdes, numa determinada zona urbana, tem a capacidade de reduzir o efeito de ilha de calor urbano e, simultaneamente, a mais-valia de repor espaços verdes consumidos pela *pegada ecológica* do edifício.

A presença de massas de água e de zonas verdes contribui para amenizar a temperatura (Figura 15). As massas de água possuem uma elevada capacidade de armazenamento térmico ajudando a moderar as temperaturas extremas. A evaporação da água absorve uma quantidade muito significativa de energia calórica (2466 Joules por cm³ de água evaporada⁸⁷), e pode ser conseguida à escala urbana através de vegetação, massas de água (ex., fontes, espelhos de água ou lagos) em espaços públicos, ou meios mais complexos (ex., torres ou fachadas de água).

No entanto, a integração de zonas de água em espaços públicos requer sistemas de manutenção eficazes, evitando que a sua estagnação e desqualificação venha a torná-las em fontes de poluição do ar, dos recursos hídricos, ou apenas visual.



Figura 15 – Regulação da temperatura e tratamento biológico de águas pluviais em espaços públicos.

Kronsberg (Hanôver).

Para potenciar os ganhos solares, as principais estratégias de desenho urbano consistem em: gerir a exposição solar e utilizar materiais escuros com boa capacidade de acumulação de calor nos edifícios, e criar elementos de captação solar e prever pára-ventos contra as correntes frias nos espaços públicos. Para diminuir a temperatura é aconselhável utilizar vegetação para sombreamento no Verão, diminuir as obstruções do vento, utilizar árvores baixas ou arbustos (que protegem o solo e os pavimentos de sobreaquecimento e mantêm a sua humidade), prever medidas para o arrefecimento por evaporação e limitar a quantidade de materiais duros expostos ao Sol.

⁸⁷ AAW – Sustainable urban design, 2000.

Controlo da humidade em espaços urbanos

No que diz respeito aos efeitos térmicos da humidade relativa, em latitudes europeias médias, calcula-se que se pelo menos 20% de uma área urbana for plantada com vegetação, a radiação solar utilizada pela evaporação das plantas permitirá um arrefecimento natural durante o Verão. Para aumentar a humidade relativa local deve-se aumentar a retenção de água e reduzir a drenagem imediata, dispor de meios de arrefecimento por evaporação, utilizar a vegetação em detrimento de materiais paisagísticos duros e utilizar plantas baixas e densas de modo a reduzir a absorção imediata de humidade pelo solo.

Controlo da qualidade do ar em espaços urbanos

A qualidade do ar é relevante não só para assegurar níveis de qualidade de vida, mas também para a sobrevivência da vegetação, fundamental para o equilíbrio ecológico local. Em áreas onde a qualidade do ar é deficiente muitas espécies vegetais podem absorver níveis substanciais de poluentes urbanos comuns, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar. As plantas junto a vias de circulação automóvel libertam oxigénio que combinado com o óxido de nitrogénio, libertado pelos veículos, forma dióxido de nitrogénio. Este gás pode ser de novo absorvido pela vegetação, eliminando assim parte da poluição produzida pelos veículos. Os microrganismos do solo, por sua vez, são particularmente eficientes para a conversão de monóxido de carbono em dióxido de carbono.

O papel da agricultura urbana no microclima urbano

A agricultura moderna tem contribuído para o aumento da esterilidade do ambiente, e como consequência as zonas rurais perderam parte do seu valor ecológico. A agricultura biológica integrada no ambiente urbano pode inverter esta tendência, contribuindo para a diversificação dos habitats e para a amenização do clima. Tem ainda a capacidade de fechar o ciclo dos resíduos orgânicos domésticos, que podem ser transformados em fertilizante natural.

Infra-estruturas ecológicas

O planeamento urbano sustentável deve proporcionar a gestão dos recursos de forma cíclica (água, energia, resíduos) visando a redução do consumo, a utilização racional, a reutilização e a reciclagem. Assim, o planeamento das infra-estruturas de abastecimento e tratamento destes três recursos é crucial para o seu uso sustentável. Coordenar as redes de infra-estruturas com a morfologia urbana, com a mobilidade sustentável, com o controlo microclimático e com o verde urbano, permite a uma área urbana usufruir de uma gestão ambiental exemplar, com resultados visíveis na redução de consumos e no aumento da qualidade de vida.

Energia

A optimização de recursos energéticos pode ser efectuada à escala do edifício individual, alcançando resultados por multiplicação de casos pontuais, contudo, as infra-estruturas para o abastecimento sustentável de energia são, na sua maioria, mais eficientes à escala de bairro. Destas infra-estruturas destacam-se os sistemas de aquecimento central de bairro (*district heating*), a co-geração de energia, as centrais eólicas, as centrais hidroeléctricas, ou ainda centrais que recorrem a outras fontes de energia renovável (ex. geotérmica, ondas ou queima de combustíveis renováveis).

Água

A redução de consumos, a conservação de água, a reutilização e tratamento eficiente de águas residuais, são os objectivos principais da gestão sustentável da água em áreas urbanas⁸⁸. Mas, para além destes, o controlo do escoamento de água em superfícies constituídas por materiais impermeáveis, o aumento da retenção da água no solo em áreas urbanas e o uso de água para arrefecimento são objectivos relevantes no domínio das infra-estruturas urbanas (Figura 16 e Figura 17).

É importante estabelecer um sistema eficiente de conservação de água, em meios subterrâneos ou superficiais, que assegure o isolamento de fontes contaminantes, bem como a sua infiltração e evaporação progressiva.



Figura 16 – “Caleiras verdes” para infiltração da água no solo.

Kronsberg (Hanôver).

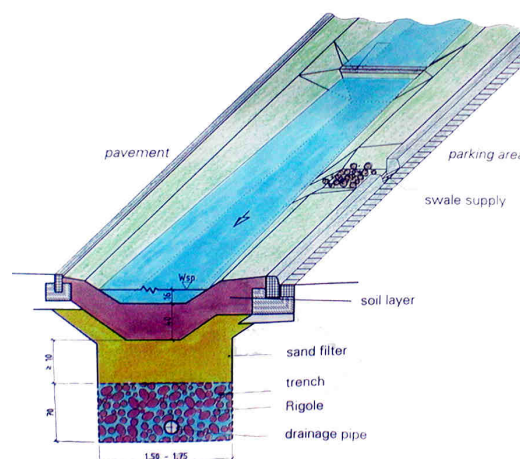


Figura 17 – Corte esquemático de “caleira verde” (sistema Mulden-Rigolen).

Kronsberg (Hanôver).

⁸⁸ Foram editadas recentemente diversas publicações do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC que abordam os temas do abastecimento, saneamento e drenagem urbana, podendo referir-se: Maria Adriano Cardoso – Avaliação do Desempenho de sistemas de drenagem urbana, 2008

Resíduos

A rede de gestão de resíduos deve ser integrada no planeamento urbano sustentável. Soluções como a previsão de cabines fechadas para recolha selectiva por veículos especializados, ou colectores automáticos por sucção melhoram o desempenho ambiental de áreas urbanas.

A provisão de espaço de armazenamento para diferentes categorias de resíduos é necessária nos vários níveis físicos de áreas urbanas, particularmente para os resíduos domésticos de áreas residenciais densas (Figura 18). Complementando estes espaços, são necessárias centrais de reciclagem, zonas de compostagem para agricultura urbana, incentivos à reutilização e, em última instância, áreas de aterro comunitárias.

Estratégias locais de tratamento de resíduos devem ser incentivadas e devem envolver a comunidade, de forma a reduzir o custo energético do transporte e rentabilizar acções de tratamento que necessitem de uma dimensão mínima para terem viabilidade ou eficiência.



Figura 18 – Pontos de recolha selectiva de resíduos domésticos.
Kronsberg (Hanôver).

Características dos edifícios

As características dos edifícios mais relevantes para a sustentabilidade ambiental urbana, que podem ser definidas pelo planeamento urbano, são a orientação e a forma do edificado, e os materiais e texturas que os constituem. A orientação solar de edifícios, já referida como um dos factores a controlar para a optimização do microclima, é determinante para garantir boas condições de conforto, interiores e exteriores.

A forma do edificado (implantação e volumetria) deve maximizar a utilização controlada da iluminação natural, a conservação de energia, o abrigo contra a intempérie e a ventilação natural. A optimização da forma do edificado varia segundo parâmetros climáticos locais, embora geralmente as formas compactas sejam mais favoráveis ao bom desempenho energético. Uma incorrecta orientação do edificado ao nível do desenho urbano pode dificultar, ou mesmo impedir, a localização dos espaços funcionais no edifício de modo a que sua ocupação diária e sazonal beneficie da exposição solar e aos ventos.

Em geral, a implantação e volumetria de edifícios e a pormenorização dos espaços públicos são características definidas pelo desenho urbano, mas sobretudo em intervenções nos centros históricos,

o desenho urbano pode também sugerir algumas características das envolventes dos edifícios, tais como materiais e texturas. Os materiais devem ser especificados tendo em conta os requisitos da imagem urbana, mas também as condições de conforto térmico e visual nos espaços exteriores (decorrentes da sua massa térmica, reflectividade solar e transmissão de calor). Por exemplo, em climas quentes, a coloração clara de superfícies reflectivas é preferível para redução de ganhos de calor diurnos, devendo ser dada simultaneamente atenção ao controlo do brilho reflectido por superfícies, sobretudo se envidraçadas.

Numa perspectiva de sustentabilidade será cada vez mais importante especificar parâmetros de orientação, forma e materialização que contribuam para a melhoria do desempenho ambiental dos edifícios, e através deles, das cidades.

Comunicação e participação

Para conduzir a construção de uma cidade sustentável o planeamento urbano deve aplicar formas de democracia directa, recorrendo a processos de informação e de participação dos habitantes. A cidade deve ser um ecossistema em que a comunidade e o ambiente urbano funcionam como uma *unidade ecológica equilibrada*, o que só poderá ser alcançado através de uma forte comunicação entre urbanistas e habitantes, e da participação destes últimos nos processos de decisão.

A qualidade de vida, principal objectivo do planeamento urbano, será alcançada com maior eficiência se os habitantes dispuserem de informação, estiverem motivados para agir e possuírem mecanismos de participação (Figura 19).



Figura 19 – Centro comunitário de informação e participação urbana e ambiental. Kronsberg (Hanôver).

Densidade urbana e sustentabilidade

Em conjunto com as tecnologias e os estilos de vida, a forma como é organizada a urbanização do território constitui um elemento determinante dos impactes das actividades humanas sobre o ambiente. Deste modo, e perante os fenómenos recentes de dispersão e diluição territorial das cidades, o estudo da relação entre modelos de desenvolvimento urbano e os seus custos colectivos (quer económicos, quer sociais ou ambientais) ganhou relevância⁸⁹.

⁸⁹ Camagni (et al.) – I costi collettivi della città dispersa, 2002.

Os custos colectivos resultantes dos modelos de crescimento e de organização sobre o território dos sistemas urbanos respeitam à infra-estruturação do território, à gestão dos serviços públicos (ex., transporte, iluminação, recolha, abastecimento), às externalidades negativas dos comportamentos individuais⁹⁰ (ex., congestionamento, poluição), a um uso mais ou menos eficiente dos recursos naturais escassos (ex., solo) ou de outros recursos de uso colectivo (ex., espaços verdes, transportes), e ainda aos custos sociais de fenómenos de segregação e de especialização de partes do território (ex., bairros residenciais sem diversidade social ou funcional).

No panorama dos diversos modelos actuais de desenvolvimento urbano, encontramos a tendência geral para o crescimento extensivo das cidades, tanto através de loteamentos incaracterísticos de edifícios de habitação unifamiliar isolada de baixa densidade, como de blocos de habitação de elevada dimensão, altura e densidade, onde o tradicional conceito de cidade tende a desaparecer, e novos custos colectivos tendem a emergir. A continuidade urbana dos centros é substituída pela dispersão que assume formas muito variadas, tanto de baixa como de elevada densidade. A rua tradicional, definida pela continuidade da construção e multifuncionalidade dos usos, dá lugar à estrada ou apenas à sequência de espaços intersticiais ao longo de um novo mosaico urbano.

Nestas zonas de expansão, a densidade de ocupação do solo assume um papel determinante nos custos ambientais da urbanização pois condiciona a eficiência do uso dos recursos naturais (o solo é um recurso escasso a ocupar criteriosamente, e a sua sobre-ocupação origina riscos ambientais de degradação e erosão) e afecta a gestão de energia e das infra-estruturas de abastecimento e de mobilidade⁹¹. A densidade deveria ser determinada por uma capacidade de carga dos sistemas urbanos, cuja avaliação deveria ter em conta os aspectos biofísicos do território em causa. Existem vantagens e desvantagens ambientais e sociais para cada tipo de densidade (Tabela 2).

Em geral, a *elevada densidade* de urbanização tem vantagens ao nível da gestão do solo (permitindo um uso mais limitado do espaço, a conservação de solo fértil e a continuidade de corredores verdes), da eficiência energética (minimizando deslocações e otimizando consumos e de fornecimento de energia) e da maximização da acessibilidade, reduzindo custos de mobilidade. Porém, quanto maior é a densidade, maior é a concentração de emissões poluentes numa determinada unidade territorial, e maiores são as exigências de adequação do desenho urbano às condições ambientais locais (clima e recursos naturais). A densidade excessiva pode ter não apenas inconvenientes ambientais, mas também sociais (ex., potencia o anonimato e comportamentos anti-sociais) e de imagem urbana (ex., desenho repetitivo e *alienante* e a ausência de espaços públicos qualificados).

A *baixa densidade* de urbanização, em geral, tem como vantagens concentrar menos utentes numa unidade territorial, poder estabelecer uma relação directa entre a habitação e os espaços verdes, e conservar solo livre quando conjugada com a construção em altura. Contudo, a baixa densidade tem como inconvenientes a extensão e ineficiência das infra-estruturas, a reduzida rentabilidade do uso do

⁹⁰ Baumol, Oates – The theory of environmental policy, 1988.

⁹¹ Edwards, Turrent – Sustainable housing: Principles and practice, 2000.

solo, os elevados custos energéticos de utilização (a menos que sejam utilizadas energias renováveis) e a reduzida eficiência da rede de transportes públicos.

A *média densidade* de urbanização, que se situa geralmente entre os 100 e 500 habitantes por hectare, é um compromisso entre os modelos anteriores, reunindo qualidades de ambos. Tem como principal vantagem a consolidação de vizinhanças próximas em torno de espaços públicos partilhados, essenciais na formação de uma comunidade ambientalmente responsável. Para densidades mais baixas as vizinhanças próximas tendem a desagregar-se e para densidades muito elevadas tendem a nem sequer existir, devido ao anonimato dos habitantes⁹².

Tabela 2 – Implicações ambientais das diferentes densidades habitacionais.

(adaptado de Sustainable Housing, Principles & Practices)

	Vantagens	Inconvenientes
Baixa densidade	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação de sistemas de águas cinzentas e pluviais Produção alimentar em quintais Proximidade a elementos verdes Biodiversidade 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado consumo e impermeabilização de solo Elevado custo de infra-estruturas Fomento do uso da viatura privada Elevados custos energéticos de utilização
Média densidade	<ul style="list-style-type: none"> Exploração de energias renováveis em rede Produção alimentar e de biocombustíveis Sistemas comunitários de águas cinzentas Deslocações viáveis em bicicleta 	<ul style="list-style-type: none"> Transportes públicos pouco eficientes Colisão de interesses e disputas entre utentes Requer planeamento urbano para permitir a exploração de energias renováveis
Alta densidade	<ul style="list-style-type: none"> Rentabilização do uso do solo Permite usos mistos Potencialidades de optimização do microclima Deslocações viáveis a pé, em bicicleta e transportes públicos 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia comportamentos anti-sociais, crime e vandalismo Eventuais problemas de microclima Concentrada impermeabilização do solo Requer adequado desenho urbano

O desenho urbano pode potenciar as vantagens referidas e, embora não exista uma relação determinística entre densidade de urbanização e sustentabilidade, existem riscos ambientais e sociais que este deverá ter em conta. Os modelos de desenvolvimento urbano de baixa e alta densidade estão geralmente associados a edifícios de habitação unifamiliar e multifamiliar, respectivamente. Porém, o desenho urbano pode combinar as densidades com diversos tipos habitacionais, originando situações com impactes ambientais muito diversificados.

Os edifícios de habitação unifamiliar isolada, usualmente designados por *moradias*, constituem um anseio de grande parte da população, por razões funcionais e simbólicas. As moradias proporcionam privacidade, acesso directo ao exterior, espaços térreos privados, iluminação e ventilação natural e autonomia na gestão⁹³. Estão também associados a capacidade económica e corporizam o modelo

⁹² Pedro – Programa habitacional: Vizinhança próxima, 1999.

Uma vizinhança próxima constitui uma unidade residencial organizada em torno de um espaço exterior onde se tendem a estabelecer relações de vizinhança significativas. Pode organizar-se em torno de diversas formas como uma banda, um quarteirão ou uma praceta e ter várias dimensões. A densidade em vizinhanças próximas pode ser considerada média entre 200 a 500 habitantes por hectare.

⁹³ Pedro – Programa habitacional: Edifício, 1999.

convencional de casa, em contraponto ao *apartamento*. As *moradias* dão hoje forma às periferias urbanas de toda a Europa, em loteamentos extensivos ou cidades satélite⁹⁴. A urbanização de baixa densidade com edifícios de habitação unifamiliar consome largas extensões de solo e outros recursos (i.e. energia, materiais, infra-estruturas de abastecimento e mobilidade).

Os edifícios de habitação multifamiliar possibilitam formas compactas de urbanização (reduzindo a quantidade de materiais empregues e a extensão de infra-estruturas) e permitem a maximização do aproveitamento de energias renováveis, a rentabilização de reciclagem de águas e de resíduos orgânicos. Tem, porém, como desvantagens as dificuldades de gestão, a possibilidade de formação de túneis de vento, o efeito de ilha de calor e a dificuldade de garantia do acesso solar. A maioria destes problemas climáticos são mais significativos em densidades muito elevadas, e podem ser mitigados por um desenho adequado ao clima que contribua para amenizar o clima local, maximizar o acesso solar e o sombreamento sazonal, garantir a ventilação natural e a protecção aos ventos.

A urbanização de densidade média com pequena habitação multifamiliar é considerada a opção mais equilibrada. Nela se conjugam algumas vantagens funcionais e simbólicas dos edifícios de habitação unifamiliar com a economia de infra-estruturas e a conservação de recursos alcançada nas urbanizações de alta densidade (Figura 20). A preferência por este modelo é também justificada pelo sucesso de alguns bairros históricos, onde existe uma densidade média-alta, aliada à multifuncionalidade e a uma forte miscigenação social⁹⁵.



Figura 20 – Bairro-piloto de “La Luz” construído em terra.

A densidade média/baixa é aqui aliada a outros princípios de sustentabilidade habitacional, relacionados com a construção. (fonte: Arquitecturas de terra)

⁹⁴ Portas (et al.) — European 7: Portugal. Intensidade e diversidade residencial – o desafio das periferias, 2004.

⁹⁵ AAVV – Sustainable urban design, 2000.

Os bairros ecológicos seguem geralmente este modelo, integrando a diversidade social e o controlo da escala relativa à extensão e à altura dos blocos habitacionais. A União Europeia recomenda, de acordo com os princípios de sustentabilidade ambiental urbana, uma densidade de 100 pessoas por hectare ou 40-50 alojamentos por hectare, uma densidade suficientemente baixa para um bom serviço de transportes públicos e que constitui a densidade mínima para a viabilidade de sistemas de aquecimento central de bairro, sendo ainda a densidade máxima para permitir bom acesso solar numa implantação apropriada ao funcionamento de bairro.

Indicadores de sustentabilidade ambiental urbana

Indicadores são valores que permitem sintetizar informação sobre processos complexos, como o desenvolvimento sustentável, o impacto ambiental, o desempenho energético, ou a sustentabilidade do ambiente construído. Os indicadores permitem caracterizar a realidade, fornecendo informação sobre eventuais problemas (ex., qualidade do ar), avaliar alternativas e definir prioridades (ex., utilização de transporte privado ou público), e ainda basear decisões (ex., justificação à comunidade da imposição de restrições à utilização do transporte privado).

A monitorização da realidade e dos efeitos das políticas adoptadas ao longo do tempo, com base em indicadores, pode também contribuir para a auto-regulação (ex., reduzir ou aumentar as restrições ao uso do transporte privado). Deste modo, e de acordo com a Agenda 21, os indicadores de sustentabilidade constituem uma base de decisão e de regulação ambiental, social e económica.

Para se trabalhar com indicadores de sustentabilidade ambiental é necessário implementar processos de medição rigorosos e viáveis. Em geral, os indicadores estão vocacionados para fornecer informação sobre uma determinada escala. Os mais abrangentes são os indicadores de desenvolvimento sustentável, utilizados na comparação de países, mas existem também indicadores de sustentabilidade local, para uma avaliação à escala das comunidades urbanas. Finalmente, pode recorrer-se ainda a indicadores de sustentabilidade do edificado para avaliar o desempenho ambiental de edifícios, tais como os indicadores sobre *materiais e a energia incorporada*.

O Relatório do Desenvolvimento Humano, no âmbito do Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento refere, como um dos objectivos de desenvolvimento do milénio, o de assegurar a sustentabilidade ambiental⁹⁶, tomando a responsabilidade de contabilizar os factores de ordem ambiental e energética por via de indicadores globais, dos quais se destacam: o consumo de electricidade *per capita*, o PIB por unidade de energia utilizada, as emissões de dióxido de carbono per capita, as emissões de CO₂ em relação ao total mundial.

A carta para as cidades sustentáveis do ano 2000 – "The Hannover Call" – apresentou um perfil de sustentabilidade local composto por indicadores seleccionados sobre questões ambientais, sociais e económicas. Este perfil deu resposta às solicitações de autoridades locais que requeriam indicadores normalizados para uma comparação mais justa entre cidades europeias, enfatizando que a comparação entre cidades deveria ser feita com base nos progressos registados, num determinado período de tempo, e não na situação apenas em valores relativos a um determinado momento⁹⁷. Com este pressuposto o grupo de peritos propôs um conjunto de indicadores que foi discutido com autoridades locais de onze Estados Membros, com base nos seguintes princípios de sustentabilidade: igualdade e inclusão social, governo local/atribuição de poderes/democracia, relação local/global, economia local, protecção do ambiente, e património cultural/qualidade do ambiente construído.

⁹⁶ ONU – Relatório do desenvolvimento humano 2003, 2003.

⁹⁷ UE – Para um perfil da sustentabilidade local - Indicadores comuns europeus, 2000.

No âmbito desta iniciativa foi estabelecido um acordo de adopção dos indicadores, assinado por autoridades locais. O acordo estabelece vários compromissos, nomeadamente: utilizar os indicadores comuns europeus na monitorização dos progressos para a sustentabilidade (Tabela 3), apresentar relatórios a nível europeu (cujos resultados serão utilizados para realçar os êxitos alcançados e desenvolver políticas e instrumentos comunitários) e, participar activamente no processo de revisão e actualização dos indicadores (com base na experiência prática da sua utilização).

Tabela 3 – Indicadores comuns europeus (principais e secundários).
(fonte: CE, Direcção Geral do Ambiente, Para um perfil da sustentabilidade local, 2000)

Indicadores principais	Indicadores secundários
Satisfação do cidadão com a comunidade local	Deslocação das crianças entre a casa e a escola
Contribuição local para as alterações climáticas	Gestão sustentável da autoridade e empresas locais
Mobilidade local e transporte de passageiros	Poluição sonora e população exposta a ruído prejudicial
Existência de zonas verdes públicas e de serviços	Utilização sustentável dos solos
Qualidade do ar na localidade	Produtos ecológicos que promovem a sustentabilidade

3.3 Princípios para a habitação sustentável

3.3.1 Uma abordagem global da intervenção

A habitação para o futuro deve procurar respostas para as necessidades dos moradores, mas também para os problemas ambientais do Planeta. Com base na Agenda Local 21 e em outra documentação técnica e científica, bem como na análise de edifícios e bairros residenciais inovadores, foram identificados oito princípios orientadores de uma arquitectura habitacional ambientalmente sustentável.

Esses princípios são:

- ocupação racional do solo;
- eficiência e autonomia energética;
- ocupação racional do solo;
- eficiência e autonomia energética;
- gestão do ciclo hidrológico;
- gestão de materiais e resíduos;
- conforto no uso de edifícios;
- adequação aos modos de habitar;
- apropriação e participação dos habitantes;
- optimização e flexibilidade.

Entende-se que apenas uma abordagem integrada dos oitos princípios de sustentabilidade na habitação pode responder aos objectivos de reduzir o impacte ambiental, elevar a eficiência e

autonomia, assegurar a qualidade ambiental, garantir a utilidade social e promover a qualidade arquitectónica global.

3.3.2 Ocupação racional do solo

A optimização do recurso solo traduz-se numa redução do seu consumo e ocupação (resposta *quantitativa*) e numa melhoria do seu uso (resposta *qualitativa*). Tomar decisões ao nível do uso do solo requer a percepção e diagnóstico do contexto local, identificando as características da paisagem, do terreno, da vegetação e da própria forma edificada pré-existente.

A adequada ocupação do solo depende de uma grande variedade de decisões que, ao nível da habitação, se encontram sobretudo dentro de cinco áreas: a protecção do território, a densificação e reabilitação, a implantação compacta, o acesso solar e a gestão microclimática.

Protecção do território

O território é um recurso limitado e ocupá-lo racionalmente é não só conservá-lo mas protegê-lo do seu desgaste, da sua erosão e da sua irremediável perda. O primeiro objectivo da ocupação racional do solo deve ser proteger a matriz biofísica do nosso habitat: o território.

O território é um recurso que, salvo raras excepções de conquista ao mar, não conseguimos expandir. A erosão do solo, nomeadamente em zonas costeiras fortemente urbanizadas, como as que caracterizam grande parte de Portugal, conduz à perda irreversível de território. A recente construção de habitação em Portugal está, infelizmente, intimamente ligada a processos de erosão, tanto em zonas costeiras como em zonas ribeirinhas, e por vezes mesmo em leitos de cheia. Ocupar o solo de forma sustentável implica respeitar as vulnerabilidades de um determinado território em vez de as agravar, por exemplo, evitando a implantação de novas áreas residenciais em zonas de risco tais como os leitos de cheia ou as linhas de costa.

Densificação e Reabilitação

A construção tem uma longa vida útil e condiciona o uso do solo por vários séculos. O solo já construído, ou já sujeito a infra-estruturação, é por isso preferencial para a (re)construção de nova habitação.

Na gestão do solo a ocupar com habitação distinguem-se três opções, correspondentes a desempenhos ambientais de nível decrescente e pegadas ecológicas de nível crescente:

- a consolidação de malhas urbanas;
- o redesenho e reutilização de áreas urbanas ou industriais (*brownfields*);
- a implantação em áreas verdes e terrenos ainda não utilizados para a construção (*greenfields*).

A consolidação de malhas urbanas permite reabilitar e renovar a cidade, restaurando, transformando ou substituindo os seus quarteirões, densificando as áreas urbanas e usufruindo das infra-estruturas e do solo já utilizado (Figura 21). Tais estratégias de regeneração urbana, nas cidades de média

dimensão e nas Áreas Metropolitanas, deverão respeitar o carácter e a identidade própria dos espaços e lugares trazendo de volta os usos residenciais aos centros das cidades, a partir da renovação e recuperação de edifícios e espaços vazios, degradados e subutilizados⁹⁸.



Figura 21 – Renovação da habitação para a densificação de centros urbanos antigos.

Bairro do Born (Barcelona).

(fonte: Luís Morgado)

O retorno ao centro permite tirar o máximo partido do espaço ocupado, dos elevados níveis de infraestruturação e da dotação de transportes públicos, bem como apoiar o pequeno comércio e serviços que, com a queda abrupta da procura e as crescentes alternativas de grande escala, se encontram em risco de sobrevivência.

A reutilização de áreas urbanas ou industriais obsoletas é outra opção, a privilegiar quando a construção de habitação tiver requisitos que não se coadunem com o centro consolidado, ou quando não haja terreno disponível ou acessível nesse centro. Nesta opção a localização dos empreendimentos habitacionais deve ser contígua a áreas urbanas consolidadas, que tenham ligações directas ao sistema local de transportes públicos, ou que venham a ter densidade suficiente para as justificar. Tendo em conta estas orientações, a reutilização de *brownfields* poderá ser uma via de ocupação ecológica do solo. Nas intervenções em áreas anteriormente afectas à indústria podem colocar-se problemas de contaminação, pelo que se devem ter em conta os riscos para a saúde pública e os custos de descontaminação.

A ocupação de áreas verdes ou terrenos ainda não utilizados para a construção, geralmente designados por *greenfields*, é a opção menos sustentável para construção de habitação e que, com a retracção das cidades e a imposição da condição de sustentabilidade, tenderá a constituir uma opção residual. Esta opção é aquela cuja pegada ecológica é maior, pois aos consumos de recursos da

⁹⁸ Cabrita (et al.) – A futura habitação apoiada, 2000.

construção da habitação somam-se a provisão de novas infra-estruturas e o consumo de solo produtivo ou de valor ecológico significativo.

Implantação compacta

À escala do bairro e do edificado, no que respeita à forma de ocupação do solo, quanto mais compacta for a forma dos quarteirões e edifícios, com poucas saliências e reentrâncias e uma reduzida superfície exterior, maior será a rentabilização do espaço/solo e das infra-estruturas, mais reduzidas serão as perdas de calor, e melhor será o seu balanço térmico global⁹⁹. Esta ideia é provavelmente tão antiga quanto a arquitectura (Figura 22) e constitui um importante argumento a favor da compactidade na habitação. Contudo, se levada ao extremo esta ideia pode originar bairros de densidade excessiva, com diversos problemas sociais e ambientais.

A utilização passiva de energia solar em edifícios não se deve limitar ao isolamento térmico da respectiva envolvente exterior ou à concepção da fenestração, mas deve também ser considerada nas formas de implantação dos edifícios que, sem detrimento da compactidade, devem garantir o acesso solar e uma adequada relação entre edifícios e articulação com espaços exteriores.

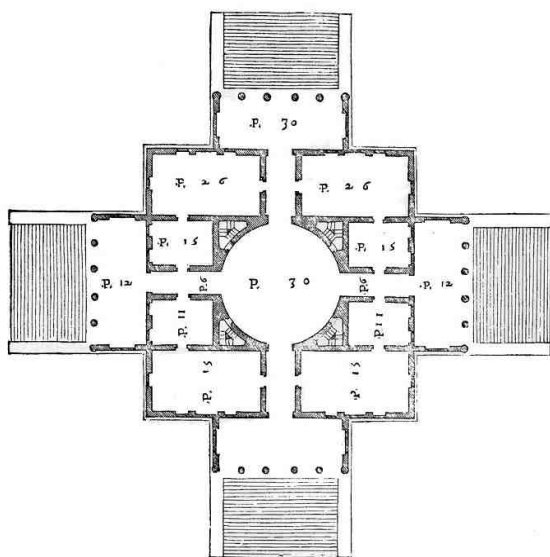


Figura 22 – Villa Rotunda de Andrea Palladio.

A planta é quadrada minimizando a superfície exterior em relação ao volume interior, e controlando as perdas térmicas. Os ventos dominantes provocam a ventilação cruzada através das aberturas na forma compacta.

(fonte: The climatic dwelling)

Acesso solar

Nas latitudes europeias um edifício implantado ao longo de um eixo Este-Oeste expõe uma das fachadas alongadas exposta a Sul a um ganho solar máximo nos meses do Inverno, e as fachadas mais pequenas expostas a Este e Oeste a um ganho solar máximo durante o Verão (Figura 23). Esta orientação de edifícios é considerada a mais eficaz com vista a minimizar as necessidades de aquecimento no Inverno e de arrefecimento no Verão. Em geral, sempre que o loteamento o permita,

⁹⁹ Cofaigh (et al.) – The climatic dwelling, 1996.

para se conseguir uma maior superfície exposta à radiação solar directa no Inverno, a face de um edifício residencial exposta a Sul deve ser mais longa que as expostas a nascente e Poente. Se o uso do edifício não for residencial, a premissa é também válida embora se deva ter em conta a sazonalidade do uso de edifício que, como será em adiante explicado, influi nas suas necessidades térmicas.

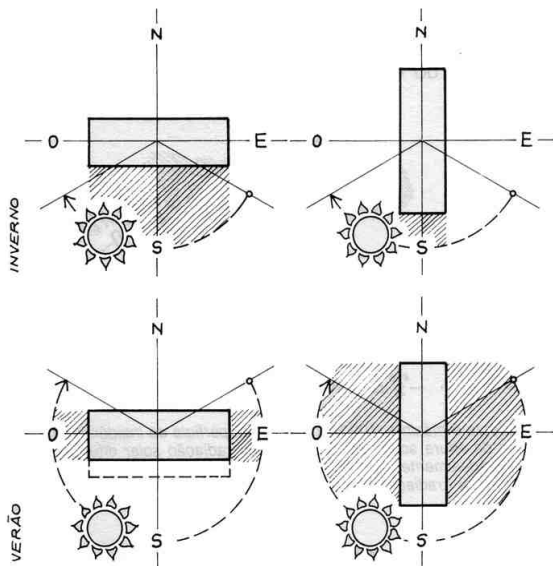


Figura 23 – Implantações com diversas orientações e radiação solar resultante no Verão e Inverno.

Do lado esquerdo a implantação preferencial de um edifício que terá mais ganhos solares no Inverno, e menos no Verão, do lado direito a situação inversa com potenciais efeitos negativos de sobreaquecimento no Verão.

(fonte: Energia solar passiva 1)

Em latitudes médias, correspondentes a zonas temperadas, a radiação total máxima (directa e difusa) no período frio provém de Su-sudeste (SSE), enquanto nos períodos quentes é emitida de Oés-sudoeste (OOE)¹⁰⁰. A orientação mais favorável é, assim, a Sul com um pequeno desvio para Nascente (cerca de 17,5°, variando com a latitude), otimizando o equilíbrio térmico sazonal do edifício que receberá o máximo de radiação no Inverno e o mínimo no Verão¹⁰¹ (Figura 24). Para o equilíbrio térmico diário, é também vantajoso este pequeno desvio, dado que a Poente a radiação origina temperaturas muito elevadas à tarde.

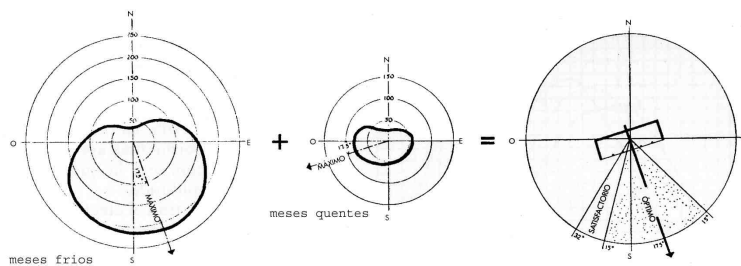


Figura 24 – Direcção da radiação máxima e orientação preferencial de edifícios.

(fonte: Arquitectura y clima)

Apesar da sua importância para maximizar o acesso solar, a orientação dos edifícios deve ser compatibilizada com outros objectivos, como, por exemplo, preservar e valorizar pré-existências,

¹⁰⁰ Olgay – Arquitectura y clima, 1998.

Na latitude de Nova Iorque, a radiação máxima no período frio tem um desvio de 17,5° de Sul para Este e, no período quente, um desvio de 17,5° de Oeste para Sul.

¹⁰¹ Idem.

potenciar as vistas sobre zonas privilegiadas, ou dar continuidade à malha urbana. Assim, o acesso solar deverá garantir uma exposição solar adequada do edificado sem prejudicar a envolvente e sem negligenciar os enquadramentos visuais e paisagísticos locais.

Sobre a compatibilização de uma ocupação racional do solo com o acesso solar, deve ainda referir-se que as superfícies com diferentes orientações podem desempenhar um papel diverso em diferentes climas. Ao contrário das regras de cálculo simplificadas utilizadas por alguns projectistas, não são apenas os envidraçados a Sul que têm capacidade de aproveitar a exposição solar, nem são apenas estas as superfícies que devem ser concebidas para beneficiar do acesso solar, devendo também ser considerados os pavimentos adjacentes, as coberturas e as zonas expostas a radiação reflectida¹⁰². É também importante avaliar o tipo de radiação que incide sobre cada superfície tendo em conta que a radiação directa ou difusa tem efeitos diferentes sobre os edifícios e superfícies, de acordo com os seguintes pressupostos¹⁰³ (Figura 25):

- a intensidade da radiação solar directa é máxima (100%) quando a superfície de incidência é perpendicular aos raios solares, dependendo assim da relação entre a altura solar a uma determinada hora e do declive da superfície em que incide;
- na radiação solar difusa, a intensidade é máxima (100%) quando é zenital, ou seja perpendicular à superfície terrestre, diminuindo gradualmente para a linha do horizonte (33%).

No Sul da Europa, e em particular em Portugal, a implantação de uma área residencial deve não só garantir um bom balanço térmico mas também maximizar a sombra e utilizar a acção do vento para diminuir a temperatura no Verão.

Verifica-se também que dois edifícios com a mesma forma mas com diferentes organizações tipológicas podem requerer orientações diferentes de modo a maximizar o aproveitamento dos ganhos solares em cada compartimento, de acordo com o seu tipo e horário de uso¹⁰⁴.

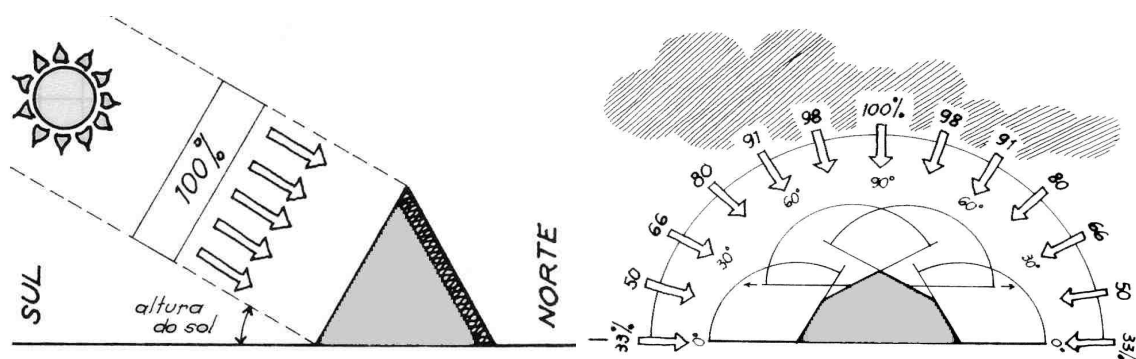


Figura 25 – Radiação solar directa em superfície perpendicular e radiação solar difusa.

(fonte: Energia solar passiva 1)

¹⁰² CE, Bioclimatic architecture, 2000.

Entre as superfícies a considerar no acesso solar encontram-se a cobertura, o pavimento exterior a Sul, e a parede a Norte.

¹⁰³ Moita – Energia solar passiva 1, 1987.

¹⁰⁴ Olgyay – Arquitectura y clima, 1998.

Gestão microclimática

A ocupação do solo afecta o território, a cidade existente e emergente, mas também o clima.

A relação entre o solo e o clima, a nível da ocupação pela urbanização e habitação, tem duas vertentes que se inter-relacionam: por um lado, o clima é muito diversificado ao longo do território e dos espaços urbanos, o que deve ser tido em conta nas decisões de ocupação do solo; por outro lado, o clima é mutável e as opções de ocupação do solo produzem alterações significativas, nomeadamente no que respeita ao ciclo hidrológico, que deverão ser previstas e cujos impactos negativos deverão ser minimizados.

Os factores climáticos gerais, como a radiação solar, as temperaturas do ar e do solo, a precipitação, os ventos e a humidade, devem sustentar o conhecimento do clima local. Este tipo de dados pode ser obtido em serviços meteorológicos nacionais ou publicações europeias, como o Atlas europeu dos ventos ou da radiação solar¹⁰⁵. Contudo, qualquer diferença de altitude, de topografia, de características do subsolo, de exposição à radiação solar ou de presença de água pode produzir variações do clima local, pelo que é necessária uma observação atenta a todos estes aspectos.

Em seguida são desenvolvidos os temas topografia, vegetação e água. São temas determinantes para a gestão climática em bairros e edifícios, que se relacionam com as formas de ocupação e uso do solo.

Topografia

Um dos factores que exerce uma influência decisiva nas condições climáticas é a topografia do terreno onde se implantará o edificado. Para se maximizar o desempenho térmico de um edifício é essencial o reconhecimento e estudo desta pré-existência. Num terreno acidentado, as pendentes orientadas a Sul têm maior quantidade de insolação ao longo do dia, sendo mais favoráveis para a construção, por razões de acesso solar. Contudo, a implantação do edifício deve também privilegiar outras condições climáticas escolhendo zonas pouco húmidas, de menor sombra e protegidas dos ventos dominantes¹⁰⁶.

Superfícies com inclinações superiores a 20° não se consideram apropriadas para a edificação, mas as superfícies com alguma pendente são benéficas para minorar os impactes solares excessivos, entre outras vantagens como as da drenagem hídrica. A inclinação ideal de um terreno para implantação, em termos de controlo do microclima, situa-se entre 10° e 20° (entre 17% e 36%)¹⁰⁷.

Nas latitudes do Sul da Europa, os terrenos expostos a Poente devem ser protegidos e ocupados com especial critério, pois é difícil conseguir sombrear a radiação e evitar o sobreaquecimento.

¹⁰⁵ Várias publicações conduzem esta análise local como energy in architecture – The European passive solar handbook ou Daylight in architecture – A European reference book.

¹⁰⁶ Moita – Energia solar passiva 1, 1987.

¹⁰⁷ Note-se que para a construção as pendentes consideradas adequadas situam-se entre os 3% e 15%.

As vias e espaços públicos devem estar orientados para tirar partido das brisas dominantes no Verão e a implantação dos edifícios deve prever possibilidades de sombra mútua no Verão, e simultaneamente evitar sombra excessiva entre edifícios, no Inverno. Estas medidas amenizam o clima local, devendo ser tomadas no desenho urbano e reforçadas pelas opções arquitectónicas.

Vegetação

A presença de vegetação é benéfica tanto ao nível microclimático como macroclimático, e tanto para o solo como para os próprios edifícios. A vegetação tem a capacidade de se manter fresca durante o dia, produzir oxigénio e absorver dióxido de carbono. Além disso, parte do oxigénio libertado é convertida em ozono na estratosfera, protegendo a Terra da radiação ultra-violeta. As características e espécies de vegetação, o tipo e densidade da sua folhagem, o seu posicionamento entre si e no terreno, e ainda o débito de evaporação, são factores que influenciam decisivamente o clima local¹⁰⁸ e que podem ser especialmente úteis para o arrefecimento de espaços exteriores e interiores.

A vegetação de folhagem persistente e densa é apropriada para a construção de barreiras, e a vegetação de folha caduca para a regulação anual da quantidade de radiação solar incidente nos edifícios e no solo. A conjugação de diversas espécies de vegetação, com diferentes ritmos de crescimento e de substituição de folhagem, permite criar um nível de protecção adequado a diferentes situações.

Água

A água pode ser retida não só para reaproveitamento mas também para amenização do clima local (Figura 26). Quando a água entra em contacto com ar quente não saturado, dão-se transferências de calor e de massa; a diferença de temperatura entre o ar e a água origina uma transferência de calor e a diferença de pressão entre a superfície da água e do ar origina a evaporação que absorve o calor do ar, arrefecendo-o.



Figura 26 – Controlo microclimático exterior por superfície de evaporação e vegetação.

Willen Associates, Kronsberg (Hanôver).

(fonte: www.sibart.org)

¹⁰⁸ Moita – Energia solar passiva 1,1987.

A água é, devido às suas elevadas condutibilidade e inércia térmica, um sumidouro de calor, tendo a capacidade de arrefecer os materiais com que entra em contacto, como de reter calor durante o dia e libertá-lo durante a noite. A eficiência térmica destes processos depende do movimento do ar, da quantidade de água e das temperaturas das superfícies.

Controlo microclimático em espaços interiores e de transição

A gestão microclimática, como tem sido até agora abordada, destina-se sobretudo à qualificação do exterior dos edifícios; contudo, podem também ser aplicadas estratégias de controlo microclimático destinadas a zonas de transição entre o exterior e o interior dos edifícios, tais como átrios, jardins de Inverno, estufas ou galerias¹⁰⁹. Em climas frios é comum existirem átrios envidraçados para aquecimento passivo (Figura 27), desaconselhados para climas temperados, como o clima mediterrâneo, onde os grandes envidraçados zenitais fechados podem provocar sobreaquecimento.

O controlo microclimático interior pode também recorrer à presença de sombra, vegetação e água como demonstram vários exemplos de arquitectura vernácula mediterrânica com espaços de transição, tais como pátios com fontes ou alpendres com vegetação. Estes espaços de transição visam proteger os espaços interiores e simultaneamente colocar ao dispor dos habitantes zonas com condições climáticas alternativas, apropriadas para determinadas horas do dia e para determinadas actividades.

Os efeitos microclimáticos proporcionados pelo átrio envidraçado nórdico e pelo pátio mediterrânico (dois espaços de transição climática característicos de duas zonas geográficas distintas) evidenciam que em diferentes contextos geográficos, determinadas morfologias do edificado resultam em diferentes níveis de conforto e de consumo de energia.

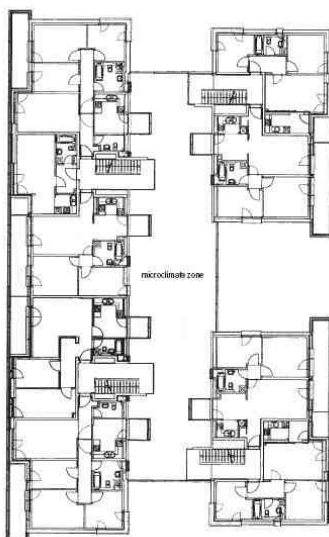


Figura 27 – Controlo microclimático com jardim de Inverno em espaço comum.

Willen Associates, Kronsberg (Hanôver).

(fonte: Autores e www.sibart.org)

¹⁰⁹ Cadima – Transitional spaces: The potencial of semi-outdoor spaces as a means for environmental control with special reference to Portugal, 2000.

3.3.3 Eficiência e autonomia energética

A racionalização energética das áreas residenciais pode ser obtida através da infra-estruturação, de soluções de morfologia urbana e da concepção dos edifícios de habitação. A estes diferentes níveis é possível conseguir optimizações significativas do uso de energia sem custos acrescidos, minimizando a emissão de gases com efeito de estufa e permitindo uma maior autonomia, qualidade e sustentabilidade da habitação.

Desempenho energético de áreas residenciais

Gerir o uso de energia no ambiente urbano não significa apenas implementar sistemas eficientes para o uso de energia não renovável, ou recorrer a fontes renováveis utilizando equipamentos concebidos para esse fim, mas também utilizar os próprios edifícios para o fazer.

Vários factores podem influenciar favoravelmente o desempenho energético de áreas residenciais:

- a orientação dos edifícios e de espaços públicos, reduzindo as sombras projectadas e beneficiando dos ganhos solares e da ventilação natural;
- a construção com elevada massa térmica, para transferências mais lentas de calor;
- a construção com níveis adequados de isolamento térmico;
- o aumento da densidade, se em zonas frias¹¹⁰;
- a optimização de superfícies concebidas para energia solar passiva ou activa;
- a utilização de diversas fontes renováveis de energia.

Ao conceito de eficiência energética em áreas residenciais urbanas está também associado o de autonomia, uma vez que quanto mais energia se conservar e se aproveitar de fontes renováveis locais, maior autonomia energética se conseguirá, reduzindo ou eliminando a dependência de fontes externas de custos variáveis, como é o caso dos combustíveis fósseis, e cujo transporte e disponibilidade podem condicionar o funcionamento do edifício e, sobretudo, o seu custo de exploração.

Desempenho energético de edifícios de habitação

A par do desenho urbano de conjuntos habitacionais e das formas de agrupamento das habitações, o desenho e a construção dos edifícios determinam também o seu desempenho energético. É o efeito global de todas as trocas de calor, ganhos por radiação e perdas por dissipação, que influenciam o conforto térmico em edifícios, determinando grande parte dos consumos de energia necessários para garantir a sua habitabilidade.

¹¹⁰ Barton, Davis, Guise – A guide for planners, designers and developers, 1995.

Em países em que as necessidades de arrefecimento dos edifícios residenciais não são muito significativas um apartamento de um edifício multi-familiar consome 20% menos energia do que uma casa integrada numa banda de 5 casas e 40% do que uma vivenda isolada.

Para a melhoria do desempenho energético de edifícios de habitação pode recorrer-se a:

- estratégias solares passivas para protecção e conservação de ganhos energéticos: orientação e caracterização do edifício de forma a utilizar e conservar recursos energéticos naturais sem recorrer a dispositivos mecânicos;
- tecnologias renováveis para a produção de energia: utilização de elementos construtivos com a capacidade específica, fotoeléctrica, química ou mecânica, de rentabilizar fontes renováveis naturais;
- sistemas de redução e gestão de consumos: utilização de sistemas integrados, automatizados ou não, de redução e controlo do consumo energético.

Estratégias solares passivas

As estratégias solares passivas, de protecção e conservação, mesmo se insuficientes para cobrir a totalidade das exigências energéticas do edifício, destacam-se como a via mais simples para a sustentabilidade energética na construção. Estas estratégias estão ligadas aos materiais e à forma das superfícies exteriores (de onde provêm as fontes de aquecimento, arrefecimento e iluminação natural) e dos espaços interiores (onde se pretendem obter e controlar determinadas condições de conforto).

Os princípios solares passivos são conhecidos desde o mundo antigo, mas ressurgiram a partir da década de 70 do século XX em edifícios vocacionados para a eficiência energética (integrando estratégias quer solares, quer de protecção ou de conservação), como reacção à crise petrolífera de então¹¹¹.

Integrar estratégias solares passivas num edifício deveria ser parte integrante de toda a arquitectura. Se por um lado, a organização do espaço deve ser adaptada às características climáticas do local, por outro, as opções formais da arquitectura devem integrar determinados materiais, cores, texturas, espaços e elementos (ex., sombreadores, estufas, envidraçados, chaminés de luz, etc.) que a tornem mais eficiente e confortável.

Ao condicionar a organização do espaço e as opções formais, a integração das estratégias solares passivas influencia a própria expressão estética do edifício. Porém, a integração destas estratégias passivas não apresenta uma gama de soluções únicas e a arquitectura solar passiva, contrariamente ao argumentado por alguns críticos, não tem de ser toda igual.

Estratégias de protecção

Nos edifícios habitacionais que integram estratégias solares passivas, a tipologia deve otimizar os resultados térmicos, protegendo os espaços mais exigentes das situações climáticas exteriores adversas, sobretudo da exposição solar excessiva e aos ventos. Esta concepção espacial interior

¹¹¹ Os edifícios solares que emergiram a partir da década de 70 foram criticados por, em nome da eficiência energética, negligenciarem outras considerações arquitectónicas igualmente fundamentais.

recorre geralmente às chamadas zonas de transição¹¹², que contribuem significativamente para a melhoria do conforto das habitações (Figura 28).

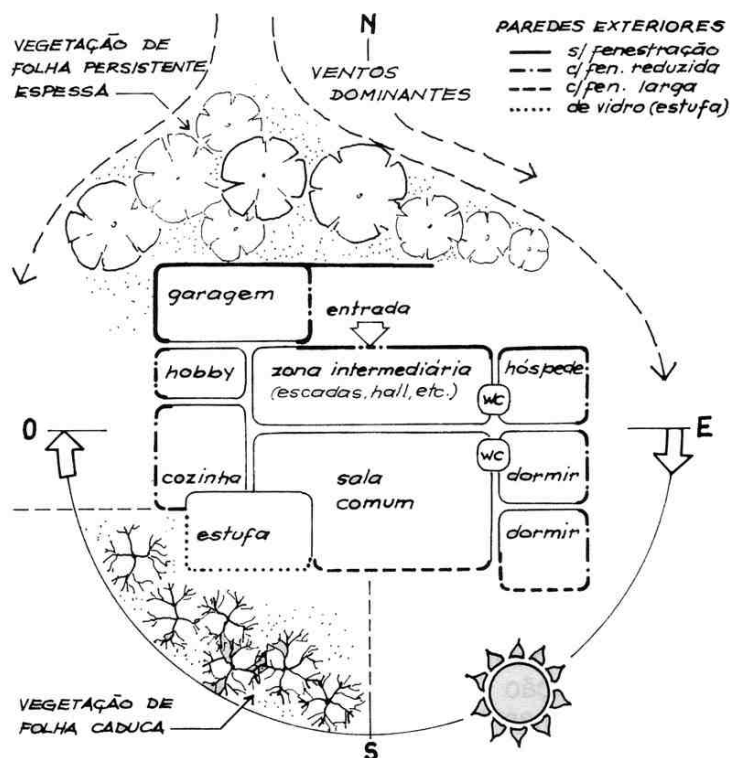


Figura 28 – Hierarquia de fenestração e da criação de zonas de transição.

(fonte: Energia solar passiva 1)

Para além da importância na hierarquização e protecção térmica em tipologias habitacionais solares passivas, os espaços de transição interior/exterior apresentam a vantagem de serem espaços entre condições climáticas estáveis (interior) e instáveis (exterior) onde a gama de níveis de conforto aceites é muito alargada, pois as expectativas dos utentes, a sua tolerância e a sua disponibilidade para a adaptação climática são maiores que em espaços interiores¹¹³.

A geometria, o paisagismo, os espaços cobertos e o tratamento da envolvente exterior dos edifícios, são as principais opções da concepção de arquitectura a considerar para uma protecção eficiente do edifício. No que respeita ao tratamento da envolvente exterior, a sua textura rugosa, espessura, saliências e reentrâncias, podem completar a função de sombra, protegendo as paredes exteriores, coberturas, ou mesmo pavimentos do sobreaquecimento. Nestas superfícies a vegetação e a água podem desempenhar o mesmo papel.

¹¹² Moita – Energia solar passiva 1, 1985.

As zonas de transição são também designadas como zonas intermediárias ou zonas tampão.

¹¹³ Cadima – Transitional spaces: The potential of semi-outdoor spaces as a means for environmental control with special reference to Portugal, 2000.

Estratégias de conservação

A contribuição solar pode atingir facilmente mais de metade da energia convencional requerida em habitações. Contudo, para além dos ganhos solares directos, a conservação de energia também pode minimizar significativamente o consumo doméstico de energia, através da provisão de isolamento e inércia térmica. Nas estratégias de conservação de energia devem ter-se em conta os seguintes pressupostos:

- a construção com elevada massa térmica confere estabilidade térmica contribuindo para transferências de calor mais lentas em climas quentes, e actuando como um acumulador de calor no Inverno em climas frios¹¹⁴.
- o isolamento térmico deve ser conciliado com a inércia térmica, como forma complementar de garantir condições confortáveis no interior dos edifícios.

Tecnologias renováveis

Embora as estratégias solares passivas contribuam para a melhoria do conforto térmico, na maior parte dos edifícios é necessário prever aquecimento e arrefecimento adicionais aos obtidos passivamente, e é natural que a iluminação diurna não consiga satisfazer todas as necessidades lumínicas de uma habitação. Nestes casos, os sistemas adicionais devem ser de baixo consumo e máxima eficiência, e consumir energia renovável (Figura 29).



Figura 29 – Central de produção de energia renovável fotovoltaica.
Fórum 2004 (Barcelona).

3.3.4 Gestão do ciclo hidrológico

A gestão do ciclo da água e a protecção dos recursos hídricos em zonas residenciais dependem em grande parte da infra-estruturação urbana. No entanto, não deve ser negligenciada a importância dos edifícios para a prossecução destes objectivos.

Uma correcta definição das características do edificado habitacional e das áreas residenciais permite melhorar o equilíbrio hidrológico local e reduzir significativamente as perdas e os consumos de água

¹¹⁴ CE – Bioclimatic architecture, 2000.

domésticos, bem como potenciar o aproveitamento de águas residuais e pluviais. Note-se que, em média, na totalidade das actividades quotidianas são consumidos 168 kg de água por habitante por dia¹¹⁵ (Figura 30).



Figura 30 – Água necessária na habitação de uma família ocidental média.

Fórum 2004 (Barcelona).

Equilíbrio hidrológico

Nos edifícios habitacionais a boa gestão da água, em geral, implica as seguintes medidas:

- protecção das reservas superficiais e subterrâneas (cursos de água e aquíferos) locais;
- recolha e aproveitamento das águas pluviais;
- minimização do volume, reutilização e tratamento biológico das águas residuais;
- controlo e limitação da contaminação;
- integração de verde no edificado para retenção natural;
- permeabilização de superfícies para infiltração natural, repondo o lençol freático;
- salvaguarda dos leitos de cheia, reduzindo os riscos de inundação;
- redução do consumo doméstico de água e do desperdício de água potável.

O aproveitamento das águas pluviais constitui a estratégia de maior impacte arquitectónico, estando integrada em muitas das arquitecturas tradicionais no mundo, em particular nas regiões secas. As águas pluviais podem ser infiltradas directamente no solo em faixas e bacias de retenção, ou podem ser recolhidas para reutilização (Figura 31). A instalação de um depósito de recolha ou de um *inpluvium* (espaço onde a água penetra para o interior da habitação) pode contribuir para a eficiência energética através do arrefecimento passivo e da amenização do microclima interior.

No que diz respeito à eficiência do tratamento de águas residuais de sabão (águas cinzentas) e esgotos (águas negras), estas devem ser separadas ao nível das infra-estruturas de drenagem. As águas cinzentas podem ser tratadas em leitos de junco (Bio-lagunagem) onde os resíduos orgânicos são degradados pela acção de plantas aquáticas (Figura 32). As águas negras podem ser tratadas em centrais de compostagem de biometano que podem fornecer gás para uso doméstico.

¹¹⁵ Cuchí – Curso "impacto ambiental da arquitectura", 2007.

As águas negras podem mesmo ser eliminadas das áreas residenciais, se se utilizarem sistemas secos que recolhem os esgotos sanitários por sucção em vácuo e permitem o saneamento sem consumir água. Estes sistemas, no que respeita à conservação de água, são os mais eficientes, apresentando ainda a vantagem de poderem contribuir para a compostagem de resíduos orgânicos; contudo são ainda pouco utilizados¹¹⁶.

Muito embora os níveis de água consumida na habitação sejam determinados por sistemas que não são concebidos pelo arquitecto, há diversas opções que este poderá fazer no sentido de poupar o consumo de água, reduzindo também o volume da água a tratar. Contudo, a água é um tema ainda pouco discutido pelos arquitectos. Coloca-se quando se pretende assegurar o abastecimento a edifícios afastados dos lugares habitados e, de um modo geral, é tratado por especialistas que pouco contacto têm com a construção de edifícios. Só recentemente os arquitectos e os paisagistas começaram a dedicar-se à exploração desta temática e à produção de bibliografia prática sobre tema no contexto da arquitectura e do urbanismo.



Figura 31 – Piscina biológica para tratamento de águas pluviais.

Edifício unifamiliar de habitação no Sul de Portugal.

(fonte: www.biopiscinas.pt)



Figura 32 – Bio-lagunagem para tratamento de águas pluviais.

Kronsberg (Hanôver).

(fonte: www.sibart.org)

Bio-lagunagem

Embora pouco conhecido, o tratamento de águas residuais com sistemas vegetais constitui um sistema para o futuro, cuja aplicação é favorecida pela sua elevada qualidade estética. Em Portugal, a

¹¹⁶ A utilização dos sistemas de vácuo é ainda pouco económica. A compostagem destes resíduos orgânicos não está ainda testada a nível das implicações para a saúde e permanece ainda o perigo de os medicamentos que tomamos contaminarem o produto fertilizante resultante da compostagem.

própria legislação não favorece este tipo de tratamento das águas, e nos espaços públicos não totalmente vedados é proibido o tratamento de águas cinzentas por bio-lagunagem (pois os utentes, sobretudo as crianças, podem entrar inadvertidamente em contacto com as águas por tratar)¹¹⁷.

A capacidade auto-depuradora da natureza não é uma descoberta recente, mas hoje existem sistemas já testados, de baixo custo, que exigem reduzida superfície e manutenção, que não produzem odores desagradáveis e que podem também ter efeitos muito benéficos na descontaminação de cursos de água. Tais sistemas podem ser implantados em diversas situações, desde cidades médias até instalações pontuais, como aeroportos, parques de campismo, locais de lazer, aglomerados habitacionais, etc.

Para além de uma solução técnica, o tratamento das águas residuais pode também constituir uma mais-valia para a afirmação de uma identidade local. Em alguns projectos de reconversão de zonas urbanas degradadas em pólos de atracção turística, as depuradoras naturais assumem um papel central na renovação do lugar, contribuindo para a requalificação do espaço público¹¹⁸.

Neste processo de tratamento de águas residuais as fontes de contaminação da água a tratar são muitas (metais pesados, bactérias, vírus, agentes químicos) e as próprias águas pluviais podem ser uma fonte de contaminação significativa, pois a atmosfera contém muitos poluentes que se integram na chuva durante a sua queda. A água utilizada na habitação contém principalmente matéria orgânica que as bactérias conseguem transformar na presença de oxigénio, libertando nitrogénio, fósforo e potássio (NPK), substâncias que devem ainda ser eliminadas para que a água complete o seu tratamento. Para se alcançar uma maior qualidade da água, esta pode ainda receber tratamento por raios ultravioletas, recorrendo à energia solar.

Os processos de tratamento biológico de águas residuais, tal como os processos convencionais, produzem lodos e lamas; contudo na bio-lagunagem estes resíduos são produzidos em quantidades menores do que nos sistemas convencionais.

Lagoas de macrófitas

Nas lagoas de macrófitas, plantadas com espécies flutuantes ou enraizadas, a vegetação tem o papel de diminuir a corrente, favorecer a sedimentação das matérias em suspensão e manter o leito oxigenado. Os caules desta vegetação servem de suporte para o cultivo das bactérias. Esta lagunagem em zonas residenciais necessita de uma área de 10 m² por habitante¹¹⁹, mas geralmente a sua integração na paisagem não representa qualquer problema. A sua manutenção é simples e os lodos só têm de ser removidos de 10 em 10 anos.

¹¹⁷ Veja-se o recente exemplo em Cascais de uma pequena fito-etar, projectada pelo Arquitecto Jorge Cancela para o Centro de Interpretação Ambiental de forma isolada do contacto com o público.

¹¹⁸ Todd (et al.) – Comprehensive water and nutrient planning for sustainable design, 2007.

¹¹⁹ Izembart, Boudec – Waterscapes: El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales, 2003.

Leitos de macrófitas

Nos leitos de macrófitas, para além da vegetação que proporciona sombra, infiltração e oxigenação à água, o substrato granular tem um papel essencial na fixação de bactérias para o tratamento das águas. Nestes sistemas a superfície necessária é menor, variando entre 2 e 5 m² por habitante e as águas residuais nunca aparecem à superfície, sendo este o sistema mais indicado para leitos perto das habitações. Neste tipo de sistemas não há produção de lodos, o que elimina o problema da sua recolha e deposição. Os leitos de macrófitas podem funcionar por circulação horizontal (Figura 33) ou vertical (Figura 34), sendo a segunda hipótese a que, em geral, produz melhores resultados.

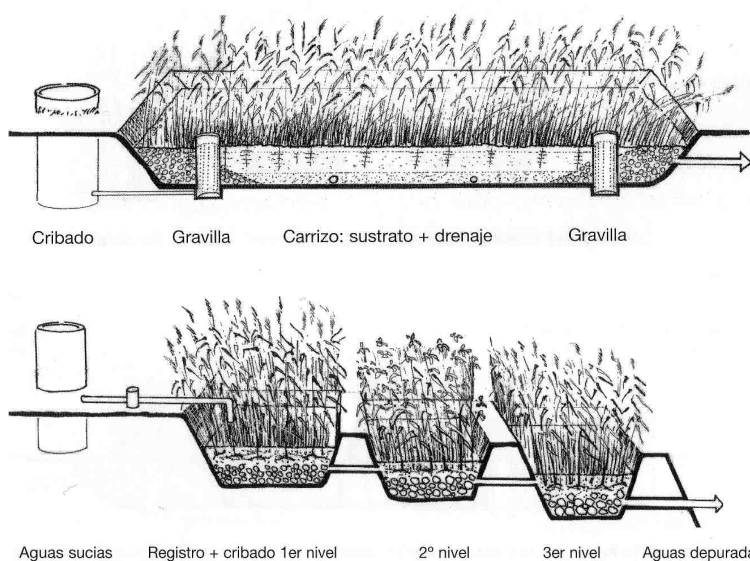


Figura 33 – Leitos de macrófitas de circulação horizontal para tratamento de águas residuais domésticas.

(fonte: Water Scapes)

Figura 34 – Leito de macrófitas de circulação vertical para tratamento de águas residuais domésticas.

(fonte: Water Scapes)

3.3.5 Gestão de materiais e resíduos

Grande parte dos depósitos de resíduos que se acumulam na Terra provém de desperdícios da construção e da demolição de edifícios. Deste modo, o investimento na gestão de resíduos ainda em estaleiro, o aumento do uso de materiais reciclados e a conservação e a reutilização de edifícios antigos podem contribuir para uma significativa redução destes depósitos e o risco ambiental que representam.

Resíduos domésticos e de manutenção

No período entre o fim da construção e o início da demolição, o edificado habitacional gera resíduos de dois tipos: os que resultam da manutenção do edificado, com taxas de reaproveitamento muito baixas; e os que resultam dos usos domésticos quotidianos, muito volumosos e com taxas de reciclagem em crescimento.

Ao realizar operações de manutenção são produzidos resíduos resultantes da substituição de materiais de construção. A produção destes resíduos é compensada pelo aumento da vida útil do

edifício. Os resíduos de manutenção tendem a diminuir se o edifício for robusto e durável, sendo desejável que na concepção do edifício sejam previstos sistemas e componentes fáceis de manter e, em caso de substituição, recicláveis.

A gestão dos resíduos domésticos (Figura 35) e o prolongamento do ciclo de vida dos bens de consumo pode contribuir para a redução dos aterros e para o aumento da taxa de conversão dos resíduos em recursos.

As soluções arquitectónicas podem fomentar comportamentos correctos de gestão de resíduos domésticos em edifícios habitacionais. Por exemplo, a reciclagem de lixo doméstico pode ser incentivada assegurando possibilidades de compostagem em áreas verdes, disponibilizando condutas de recolha selectiva e prevendo locais para triagem, armazenamento e recolha de lixo. Os resíduos domésticos vegetais podem ser transformados, conjuntamente com os resíduos resultantes da agricultura urbana ou da manutenção da vegetação, em fertilizante e energia, em centrais de biomassa ou de produção de biogás.



Figura 35 – Resíduos produzidos pelo uso da habitação por uma família ocidental média. Fórum 2004 (Barcelona).

Resíduos da construção e demolição

Muitos dos custos ambientais da edificação (considerados *externalidades*) não se reflectem nos custos da construção. O cálculo do custo real de um edifício, incluindo o vector ambiental, só será possível quando nele se internalizarem, por exemplo, taxas sobre os resíduos e emissões produzidas pela sua construção, exploração e demolição. A generalização desta integração de custos na construção de habitação permitirá que, à semelhança do que se tem feito com o mercado de emissões de carbono, a produção de resíduos seja limitada e cobrada quando em excesso. Em Inglaterra, por exemplo, devido aos custos de deposição de resíduos estarem a crescer visivelmente, a gestão dos resíduos em estaleiro é uma prioridade e a construção de edifícios com um plano de gestão de resíduos torna-se mais económica¹²⁰. Também em Inglaterra, existe o conceito de *Zero Waste House* (a par do mais

¹²⁰ BRE – Greenwich Millenium Village development exceeds waste reductions, 2004.

O empreendimento habitacional de Greenwich Millennium Village é exemplo desta tendência tendo produzido um guia de gestão de resíduos em estaleiro, disponível em www.breweb.org.uk/projects.jsp. O objectivo estabelecido foi de redução do volume de resíduos em 25 m³ por apartamento construído.

vulgarizado conceito de *Zero Energy House*), que corresponde à produção de habitação com materiais reciclados, especificados em guias tendo em conta os custos ambientais da sua aplicação na construção e manutenção de habitação¹²¹ (Figura 36).

A construção deve ser planeada possibilitando reparações e alterações e de modo a que, em desmontagem, os materiais possam ser separados e utilizados para outros fins. Até há pouco tempo, muitos materiais provenientes de edifícios demolidos eram simplesmente reutilizados no local; no entanto, os materiais industriais como o betão armado, os agregados compostos e os produtos adesivos não facilitam esta *boa-prática*.

É cada vez mais necessário desenhar edifícios que possam ser desmontados, prevendo formas de agregação reversíveis e escolhendo materiais cuja reciclagem compense, como, por exemplo, os metais. Quando este procedimento se generalizar, deverá garantir-se a conservação, a longo prazo, da informação técnica de projecto que possa auxiliar a desmontagem no fim da vida útil do edifício.



Figura 36 – Reutilização de paletes em fachada de edifício.

Fórum 2004 (Barcelona).

Seleção ecológica dos materiais

As razões para seleccionar e utilizar conscientemente materiais de construção são claras: metade da totalidade das matérias-primas extraídas da Terra é utilizada para a construção, mais de metade do lixo que produzimos vem deste sector, e quase 50% da energia usada na Europa está relacionada com a construção de edifícios¹²².

A selecção de materiais para a construção deve, assim, ser realizada segundo critérios ecológicos, permitindo evitar riscos ambientais e privilegiando materiais renováveis, recicláveis e com baixo impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida (fabrico, transporte, aplicação, manutenção e eliminação). O impacto ambiental de um determinado material de construção depende da conjugação dos seguintes factores:

- impacto directo da produção do material – destruição de habitats e de ecossistemas;

¹²¹ BRE – Recycled costing for zero waste house, 2000.

¹²² ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

- natureza dos recursos envolvidos – disponibilidade, esgotabilidade e inacessibilidade;
- emissões de CO₂ e energia incorporada durante a produção;
- distâncias e modos de transporte;
- riscos para a saúde ou para o ambiente local, durante a construção e utilização;
- toxicidade do material para os seres humanos e ecossistemas;
- tempo de vida útil do material;
- destino final do material, depois de esgotado o tempo de vida do edifício;
- redução/separação de lixos de construção;
- prevenção da produção/deposição de lixos tóxicos;
- potencial de reutilização e reciclagem.

Muitos materiais utilizados na construção de edifícios provêm de *stocks* limitados ou de fontes não renováveis, o que significa que o seu uso contribui para o empobrecimento e eventual esgotamento das reservas do Planeta. No caso dos materiais que se encontram disponíveis em maiores quantidades são os seus processos de extracção e transporte que podem causar degradações ambientais significativas. Os materiais locais, desde que não prejudiciais para a saúde, são os mais indicados para a construção sustentável na perspectiva da auto-suficiência, autonomia e durabilidade do *habitat*, uma vez que garantem a minimização do transporte e a maximização da possibilidade de substituição.

As emissões de CO₂ durante a fase de exploração do edifício constituem, por si só, o maior impacte ambiental incorporado no edifício, relegando para segundo lugar as emissões de CO₂ decorrentes da aplicação dos materiais de construção. Contudo, face à esperada melhoria da eficiência energética na fase de exploração do edifício, a energia e emissões incorporadas durante a construção tenderão a ter um papel cada vez mais relevante.

Alguns materiais de construção têm efeitos prejudiciais para a saúde. Seleccionar materiais de construção exige que se consulte a respectiva informação técnica detalhada para assegurar, por exemplo, que os dissolventes utilizados não são à base de produtos tóxicos.

A integração de dados sobre os "ingredientes" dos materiais no projecto de arquitectura exige maior conhecimento técnico, bem como o acesso à informação. O uso destes dados é facilitado por processos informatizados de análise do ciclo de vida dos materiais (tomando em conta os efeitos ambientais da extracção, produção, transporte, uso, demolição e reciclagem ou deposição). Estes processos podem ser relevantes para a minimização dos impactes ambientais pois evitam erros ou omissões na selecção dos materiais que poderiam conduzir a substituições e perdas de eficiência¹²³.

Note-se ainda que nem todos os impactes ambientais de materiais podem ser contabilizados da mesma forma, pois alguns são mais importantes do que outros. A sua hierarquização é fundamental para uma comparação justa do desempenho ambiental de materiais. Esta hierarquização deve ser feita

¹²³ Ballard, 1974 (citado em Yeang – *El rascacielos ecológico*, 2001).

de acordo com a esfera de influência do impacte e a sua duração, o risco para a saúde do Homem ou do ecossistema, e as possibilidades de reverter ou reparar o impacte.

Conforto ambiental e materiais sustentáveis

Para uma correcta selecção de materiais não é suficiente avaliar o desempenho ambiental pois é necessário verificar também o seu desempenho construtivo, de acordo com os parâmetros convencionais de resistência, estética, conforto e durabilidade. O elevado desempenho ambiental dos materiais deve ser conciliado com o conforto ambiental e satisfação na habitabilidade que proporcionam.

O conforto ambiental depende de características dos materiais como a textura, a rugosidade, a temperatura e a cor. As propriedades radiativas dos materiais de acabamento, como a absorção, a reflectividade, a transmissibilidade e emitividade são geralmente expressas por valores numéricos que variam, não só com as características da superfície, mas também com o ângulo de incidência da radiação. A cor do material determina, em grande parte, a capacidade de absorção de radiação da superfície e tem grande influência no conforto visual. Contudo, a cor nem sempre é o aspecto mais importante para o conforto global quando comparada, por exemplo, com a transparência e constituição desse material¹²⁴.

3.3.6 Conforto no uso de edifícios

A concepção de habitação sustentável visa uma eficiente gestão dos recursos ambientais, mas também a satisfação das necessidades básicas de habitabilidade (segurança, salubridade, conforto, uso, aspecto e economia). Deste modo, os princípios em que se deve basear esta concepção decorrem tanto de temas *ambientais* (solo, energia, água e materiais) como de temas *humanísticos*, tais como: o conforto e a saúde, a adequação aos modos de vida, a identificação e participação dos habitantes. Dentro destes temas o conforto é o que mais impacto tem na concepção de habitação sustentável, pois abrange, simultaneamente, os aspectos físicos e psicológicos do uso do espaço.

Os requisitos de conforto dependem de um contexto socioeconómico específico. Satisfazer esses requisitos e elevados níveis de conforto na habitação pode ter implicações negativas para a sustentabilidade ambiental. Essa elevada qualidade ambiental a curto prazo é por vezes alcançada à custa da sua própria sustentabilidade, como exemplifica o uso extensivo de ar condicionado, ou a existência a grandes relvados em tornos de moradias.

¹²⁴ Cadima – Transitional spaces: The potencial of semi-outdoor spaces as a means for environmental control with special reference to Portugal, 2000.

A absorção de um material têxtil claro é de 10 a 20% e a transmissividade de cerca de 25%, já uma tela plástica absorve cerca de 10 a 15% e só transmite 13%. Numa superfície vegetal a absorção é de 70 a 85% e a transmissividade é quase nula.

Percepção das condições de conforto

Os principais parâmetros do ambiente interior que condicionam o conforto são a temperatura do ar e das superfícies, a humidade, a velocidade de deslocação de ar, o ruído, a iluminação e os odores. No contexto europeu, fortemente influenciado pelos países mais frios do Centro e Norte Europeu, alguns autores estabeleceram que existem condições de conforto térmico quando no interior de uma habitação se satisfazem os seguintes requisitos¹²⁵:

- temperatura interior compreendida entre 20 °C e 22 °C no Inverno e entre 24 °C e 26 °C no Verão;
- velocidade da deslocação do ar não superior a 0,15 m/s no Inverno e a 0,25 m/s no Verão;
- humidade relativa do ar compreendida entre 50% a 60% no Verão e entre 40% e 50% no Inverno, nos climas mediterrâneos;

Contudo, estes valores de referência – explícitos em vários manuais de arquitectura sustentável – devem ser revistos de acordo com o enquadramento sociocultural vigente num determinado país. Com o aumento do preço da energia e o fim da estabilização dos preços do petróleo, a temperatura interior de referência não deve pautar-se por valores tão elevados e, simplesmente, os utentes devem recorrer a estratégias não consumidoras de energia para se manterem mais quentes em casa.

Quanto à saúde dos utentes, esta pode ser afectada pelas seguintes condições: presença no ambiente interior de substâncias tóxicas, compostos orgânicos voláteis, poeiras ou radiação; falta de segurança e existência de factores de stress; ocorrência de situações extremas e persistentes de desconforto; desenvolvimento de fungos e bolores; ausência de contacto com o exterior e de condições mínimas de iluminação; e falta de condições de higiene e salubridade.

Conforto sustentável

A sensação de conforto é complexa, pois resulta de uma percepção omni-sensorial onde a experiência do espaço não é apenas visual e táctil mas também térmica, sonora e olfactiva. Esta sensação depende também de factores resultantes do estado momentâneo do indivíduo e da sua interacção com o meio ambiente. Por exemplo, o conforto higrotérmico depende da interacção de dois tipos de factores¹²⁶:

- Factores humanos, como o metabolismo (reações químicas que ocorrem no corpo produzem calor) e a temperatura da pele (que varia em função do metabolismo e do vestuário);
- Factores espaciais, como a temperatura das superfícies (o meio de radiação da temperatura que contribui para a sensação térmica), a velocidade do ar (que influencia as perdas de calor do indivíduo) e a humidade relativa (que influencia o conforto térmico em situações extremas).

Por outro lado, a variação do ambiente interior tem um papel relevante para as condições de conforto uma vez que o corpo humano não se adapta bem a condições absolutamente constantes. Assim, é

¹²⁵ ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

¹²⁶ Olgay – Arquitectura y clima, 1998.

mais importante desenhar espaços onde as pessoas possam influenciar as condições do que tentar manter uma estabilidade absoluta do ambiente interior.

Na sociedade ocidental a satisfação das exigências de conforto baseia-se num elevado consumo de recursos, demonstrando que a conciliação entre a satisfação imediata de necessidades e a sustentabilidade do meio ambiente não é ainda interpretada como um benefício para a qualidade de vida¹²⁷. Embora a sociedade *ecológica* esteja ainda em formação, em determinados segmentos existe já uma forte procura de soluções alternativas que respondam aos anseios de bom comportamento ambiental dos moradores, sem pôr em risco a satisfação das suas necessidades pessoais de conforto.

3.3.7 Adequação aos modos de habitar

A habitação ecológica gere os recursos naturais, visando a satisfação de exigências de conforto e a adequação aos modos de vida contemporâneos, determinados pelas relações interpessoais, por necessidades individuais e colectivas e pela evolução do conceito de *habitar*. Nos modos de habitar característicos das sociedades urbanas ocidentais o ambiente natural, embora constitua um suporte físico, tem um papel pouco determinante. Pode argumentar-se que em algumas situações, os modos de vida contemporâneos (ou *estilos de vida*¹²⁸), tal como moldam as habitações de que fazem uso, também procuram moldar o meio ambiente.

De uma forma geral, a adequação da habitação aos modos de vida deve basear-se em parâmetros de capacidade, espaciosidade e funcionalidade, e também em factores de articulação, ou seja de gestão de privacidade, convivialidade, acessibilidade e comunicabilidade¹²⁹. A habitação sustentável concilia a gestão de recursos naturais com uma habitabilidade específica, determinada por estes parâmetros gerais e por parâmetros específicos do modo de vida dos utentes a quem se destina.

Esta concordância entre *adequação ao uso* e *desempenho ambiental optimizado* nem sempre é conseguida, como demonstra o progressivo aumento das áreas das habitações actuais e o consequente aumento do consumo de recursos (Figura 37). Oferta de habitabilidade e gestão de recursos naturais têm vindo a ser dissociadas pela sociedade industrializada.

¹²⁷ ONU – Relatório do desenvolvimento humano 2003, 2003.

Os países só começam a investir no ambiente e na cultura quando têm já todas as necessidades básicas garantidas, pois estas não constituem necessidades prioritárias de sobrevivência.

¹²⁸ Giddens – Modernidade e identidade pessoal, 1994.

Segundo o autor, a escolha de um estilo de vida tem uma importância crescente na constituição da auto-identidade e da actividade quotidiana.

¹²⁹ Coelho – Qualidade arquitectónica residencial: Rumos e factores de análise, 2000.



Figura 37 – Objectos necessários numa habitação média.

Fórum 2004 (Barcelona).

Modos de vida emergentes

Em Portugal o problema da adequação da habitação aos modos de vida centrou-se inicialmente na preocupação com o aumento de áreas mínimas e das condições de conforto térmico e acústico¹³⁰. Mas, nas últimas quatro décadas, a vida doméstica sofreu acentuadas mutações decorrentes de diversos factores, como a melhoria das condições materiais, a entrada generalizada da mulher no mercado de trabalho, o crescimento do número de famílias monoparentais, a diversificação de formas de coabitação, o envelhecimento da população, e a informatização e comunicação crescente nos habitats domésticos. Ao nível da família, observou-se a redução da sua dimensão, a sua alteração qualitativa e a ausência de linearidade nas etapas do ciclo de vida familiar¹³¹. E se, por um lado, a família tradicional continuou a ser o modelo dominante, por outro observou-se um número crescente de outro tipo de famílias: casais com filhos de vários casamentos, coabitações sem crianças, pessoas sós, etc. Com a evolução das famílias alteraram-se os modos de uso e, conseqüentemente, os espaços residenciais.

Nos países europeus mais desenvolvidos, a generalização de novas tecnologias e a aceitação de novos valores éticos e ambientais criaram novas expectativas de maior autonomia, mobilidade, comunicação, e sustentabilidade¹³².

Apesar de a flexibilidade ser geralmente considerada a característica da habitação mais relevante para as novas e futuras expectativas habitacionais, a procura habitacional actual continua a privilegiar soluções não flexíveis e sobre-equipadas. Por um lado, o valor simbólico da habitação dificulta a aceitação de novas soluções, existindo uma persistência do modelo convencional. Por outro lado, o nível de vida médio tem progredido e a capacidade de consumo dos indivíduos e das famílias aumentou. Como consequência, o espaço habitacional foi invadido por produtos da sociedade de consumo e as actividades domésticas tornaram-se cada vez mais dependentes de equipamentos.

¹³⁰ Portas – Funções e exigências da habitação, 1969.

¹³¹ Cabrita (et al.) – A futura habitação apoiada, 2000.

¹³² Morgado – Habitação para o futuro. Tipos emergentes de habitação, 2005.

Funções na habitação e nas áreas residenciais

As funções convencionais da habitação incluíam, no fim da década de 60 do século XX, o descanso pessoal, a preparação e o serviço de refeições, a reunião familiar ou social, o lazer ou trabalho individual, o tratamento de roupas, a higiene pessoal, a permanência no exterior, a circulação e a arrumação¹³³. A estas funções podemos acrescentar hoje as actividades de geração de energia, de comunicação em rede, de armazenamento e triagem de resíduos, de controlo climático do fogo, e de gestão da saúde individual. Algumas funções convencionais, como o tratamento de roupas ou a permanência no exterior, perderam a importância que tinham ou adquiriram um significado diferente. Outras funções, como o estacionamento, o lazer dentro de casa, a actividade profissional em casa e a gestão doméstica ganharam maior protagonismo, tornando-se mais exigentes em termos de áreas, privacidade ou equipamentos.

A maior parte destas funções habitacionais emergentes decorre dos modos de vida ditados pelo evoluir da sociedade de consumo e da tecnologia ao seu serviço e não têm uma relação directa com a protecção ambiental. Contudo, alguns novos requisitos favorecem a sustentabilidade ambiental da habitação, como a procura de espaços verdes, de localizações que permitam minimizar o tempo perdido em deslocações, de soluções para a mobilidade que não dependam da disponibilidade de estacionamento, ou – mais raramente – de espaços privados para produção alimentar que podem conduzir à integração de agricultura urbana.

As alterações na função trabalho em casa têm repercussões importantes no uso da habitação e das cidades. A nível tecnológico requerem o acesso a redes de comunicação e informação, a nível tipológico requerem a previsão de zona de trabalho autónoma e a nível construtivo requerem um desempenho térmico apropriado a espaços ocupados 24 horas por dia.

Relacionadas directamente com a consciência ambiental crescente, bem como com o aumento do custo dos recursos energéticos, a geração de energia e a triagem e tratamento de resíduos surgem como novas actividades da habitação. No que respeita à geração de energia o aproveitamento passivo e activo de energia, individual ou centralizado, está cada vez mais integrado nos edifícios habitacionais. Quanto à triagem e tratamento de resíduos, para além da triagem prevista em compartimentos com ligação à cozinha e ao exterior ou a condutas, o próprio tratamento de resíduos pode estar dentro do âmbito das funções da habitação no caso dos sistemas comunitários centralizados para reciclagem e compostagem de resíduos, oferecendo a possibilidade de produzir fertilizante a partir dos resíduos vegetais domésticos, aplicáveis na agricultura urbana.

3.3.8 Apropriação e participação dos habitantes

Um dos principais parâmetros da satisfação residencial é o da apropriação pelos habitantes da área residencial e do edificado que habitam. Esta apropriação é favorecida pela identificação dos moradores com a habitação, mas também pela possibilidade de participação. A participação dos

¹³³ Portas – Funções e exigências da habitação, 1969.

habitantes na construção, manutenção e gestão do empreendimento habitacional constitui, por isso, uma via para conseguir maior satisfação residencial¹³⁴.

Apropriação

As exigências de segurança, conforto e de adequação aos modos de vida decorrem das necessidades físicas dos utentes, mas é de necessidades de estima e de identificação que resultam as exigências de apropriação.

A apropriação consiste na capacidade dos espaços motivarem o uso, promovendo a identificação individual e colectiva e permitindo a realização de intervenções que satisfaçam os modos de uso e os desejos de afirmação dos moradores¹³⁵.

A apropriação é favorecida pela adaptabilidade, que consiste na capacidade de os espaços suportarem diversos modos de uso ou permitirem a alteração das suas características, com vista a responderem à alteração das necessidades dos utentes decorrentes da sua evolução ou substituição.

A apropriação está ainda fortemente relacionada com exigências estéticas, isto é, exigências que visam assegurar que todos os elementos dos espaços habitacionais contribuam para uma imagem de conjunto que seja culturalmente enriquecedora. Nesse sentido, a atractividade e a domesticidade contribuem para uma imagem habitacional a que os utentes aderem naturalmente, favorecendo a apropriação. Contudo, perante as funções emergentes da habitação, a apropriação já não está apenas relacionada com questões estéticas, mas também com questões funcionais e de equipamento.

Participação

A participação pode conduzir a um maior sucesso dos conjuntos habitacionais e a um maior controlo dos seus impactes, pois o envolvimento dos moradores e outros actores permite prever comportamentos e promover a responsabilização e capacitação dos moradores¹³⁶. O recurso a processos de participação de habitantes nas decisões ao longo da concepção da habitação e da área residencial favorece a apropriação e é uma via para conseguir uma maior sustentabilidade social nos bairros de habitação de renda controlada, bem como na reabilitação dos bairros de génese ilegal.

Em Portugal, desde há mais de trinta anos que a participação dos futuros moradores é uma prática corrente nos empreendimentos de habitação cooperativa. Na Alemanha existem vários exemplos de

¹³⁴ Freitas – Habitação e cidadania, 2000.

A satisfação residencial é um parâmetro difícil de prever pois depende não só da natureza e qualidades intrínsecas dos espaços residenciais, mas também das características dos indivíduos e da relação entre os edifícios e os seus contextos residenciais.

¹³⁵ Coelho – Qualidade arquitectónica residencial. Rumos e factores de análise, 2000.

Pedro – Definição e avaliação da qualidade arquitectónica habitacional, 2000.

¹³⁶ Entre 1974 e 1976 o SAAL desenvolveu projectos habitacionais onde a participação organizada do cidadão foi motor fundamental do processo de edificação. Estes bairros deram resposta a uma muito pequena parte das necessidades de habitação de então mas constituem um exemplo histórico de um sistema dinâmico de envolvimento da população, onde utentes e arquitectos discutiam nas ruas o futuro dos bairros.

empreendimentos sustentáveis, alguns dos quais baseados em Agendas 21 Locais, que incentivaram a participação activa dos cidadãos durante a concepção¹³⁷ (Figura 38).

No Brasil, a experiência do orçamento participativo de Porto Alegre foi marcante como exemplo do sucesso da participação dos habitantes na decisão e no planeamento orçamental da urbanização e na distribuição colectiva dos seus custos e benefícios¹³⁸.



Figura 38 – Espaços públicos definidos com a participação dos residentes. Bairro Vauban (Freiburg).

Boa governância

A boa governância é um conceito abrangente que alia hipóteses de participação de utentes à responsabilidade dos projectistas, técnicos e governantes. Dito de forma muito simples, a governância é a ciência da tomada de decisão. O conceito de governância refere-se a um conjunto complexo de valores, normas, processos e instituições através dos quais a sociedade gere o seu desenvolvimento e resolve conflitos (Tabela 4).

A governância urbana envolve o Estado mas também a sociedade civil ao nível local, regional, nacional e global. A boa governância implica um elevado nível de eficiência organizacional visando o desenvolvimento, a estabilidade e o bem-estar da população. A boa governância aceita a participação como um instrumento fundamental, podendo contribuir para áreas residenciais mais próximas da identidade dos seus moradores.

A governância tornou-se num mecanismo útil, não só para aumentar o potencial criativo das políticas e flexibilizar as *regras do jogo*, inspirando esforços para mover a sociedade na direcção de novos modos de organização mais produtivos, como também para alcançar a legitimação das políticas pelo domínio público, especialmente desejada no domínio da habitação.

¹³⁷ Sustelo – A participação do cidadão na Reabilitação dos centros históricos: Estudo comparativo Alemanha-Portugal, 2003.

Stuttgart 21 e Freiburg- Vauban são os exemplos mais citados, intervenções urbanas que foram avaliadas e discutidas por vários grupos de cerca de 50 habitantes cada.

¹³⁸ Sousa Santos – Democracia e participação: O caso do orçamento participativo de Porto Alegre, 2002.

O orçamento participativo começou em 1997 e foi institucionalizado em 2002.

Tabela 4 – Principais objectivos e instrumentos da boa governança.

(adaptado de www.urbangovernace.com)

Objectivos	Instrumentos
Maior envolvimento e participação local	Promoção da identidade urbana e do sentido de cidadania Planeamento e orçamento participativos Envolvimento de grupos marginalizados
Gestão urbana eficiente	Investimento eficiente em infra-estruturas Formação adequada dos técnicos locais Utilização das tecnologias da informação Planeamento ambiental desenvolvido em cooperação com os cidadãos
Responsabilidade e Transparência	Monitorização das actividades governamentais por organizações exteriores Linhas de orientação claras para líderes e técnicos Sistemas abertos de procura e contratação Transparência financeira Processos de reclamação acessíveis e independentes
Acessibilidade	Consulta regular dos representantes de todos os sectores da sociedade Inclusão de indivíduos no processo de decisão Protecção dos direitos de todos os grupos

Abordagem de baixo para cima e envolvimento dos utentes

O processo de decisão de baixo para cima (*bottom up*) desafia a hierarquia convencional da gestão do ambiente urbano, aplica ideais de boa governança e de participação, e permite aproximar utentes do processo de produção da sua futura habitação. No processo convencional de gestão de cima para baixo (*top down*) o ambiente urbano é determinado por uma infra-estruturação e um espaço público que os cidadãos não podem adquirir nem alterar. Mas no processo inverso, de baixo para cima, é possível para os futuros habitantes, ou seus representantes directos, planear as vias e os espaços públicos, a partir dos seus próprios objectivos e necessidades.

Este processo beneficia particularmente da generalização do uso da simulação informática, pois esta permite visualizar os resultados das opções individuais dos vários participantes¹³⁹. A simulação informática pode ter um papel decisivo nos processos de participação activa sustentável pois permite relacionar, com auxílio da programação multi-critério, aspectos individuais com compromissos colectivos, nomeadamente ambientais.

¹³⁹ Lawrence – Housing, dwellings and homes: Design theory, research and practice, 1987.

Os obstáculos de comunicação que conduziram na década de 80 ao investimento em modelos à escala 1:1 e ao desenvolvimento de "jogos de simulação" hoje ultrapassados pela modelação e animação e simulação 3D.

3.3.9 Optimização da construção e flexibilidade no uso

A sustentabilidade ambiental da habitação depende do cumprimento dos princípios já expostos, mas também da capacidade do seu processo construtivo tirar o maior partido dos diversos recursos, limitando o seu consumo ao estritamente necessário¹⁴⁰.

O projectista, mediador entre habitantes e construtores, num território específico e face aos desafios ambientais, tem diante de si a tarefa de conseguir *mais com menos*, recorrendo a medidas de optimização da construção que assegurem a sua economia e respeitem limites de contaminação ambiental¹⁴¹.

Modulação da construção

A utilização de sistemas modulares pode contribuir para minimizar o impacte ambiental da construção de um edifício habitacional e para maximizar o potencial dos materiais, por razões de economia e por razões de controlo e de gestão, pois permite:

- controlar os impactes de uma componente construtiva, ao longo do seu ciclo de vida;
- otimizar o desempenho ambiental de sistemas construtivos e de soluções habitacionais através do estudo detalhado de uma componente que é repetida;
- contabilizar e prever com exactidão os materiais e processos necessários, o que permite alcançar uma maior precisão no planeamento da obra, incluindo dos seus custos.

A habitação que constitui alguns bairros antigos das nossas cidades resultou da repetição de módulos. Os bairros apresentam uma imagem coesa e coerente em virtude da repetição de um tipo com pequenas variações (ex., portas, janelas, varandas). Desta forma são constituídos padrões com uma matriz comum que desenham a paisagem urbana ao longo das ruas¹⁴². Esta estratégia, que permitiu otimizar economicamente a construção destes bairros, pode ser transposta para o desempenho ambiental da construção, sem que sejam descurados os princípios de adequação aos modos de vida e de apropriação pelos habitantes, pois a produção de habitação em série permite oferecer uma diversidade significativa de tipos, mantendo a integridade dos módulos.

No processo de concepção arquitectónica modular as características dos módulos tendem a estar relacionadas com o sistema construtivo que os agrega¹⁴³. Alcança-se, assim, uma aproximação da fase de projecto à fase de construção, favorecendo processos expeditos e simplificados de montagem (e desmontagem) de edifícios. Vários exemplos demonstram as mais-valias da construção optimizada

¹⁴⁰ ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

¹⁴¹ Ruano – Ecurbanismo, entornos humanos sostenibles: 60 proyectos, 2000.

¹⁴² Mesmo numa estrutura de propriedade fragmentada, em que a promoção de habitação é feita lote a lote, pode ser conseguida a coesão e manutenção da matriz comum, como demonstram os centros históricos de muitas cidades europeias.

¹⁴³ Duarte – Tipo e módulo: Abordagem ao processo de produção de habitação, 1995.

por componentes modulares, que permitem uma construção mais rápida, mais qualificada e com menor exigência de mão-de-obra¹⁴⁴.

Neste tipo de sistemas construtivos modulares existe uma ideia de simplicidade e neutralidade que é transposta para a própria organização espacial, e a compartimentação recorre geralmente a unidades espaciais de dimensões idênticas, o que aumenta também a adaptabilidade no interior dos fogos.

Mas para além da *obra modular*, a *obra limpa* é um pressuposto para a maior sustentabilidade da construção de habitação. Limitar a contaminação ambiental e o desperdício, prever o aproveitamento e recolha selectiva dos resíduos de obra em categorias bem diferenciadas, bem como a sua montagem e desmontagem para reutilização integral de componentes, são tarefas que a construção modular e limpa pode simplificar.

Para além disso, a *obra pré-fabricada*, com estruturas leves e painéis de revestimento de fácil aplicação e boa resolução das juntas, caracteriza-se pela sua versatilidade e facilidade de transporte e montagem. Com o conhecimento de tecnologias deste tipo, e despertados para os seus benefícios, alguns arquitectos lançaram uma arquitectura minimalista, apoiada em ferramentas informáticas e produtos inovadores, integrando o desempenho ambiental como elemento conceptual¹⁴⁵ (Figura 39).

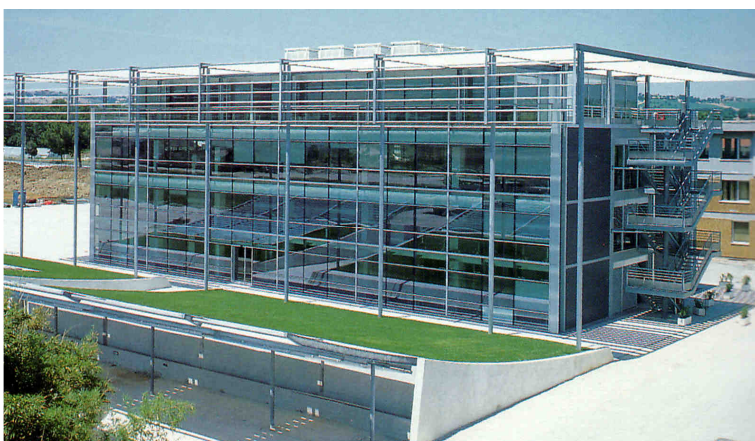


Figura 39 – Centro de Iguzzini.
Arq.º Mario Cucinella.
(fonte: Arquitectura Ecológica)

Algumas experiências recentes aliam à *obra modular, limpa e pré-fabricada*, o *projecto informatizado*. Este tipo de projecto permite a adaptação de cada módulo a exigências e condicionantes específicas de cada projecto, ou de cada família, ajudando a cruzar a informação para a criação de tipos personalizados. O intercâmbio de dados informáticos permite, em seguida, o fabrico assistido por computador, aumentando o rendimento e qualidade da construção. Nestes casos, o recurso à informática desde a concepção arquitectónica conduz a que o projecto, a construção e o uso se tornem aspectos complementares e a que o projecto organize todo o *ciclo de vida* do edifício.

¹⁴⁴ Paiva – Habitação flexível: Análise de conceitos e soluções, 2002.

As casas pré-fabricadas *Lustron* na América do pós-guerra foram construídas em 18 meses na altura do regresso dos soldados. Idealmente podem ser construídas em 4 dias por 4 trabalhadores, empregando cerca de 3000 componentes de dimensões reduzidas facilmente transportáveis. As casas *Lustron* são hoje património americano classificado.

¹⁴⁵ Gauzin-Müller – Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos, 2002.

A precisão alcançada na produção graças ao uso de ferramentas informáticas permite, por exemplo, o tratamento de uniões entre os componentes, reduzindo pontes térmicas e sonoras, ou a garantia da estanquidade e bom isolamento de envolventes.

A modulação da construção de habitação em projecto permite ainda a evolução controlada do edifício de habitação (devido à capacidade de expansão e contracção das estruturas modulares), promovendo a longevidade dos edifícios e facilitando a sua futura demolição.

Flexibilização e evolutividade

A adaptabilidade da habitação é favorecida por estratégias de modulação, mas só é conseguida se esta estiver associada à flexibilidade do próprio sistema modular. O conceito de flexibilidade está associado à polivalência e versatilidade do espaço, tendo como objectivo dar resposta às diversas necessidades dos utentes, induzindo a sua participação activa na configuração e organização dos usos da habitação¹⁴⁶.

Nenhuma solução arquitectónica é universal ou se pode prescrever em absoluto, pelo que a flexibilidade do tipo arquitectónico estabelece a correspondência entre o espaço e o uso, conduzindo às variações tipológicas na arquitectura¹⁴⁷. O conceito de flexibilidade tipológica deve ser interpretado de duas formas:

- na sua versão mais simples, o conceito corresponde à flexibilidade passiva, garantida pela polivalência e versatilidade no fogo, sem alterar ou mover componentes;
- na versão activa, a flexibilidade refere-se a dispositivos para a alteração física de componentes do fogo e requer a flexibilidade construtiva de determinados elementos.

Um fogo que permite uma maior diversidade de utilizações e a possibilidade de transformação para suportar diferentes usos (em determinados períodos do dia ou do ano) terá uma maior vida útil. Para além disso o fogo flexível pode integrar estratégias de controlo ambiental interior (de aquecimento, arrefecimento e iluminação) recorrendo a espaços e envolventes construídas transformáveis de acordo com as variações climáticas locais.

Na habitação, os ciclos de uso são dinâmicos e transformam-se de forma cada vez mais rápida, variada e imprevisível. A longevidade de uma habitação é um factor determinante para a sua sustentabilidade, mas para responder à transformação das necessidades a evolutividade constitui também um objectivo a atingir.

Para se alcançar a evolutividade, partindo da modulação da construção, é necessário assegurar que, nos diferentes tipos, a transformação do módulo mantém o conceito inicial, e que no conjunto, a transformação de cada tipo não compromete o crescimento equilibrado do todo. Salvaguardada esta coerência, as componentes modulares podem favorecer a evolução do fogo, desde que baseadas num sistema com um número elevado de componentes construtivas repetidas e compatíveis com

¹⁴⁶ Paiva – Habitação flexível: Análise de conceitos e soluções, 2002.

¹⁴⁷ Léger – Modos de habitar a arquitectura: As respostas francesas. 2001.

encaixes simples. Esta possibilidade poderá trazer diversidade a conjuntos habitacionais de grande escala, incentivando uma imagem urbana mais variada e humana e dando resposta às exigências de identidade pessoal dos habitantes de cada fogo.

4. Energia e materiais na habitação sustentável

Dos princípios de sustentabilidade da habitação apresentados destacam-se o princípio da eficiência e autonomia energética e o de gestão e selecção de materiais pois estes têm grande relevância na melhoria do desempenho ambiental dos edifícios de habitação.

Actualmente cada vez mais edifícios são concebidos de forma a beneficiar da energia e dos materiais de forma natural e optimizada, tendo em vista a redução da contaminação ambiental. Na produção de habitação multifamiliar, contudo, têm sido negligenciadas as capacidades naturais de controlo térmico, armazenamento e distribuição de energia que o espaço e os materiais construtivos possuem.

O estudo da aplicação dos princípios de eficiência energética e de gestão ecológica dos materiais de construção aos edifícios residenciais demonstra a viabilidade da sua integração na arquitectura e as potencialidades ecológicas do *habitar*.

Finalmente, sendo notório que a avaliação dos efeitos das opções energéticas e construtivas na concepção de edifícios é fundamental para promover a sua valorização, revestem-se de especial importância os parâmetros que permitem comparar com objectividade o desempenho ambiental dos edifícios.

4.1 Edifícios e inércia térmica

As opções construtivas que relacionam energia e materiais visam garantir elevados níveis de conforto, assegurando simultaneamente o seu baixo custo económico e ambiental. O conforto é um aspecto multi-facetado, sendo a sua vertente térmica a que mais se relaciona com o desempenho energético e com a utilização de materiais. Na concepção de um edifício que pretenda garantir o conforto térmico de forma autónoma, adaptável e durável, a primeira questão que se coloca é relativa à massa térmica do edifício, ou seja, se o edifício residencial deverá ser termicamente "leve" ou "pesado".

A "leveza térmica", ou reduzida inércia térmica, permite um aquecimento muito rápido dos elementos construtivos por acção de uma fonte de calor. Um edifício com este tipo de comportamento é construído, por exemplo, com uma estrutura e envolvente exterior de madeira, isolamento térmico e revestimento interior de gesso cartonado. Uma vez que pouco calor é armazenado nos materiais construtivos, o ambiente interior do edifício pode ser aquecido rapidamente. Mas quando a fonte de calor cessa, o ambiente interior arrefece rapidamente, pois não há calor retido. Obtêm-se assim grandes amplitudes térmicas, dependentes de fontes concentradas de calor, que num uso diário consumiria demasiada energia, mas que se adequa a usos sazonais. Por exemplo, durante um fim-de-semana uma habitação pode ser aquecida com rapidez e o facto dos ganhos térmicos não serem retidos não é gravoso pois o espaço deixará de ser habitado poucos dias depois.

As habitações de reduzida massa térmica necessitam de um elevado controlo das perdas de calor por ventilação e por "pontes térmicas", bem como de um dimensionamento dos vãos que evite ganhos solares excessivos.

Já num edifício termicamente pesado, ou seja, com elevada inércia térmica, a massa dos elementos construtivos actua como reservatório de calor tendo a capacidade de absorver ganhos de calor consideráveis sem aumentar imediatamente a temperatura do espaço interior. Um edifício com este tipo de comportamento é construído, por exemplo, com estrutura de betão armado e paredes de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão de alta densidade.

Quando é aplicada uma fonte de calor, os elementos construtivos demoram um tempo considerável a aquecer e o espaço interior aquece lentamente. Quando a fonte de calor é removida, a massa arrefece lentamente libertando o calor que absorveu, mantendo a temperatura do espaço interior quase constante durante mais tempo do que no caso dos edifícios leves.

As estruturas termicamente pesadas são as mais indicadas para utilizar a energia solar, ou outras formas passivas de ganhos de calor, uma vez que o edifício necessita de massa térmica para acumular calor durante o dia e o reemitir durante a noite. Deste modo, a combinação da elevada inércia térmica para a captação de ganhos solares indirectos com vãos envidraçados para a captação de ganhos solares directos, caracteriza as casas termicamente optimizadas.

O efeito da massa térmica nos requisitos energéticos de uma casa para aquecimento do seu espaço interior pode ser muito significativo. Um estudo realizado na Nova Zelândia sobre casas em madeira concluiu que apenas com a substituição dos pavimentos de madeira por pavimentos de betão se

reduziria as necessidades de aquecimento em 40% devido ao aumento de inércia térmica da construção¹⁴⁸.

Tanto as soluções "leves" como as "pesadas" têm caracterizado, em particular nos Estados Unidos, as casas de bom desempenho ambiental, pois embora a massa térmica tenha as vantagens referidas, os edifícios de construção leve têm outras mais-valias, como o seu potencial de optimização, economia e flexibilização da construção.

Há autores que defendem ainda um terceiro tipo de solução, que combina leveza e massa, e que tem mais-valias por ser mais fácil garantir a estanquidade construindo edifícios de alvenaria e betão do que usando formas de construção leve. Trata-se de casas com envolventes exteriores leves mas com elevados níveis de massa incorporada em elementos pontuais. Esta casa é constituída por uma estrutura de aço, paredes em madeira com isolamento, e pavimentos que incorporam recipientes de água. A capacidade térmica da água é quatro vezes superior à do betão e neste caso, funciona como compensador da baixa inércia térmica das paredes de madeira¹⁴⁹.

4.2 Energia

4.2.1 Introdução

Em termos do recurso energia, uma concepção ecológica da habitação deve minimizar os consumos na fase de construção e potenciar a optimização e geração na fase de uso. A experiência prática demonstrou que os edifícios consomem muito mais energia durante a sua ocupação do que na sua construção (mesmo incluindo a extracção, manufactura, transporte e aplicação dos materiais)¹⁵⁰.

Na fase de uso a eficiência energética depende, por um lado, de decisões relativas aos sistemas construtivos e, por outro, à incorporação de elementos geradores de energia (micro-geração).

No que respeita aos sistemas construtivos, o desempenho energético no uso de edifícios é principalmente condicionado por decisões relativas à inércia, ao isolamento, ao aquecimento, arrefecimento, à ventilação ou à iluminação do espaço.

No que respeita à incorporação de elementos geradores de energia (ex., painéis fotovoltaicos, aerogeradores e outros dispositivos geradores de energia), o desempenho energético durante o uso de edifícios é favorecido directamente pela produção local de energia renovável (Figura 40).

Embora os equipamentos para micro-geração sejam autónomos e externos em relação aos edifícios, em países onde as tecnologias renováveis estão mais desenvolvidas existe um investimento no sentido de os integrar na arquitectura

¹⁴⁸ Vale – The new autonomous house: Design and planning for sustainability, 2000.

¹⁴⁹ Este sistema apresenta a vantagem de usar massa que não tem de ser transportada, uma vez que está disponível em qualquer ponto de abastecimento de água ou numa zona de captação natural. Demonstra-se assim, que nem sempre o uso de massa térmica pode implicar os custos acrescidos que lhe são imputados pelo transporte e consumo de energia, pois, tal como o solo, a água pode ser disponibilizada localmente.

¹⁵⁰ Smith – Sustainability at the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.



Figura 40 – Fachada de habitação com painéis fotovoltaicos.

Arq.º Scarpa Kodama, Santa Mónica (EUA).

(fonte: AD, Home front – New Developments in housing)

No sector da habitação os sistemas de optimização e micro-geração de energia renovável na fase de uso podem substituir parcialmente os combustíveis fósseis e assim reduzir as emissões de CO₂ associadas ao uso de edifícios.

Estes sistemas são divididos em passivos e activos, de acordo com os seguintes pressupostos:

- os sistemas passivos para conservação e utilização directa de energia correspondem à forma mais neutra de eficiência energética em edifícios por não adicionarem componentes nem tecnologias específicas ao edificado;
- os sistemas activos têm associados sistemas de conversão, geralmente adicionais aos elementos construtivos convencionais, requerendo geralmente infra-estruturas de maior dimensão, visibilidade, complexidade e custo.

4.2.2 Funções energéticas

"*Funções energéticas*" é a designação aqui adoptada para exprimir os diversos aspectos que se prendem com o uso de energia num edifício e que por isso devem constituir aspectos fundamentais do projecto de arquitectura sustentável. Estas incluem a climatização (aquecimento e arrefecimento), a ventilação, a iluminação e o controlo integrado da globalidade das condições ambientais.

O aquecimento solar de edifícios consegue-se a partir de ganhos directos e indirectos. Os ganhos directos são obtidos por superfícies envidraçadas expostas ao quadrante Sul, abrindo directamente para compartimentos habitáveis apropriadamente dimensionados e construídos (de preferência com materiais pesados) para permitir armazenamento de calor.

Os ganhos indirectos são obtidos por elementos de elevada massa térmica orientados preferencialmente no quadrante Sul, que armazenam calor e aquecem indirectamente os compartimentos habitáveis. As opções de forma, orientação, implantação e disposição dos espaços condicionam o aproveitamento dos ganhos solares e, conseqüentemente, o aquecimento mais eficiente dos edifícios.

No entanto, para aproveitar a radiação solar é necessário garantir também o armazenamento de calor em elementos da construção, que restituam progressivamente o calor e a existência de dispositivos contra o sobreaquecimento. O aquecimento solar baseia-se, assim, na capacidade de:

- captação solar – a energia solar é recolhida e convertida imediatamente em calor;
- armazenamento de calor – o calor recolhido durante o dia é armazenado para uso futuro;
- distribuição de calor – o calor recolhido e armazenado é redireccionado para compartimentos que requerem calor;
- conversão – a energia é convertida em energia térmica ou eléctrica.

A interacção entre espaços interiores, elementos construtivos e ambiente exterior provoca transferências naturais de calor que em certas condições podem ter como efeito a ventilação.

Quando duas massas de ar se encontram, a temperaturas diferentes, o movimento do ar dá-se da zona mais fria para a zona mais quente. Este fluxo pode ser aproveitado e conduzido para ventilar e arrefecer o interior dos edifícios. Por exemplo, ao colocar aberturas no topo e na base do edifício, desde que as temperaturas exteriores sejam inferiores às do interior do edifício, o ar quente do interior será naturalmente extraído por cima, enquanto o ar fresco entra pelas aberturas em baixo.

Mas antes de dissipar por ventilação e arrefecimento o excesso de calor indesejado, deve ser prevista a minimização de calor proveniente da radiação solar e gerado pelos ocupantes e equipamentos, recorrendo às seguintes acções preventivas do aquecimento:

- redução da penetração da radiação solar no edifício (Figura 41);
- provisão de sombra compatível com a iluminação natural e com o aquecimento passivo;
- nos climas mediterrâneos, coloração de superfícies exteriores com cores claras para reflexão parcial da radiação incidente;
- utilização de vegetação para sombreamento e arrefecimento evaporativo;
- utilização de superfícies de água para arrefecimento evaporativo;
- utilização da massa térmica da terra para o arrefecimento do ar;
- minimização dos ganhos de calor externos: isolamento, redução da área dos vãos, inércia térmica, aplicação de materiais reflectantes;
- minimização dos ganhos de calor internos: uso mais eficiente da iluminação natural e ventilação adequada para a remoção das fontes internas de calor.

Após estarem assegurados a redução e o controlo dos ganhos de calor excessivos deverão prever-se formas de dissipar o calor que permanece. O arrefecimento natural ocorre por diversos tipos de trocas energéticas (radiação, condução e convecção) e através de diferentes veículos de transmissão (ar, água, materiais de construção e solo), podendo ser conseguido através das seguintes medidas passivas:

- arrefecimento nocturno do edifício;
- arrefecimento evaporativo;
- arrefecimento através do solo (condução do calor do ar para o solo).

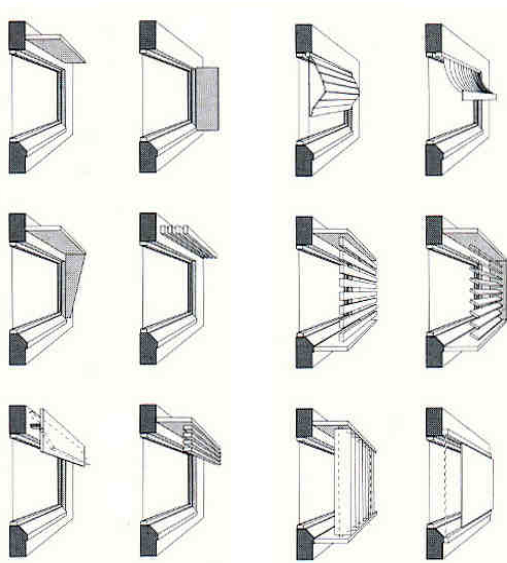


Figura 41 – Gama de dispositivos de sombreamento.
(fonte: A Green Vitruvius)

A ventilação e o arrefecimento podem constituir estratégias distintas e independentes (ex., a ventilação sem arrefecimento pode contribuir para a melhoria da qualidade do ar interior sem perdas de calor e sem consumos energéticos), mas geralmente encontram-se associados (ex., utilização de correntes de ar para arrefecimento e renovação do ar interior).

A conjugação das funções ventilação e arrefecimento pode ser conseguida por medidas dos seguintes tipos:

- colocação de vãos em paredes opostas de forma a potenciar a ventilação cruzada;
- desenho de vãos com área de ventilação superior a 5% da área do pavimento do compartimento;
- incorporação de átrios ou chaminés que permitam a extracção natural do ar.

A ventilação natural potencia a redução de consumos energéticos, mas em grandes edifícios comerciais e administrativos esta pode ser insuficiente para assegurar a renovação do ar. Nesses casos, recorre-se a sistemas mecânicos activos com pré-aquecimento ou arrefecimento, com condutas isoladas para que o ar mantenha a sua temperatura estabilizada.

Num edifício que depende da ventilação natural para a renovação do ar o controlo é fundamental. Sistemas de gestão automatizados e informatizados podem regular as aberturas dos pontos de admissão e de extracção de ar de acordo com a temperatura exterior e com os níveis de CO₂, e podem ser programados de forma a obter os melhores níveis de temperatura e qualidade do ar com o mínimo de ventilação.

Para além de ser necessária para a percepção visual, a luz regula os processos do metabolismo humano e afecta o sistema imunitário, bem como os estados psicológicos e emocionais. O ambiente exterior que proporciona iluminação natural oferece luz do sol e luz do céu. O sol é uma fonte de

iluminação pontual que se considera estar a uma distância infinita. A iluminação difusa reflectida pela abóbada celeste provém de uma superfície complexa que é o próprio céu, cujo estado é variável¹⁵¹.

A iluminação constitui uma das "funções energéticas" dos edifícios cujas soluções passivas permitem reduzir significativamente consumos energéticos. O uso otimizado da luz natural, especialmente em edifícios frequentados maioritariamente durante o dia, representa uma grande redução das necessidades energéticas relacionadas com o conforto visual e bem-estar dos ocupantes (Figura 42). Para incorporar soluções de iluminação natural nos edifícios na fase de concepção devem ser considerados os seguintes aspectos¹⁵²:

- orientação e geometria dos espaços a iluminar;
- tipo de actividades e sua organização espacial;
- localização, forma e dimensões das aberturas destinadas a captar a luz diurna;
- localização e propriedades das superfícies interiores ou exteriores que reflectem a luz natural e determinam a sua distribuição;
- localização, forma e dimensões dos dispositivos permanentes ou amovíveis de protecção contra o excesso de luz e o brilho indesejado;
- características ópticas e térmicas das superfícies de vidro.

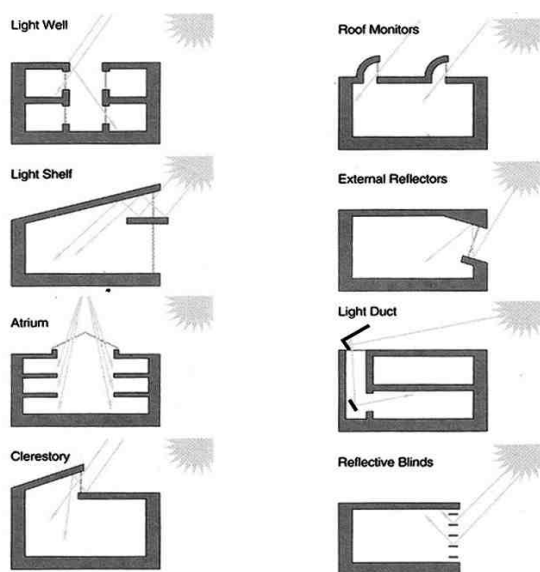


Figura 42 – Principais formas de iluminação passiva indirecta.

(fonte: A Green Vitruvius)

Um bom desenho de iluminação natural, para além de reduzir consumos de energia para iluminação artificial, pode propiciar reduções dos ganhos de calor indesejados, uma vez que o calor produzido pelo uso intensivo de lâmpadas é significativo no sobreaquecimento do ar interior em edifícios.

¹⁵¹ António Santos– Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ", 2001.

¹⁵² ACE (et al.) – A Green Vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

A utilização da iluminação natural é condicionada pela morfologia do edificado (ex., os edifícios em torno de um pátio ou átrio prestam-se a estratégias diferentes dos edifícios em banda) e pela tipologia habitacional (ex., a profundidade de alguns edifícios de habitação multifamiliar dificulta a aplicação extensiva de iluminação natural).

A qualidade da luz natural em termos de intensidade, de contraste e de brilho deve ser adequada à tarefa a desempenhar na zona iluminada, tendo em atenção os períodos do dia em que esta tarefa é desempenhada, de forma a dispensar ou a reduzir ao máximo a necessidade adicional de luz artificial.

Por fim, nesta breve apresentação das funções energéticas num edifício, devemos referir o controlo global das condições do ambiente interior como uma das preocupações principais dos edifícios sustentáveis e também dos edifícios "inteligentes" que apresentam a capacidade de desempenhar esta função de forma sincronizada e através de dispositivos integrados nas próprias componentes do edifício.

O controlo passivo do uso de energia depende da combinação de soluções já referidas de: protecção, isolamento e de massa térmica; de prevenção de infiltração de ar indesejada; de ventilação eficiente; e de optimização dos ganhos solares, da energia interna e da luz diurna.

Já o controlo activo do uso de energia está associado a dispositivos mecânicos automatizados e/ou informatizados que controlam consumos de energia, reduzindo o seu desperdício, e que auxiliam a conservação passiva de energia tornando mais eficientes, por exemplo, sistemas de arrefecimento nocturno ou de protecção contra o sobreaquecimento de Verão.

4.2.3 Sistemas passivos

Um sistema passivo capta e transmite energia térmica por convecção, condução e radiação, sem recorrer a meios mecânicos, embora por vezes recorra ao accionamento de dispositivos complementares. Nas estratégias passivas directas são utilizadas componentes convencionais do edifício como dispositivos de captação de ganhos directos provenientes da energia solar, do vento ou da água. As principais estratégias que utilizam ganhos energéticos directos são as seguintes:

- orientação do edificado, favorecendo a captação de ganhos solares;
- arrefecimento directo evaporativo a partir da água;
- ventilação natural cruzada ou ascendente;
- utilização directa da luz diurna;
- introdução de isolamento e massa térmica.

Estratégias Passivas Directas

Orientação do edificado e aquecimento solar directo

Uma adequada orientação do edificado deve privilegiar a captação e protecção solar, a condução de ventos e a relação adequada com a vegetação¹⁵³. De acordo com esta estratégia de base, no hemisfério Norte, as fachadas expostas a Sul devem ser favorecidas, por receberem mais radiação solar no Inverno e menos no Verão, e as superfícies a Oeste devem ser protegidas, pois estão sujeitas a sobreaquecimento produzido por raios solares de baixo ângulo de incidência (Figura 23).

Arrefecimento e ventilação directos

As moléculas de água em estado gasoso contêm muito mais energia do que no estado líquido, pelo que a quantidade de calor necessária para a evaporação é extraída às superfícies, que naturalmente arrefecem. Este é o princípio do arrefecimento evaporativo directo com grande importância no conforto térmico, sobretudo em países do Sul da Europa. Esta estratégia é mais indicada para climas secos onde a humidade relativa não excede os 40% no Verão. As técnicas evaporativas incluem:

- o arrefecimento do ar com baixo teor de humidade pelo contacto com a água em evaporação;
- a evaporação directa quando o ar passa pela folhagem das árvores, por fontes ou lagos;
- a passagem do ar introduzido naturalmente em edifícios por zonas menos quentes ou por zonas húmidas em evaporação.

As possibilidades de arrefecimento por deslocação do ar são determinadas pela localização e forma do edifício que pode, ou não, permitir o movimento transversal do ar ou o efeito de chaminé, em condutas ou em átrios, condicionando o escoamento do ar quente interior e a consequente descida de temperatura e renovação de ar.

O recurso ao arrefecimento nocturno é determinado pela geometria e pelos materiais do edifício, que podem ser favoráveis ou não à dissipação do calor das superfícies por radiação. O arrefecimento por radiação das superfícies de cobertura e paredes exteriores do edifício é essencial, pois estas são as mais expostas à radiação diurna.

O arrefecimento nocturno dos espaços interiores, ou da própria estrutura do edifício, recorre à admissão de ar exterior, beneficiando das baixas temperaturas que ocorrem durante a noite, e podendo associar-se ao arrefecimento evaporativo se existirem superfícies de água próximas.

A renovação do ar pode ser garantida através da colocação de vãos em paredes opostas que dão origem à ventilação natural cruzada. A profundidade dos compartimentos a percorrer pela corrente de ar cruzada não deve ser superior a cinco vezes o pé-direito do compartimento. Em grandes edifícios sendo difícil recorrer à ventilação cruzada através dos vãos das fachadas opostas, é possível recorrer a colunas de extracção para ventilação ascendente, que podem permitir também iluminação zenital, desde que controlados os seus ganhos solares.

¹⁵³ Yannas – Solar energy and housing design: Principles, objectives, guidelines, 1994.

As colunas de extracção constituem uma estratégia passiva adequada a edifícios de vários pisos, funcionando como escoamento vertical do ar aquecido no interior do edifício, sem obrigar à adição de nenhum dispositivo específico (Figura 43). As torres de vento são uma variação das colunas de extracção, onde o topo da torre é perfurado permitindo que o vento crie uma pressão negativa e aspire o ar interior. Este sistema tem sido ultimamente adoptado pela engenharia de ponta que procura associá-lo à tecnologia solar¹⁵⁴.

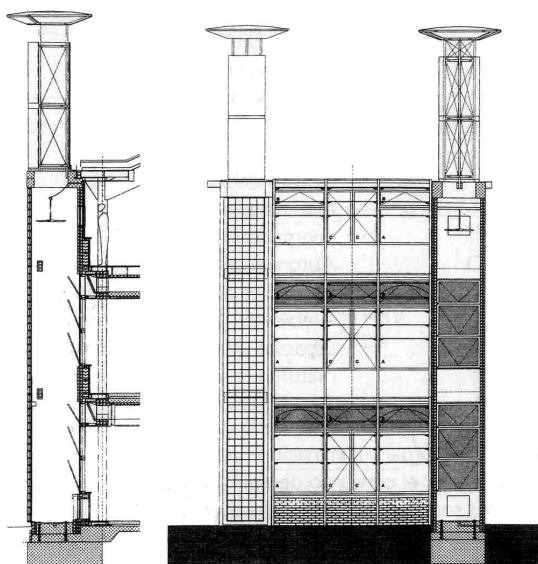


Figura 43 – Chaminés de extracção para ventilação e luz natural sem encandeamento.

Arq.º Feilden Clegg Bradley, Escritórios do BRE em Watford.

(fonte: Guia basica de la sostenibilidad)

Utilização directa da luz natural

A luz natural diurna tem duas componentes: a luz difusa, proveniente do céu e das nuvens por reflexão, e a luz directa do Sol, 5 a 10 vezes mais forte do que a luz difusa. As regiões da Europa têm diferentes ocorrências de céus limpos e céus nublados, mas apenas no Sul da Europa se encontram regiões onde os céus limpos são mais frequentes do que os nublados. Nestas regiões, o controlo da luz diurna é fundamental para o uso eficiente da iluminação natural pois, não só potencia o seu uso, como evita o encandeamento e regula a intensidade lumínica (através da incorporação de dispositivos exteriores, ou utilizando ecrãs interiores amovíveis).

O estudo do acesso à luz solar diurna deve recorrer a diagramas solares (que prevêem as posições do Sol ao longo do ano) e a análises da obstrução solar (provocada por projectores de sombra) e da reflexão (em superfícies claras, envidraçadas ou espelhadas que se encontrem próximas do edifício em análise).

Na reabilitação de edifícios surgem oportunidades para melhorar as condições de utilização da luz natural, através da melhoria dos vãos, da alteração das superfícies e seus acabamentos, do uso

¹⁵⁴ O prestigiado gabinete de Engenharia de Ove Arup desenvolveu recentemente um sistema de ventilação mecânica de baixa pressão cujos custos energéticos são suportados por células fotovoltaicas, sendo um sistema de consumos energéticos nulos.

generalizado de bandeiras das portas transparentes, e da inclusão de elementos de iluminação natural indirecta. Na remodelação de vãos deve ter-se em atenção que as janelas altas dão mais luz do que as janelas colocadas numa posição mais baixa em relação ao pavimento, pois permitem maior penetração da luz no compartimento.

Se esta transformação colidir com tectos-falsos preexistentes, será vantajoso alterá-los, pois os ganhos a nível de iluminação serão significativos (Figura 44). Mas nem sempre nas operações de reabilitação é necessário aumentar os níveis de iluminação natural, pois em alguns edifícios, sobretudo os construídos nos últimos 40 anos, as superfícies envidraçadas revelaram-se excessivas para o seu uso.

A utilização directa de iluminação diurna não depende apenas das dimensões, posição e proporção dos vãos, mas também dos tipos de caixilharia e vidro adoptados. A caixilharia pode obscurecer mais do que esperado, pois não é apenas a sua superfície que anula a passagem de luz, mas também o seu volume devido à sombra que produz.

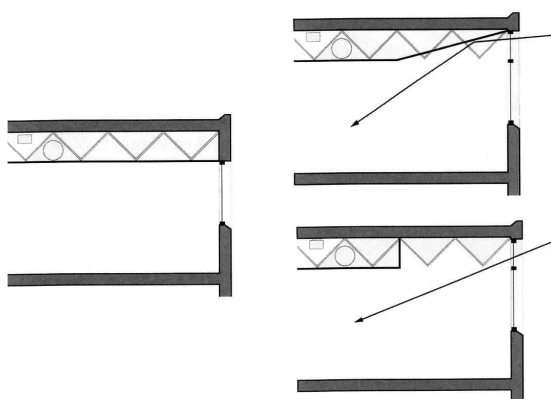


Figura 44 – Duas hipóteses de transformação de tecto-falso para melhoria da iluminação natural directa.
(fonte: Daylight design of buildings)

Introdução de isolamento e massa térmica

A utilização criteriosa de materiais de construção pode melhorar o desempenho energético de forma passiva. Tanto os materiais de alta tecnologia como os materiais tradicionais podem contribuir para a melhoria do desempenho do edifício.

Os materiais isolantes translúcidos (TIM) são uma nova classe de materiais que combinam as propriedades de boa transmissão de luz, de bom isolamento e acumulação térmica. Uma das aplicações mais correntes dos TIM é nas fachadas a Sul, onde substituem os materiais isolantes opacos convencionais, tendo maior capacidade de acumulação térmica (Figura 45). Estes materiais são geralmente revestimentos aplicados pelo exterior e não dispensam a estrutura resistente das paredes, pelo que, embora sendo translúcidos, não deixam passar a luz para o interior dos edifícios.

Têm também sido desenvolvidas investigações experimentais para a incorporação de partículas leves na constituição do betão, para possibilitar a redução de massa térmica e o arrefecimento natural do próprio material estrutural.



Figura 45 – Isolante translúcido com aerogel integrado em fachada polivalente, à esquerda.

Arq.º Thomas Herzog.

(fonte: DETAIL, Solar Architecture)

A provisão de isolamento e massa térmica tem variantes já descritas no início deste capítulo e como referido está intimamente ligada com os materiais e com os sistemas construtivos adoptados. De uma forma geral, a elevada massa térmica e o elevado isolamento constituem soluções passivas que potenciam a captação e a retenção de ganhos solares directos, garantindo bons desempenhos térmicos e energéticos, embora a massa térmica de grandes volumes de betão possa constituir um problema quando exposta a ganhos térmicos excessivos.

Estratégias Passivas Indirectas

As estratégias passivas indirectas requerem componentes específicas do edifício para a captação, armazenamento e posterior libertação de ganhos energéticos. Estas componentes desempenham diferentes "funções energéticas":

- parede de Trombe (para conservação e aquecimento);
- estufa (para conservação e aquecimento);
- dispositivos de arrefecimento pelo solo e por lajes (para arrefecimento);
- fachada ventilada e fachada de dupla pele (para arrefecimento e ventilação);
- chaminés térmicas (para arrefecimento e ventilação);
- torres de ventilação e de iluminação (para ventilação e iluminação);
- dispositivos de utilização indirecta da iluminação natural (para iluminação).

Parede de Trombe

A *parede de Trombe* é uma parede opaca que proporciona aquecimento através de ganhos solares indirectos, consistindo numa parede colectora construída em materiais pesados revestida exteriormente por vidro com uma caixa-de-ar, ventilada ou não. Uma parede de trombe deve cumprir os seguintes requisitos:

- ser exposta a Sul;

- ser construída em betão ou alvenaria maciça com uma espessura entre 0,15 m e 0,50 m;
- apresentar uma face exterior pintada numa cor escura;
- ser revestida pelo exterior, deixando uma caixa-de-ar de 0,10 m a 0,15 m, por uma chapa de vidro (ou acrílico) que evita que o calor acumulado se disperse para o exterior.

A utilidade do desempenho térmico da parede de Trombe para o aquecimento da habitação deve-se ao facto de o calor acumulado durante o dia pela parede poder passar gradualmente da face exterior para a face interior da massa da envolvente. Assim, à medida que a parede aquece, o calor irradia lentamente para o espaço interior adjacente. Se a parede envolvente possuir a espessura correcta, este intervalo de tempo permitirá que o calor solar acumulado inicie o aquecimento progressivo dos espaços interiores no fim do dia, justamente quando a temperatura exterior começa a baixar, e quando os espaços habitacionais serão mais utilizados (Figura 46).

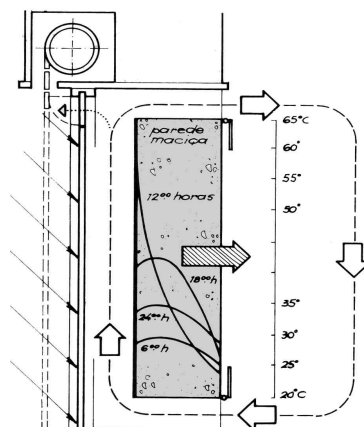
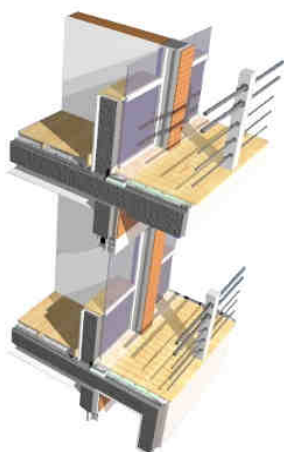


Figura 46 – Parede de Trombe não ventilada em betão.

Arq.^a Lúvia Tirone, Torre Verde em Lisboa.

(fonte: Gabinete Tironenunes)

Figura 47 – Parede de Trombe ventilada com indicação das temperaturas atingidas.

(fonte: Energia solar passiva 1)

Na parede de Trombe, parte da energia absorvida pela parede é novamente transmitida por radiação e convecção para o vidro, sendo perdida para o exterior. Deste modo, pode e deve prever-se a aplicação de uma folha transparente reflectante no lado interior da chapa de vidro¹⁵⁵.

Para um aquecimento mais rápido do espaço interior poderão ser aplicadas aberturas em cima e em baixo da parede para permitir a transferência por convecção, e não só por radiação, para o espaço ocupado. Estas aberturas devem ser fechadas à noite. Este tipo de solução, denominado por parede de Trombe ventilada (Figura 47 e Figura 48), apresenta a vantagem de permitir utilizações adaptáveis às diferentes estações, mas tem como inconveniente exigir manutenção e uma pormenorização mais complexa da sua construção e utilização.

¹⁵⁵ Moita – Energia solar passiva 1, 1987.

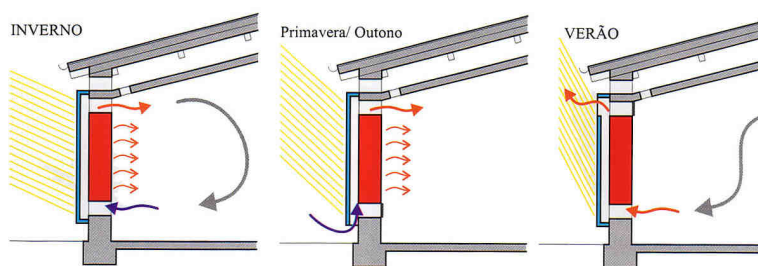


Figura 48 – Funcionamento de parede de Trombe ventilada.
Arq.º Günter Lüdwig, Casa Schaffer.
(fonte: Edifícios solares passivos)

Como se pode observar no gráfico seguinte (Figura 49), a eficiência de uma parede de trombe varia significativamente com a coloração do acabamento que tem na sua face exterior. A composição da própria parede também influencia o desempenho térmico, sendo a água, o betão, a pedra e o tijolo maciço, os materiais preferenciais por ordem decrescente.

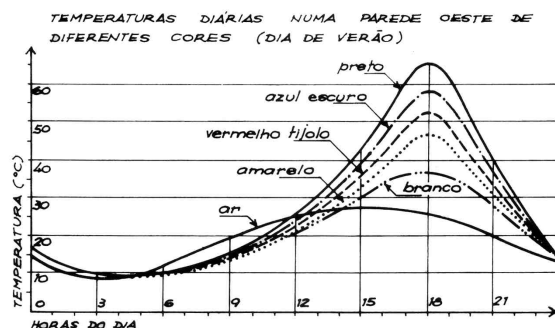


Figura 49 – Representação da influência das cores de uma fachada orientada a Poente.
(fonte: Energia solar passiva 1)

Uma parede de Trombe pode não representar um custo de construção adicional e quando bem desenhada assegura poupança de energia em aquecimento no Inverno sem provocar sobreaquecimento no Verão. Devido ao ângulo solar de Verão, as paredes de Trombe têm uma acção menor na estação quente mas para desactivar completamente as paredes de Trombe não ventiladas deve ser previsto o seu sombreamento no Verão.

Existem alguns exemplos de paredes de Trombe não ventiladas sem qualquer sombreamento¹⁵⁶, no entanto, o contributo de Inverno dessas paredes não poderá ser muito elevado, pois isso significaria algum sobreaquecimento no Verão, sobretudo nos países mediterrâneos. No caso das paredes de Trombe ventiladas, a sua utilização como extractores do ar interior implica que não sejam sombreadas no Verão, pois é necessária a incidência de radiação para aquecer o ar e motivar a sua extracção. Nos países nórdicos é viável recorrer a colectores térmicos sem ventilação e sem sombreamento que funcionam também como acumuladores térmicos passivos (Figura 50).

¹⁵⁶ Por exemplo, na Torre Verde da autoria do Gabinete Tironenunes no Parque das Nações as paredes de Trombe não são ventiladas e algumas não têm sombreamento. De acordo com a Arq.ª Lúvia Tirone estas paredes não provocam qualquer sobreaquecimento no Verão.



Figura 50 – Colectores térmicos em habitação geminada.

Atelier F, Bregenz, 1996.

(fonte: <http://www.unige.ch/cuepe/>)

Fachada de dupla pele ou ventilada

A fachada de dupla pele é uma solução que pode originar diferentes formas de duplicar a envolvente de um edifício. Pode ser constituída por duas superfícies separadas por uma caixa-de-ar ou por um espaço habitável. Em ambas as situações, a fachada dupla pode ser ventilada ou não. No interior das fachadas duplas podem estar instalados dispositivos de sombreamento, direcção da luz e ventilação passiva ou activa.

A fachada dupla permite regular a temperatura e humidade, eliminar o efeito de parede fria e proteger do sobreaquecimento no Verão. A fachada de dupla pele pode ajudar a resolver os problemas energéticos de grandes superfícies envidraçadas, cuja aplicação convencional implica o recurso sistemático à climatização artificial, possibilitado pelo baixo preço da energia.

As preocupações de minimização do consumo energético têm motivado a investigação em novas soluções para fachadas duplas envidraçadas que combinem desempenho energético, ventilação, conforto térmico e conforto visual¹⁵⁷.

A fachada dupla tem reduzida aplicação nos edifícios de habitação, pois consome área útil e exige vãos específicos. Mas a fachada dupla, se alargada e concebida para esse fim, pode ser considerada espaço habitável, podendo integrar estufas e varandas e constituir um espaço de transição climática para o exterior e para controlo da incidência da radiação solar. Nestes casos trata-se já não apenas de uma *fachada de dupla pele*, no sentido técnico que esta solução adquiriu, mas sim de uma *fachada habitável* (Figura 51).

¹⁵⁷ Foi realizado no LNEC um projecto de investigação sobre fachadas ventiladas.

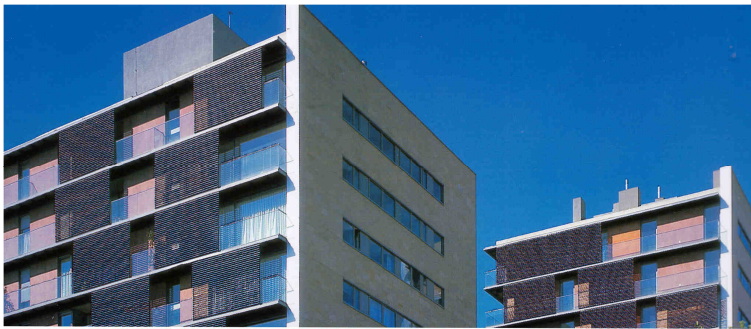


Figura 51 – Fachada dupla habitável.

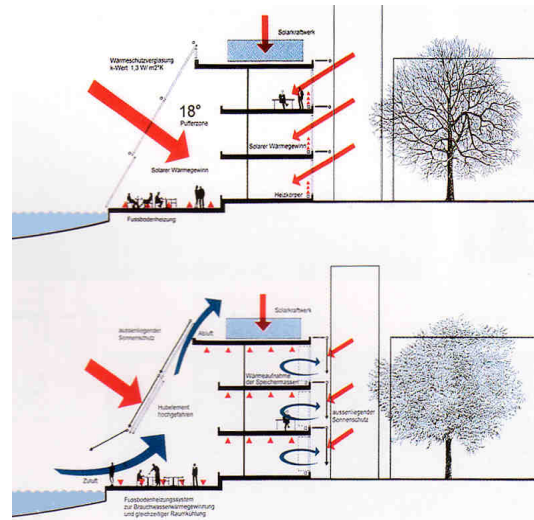
(fonte: Facades)

A fachada ventilada é uma variante da fachada dupla. A fachada ventilada não habitável funciona como um sistema de ventilação passivo constituído por uma caixa-de-ar entre superfícies, geralmente envidraçadas. A fachada ventilada habitável consiste num único pano de vidro ou numa zona de transição exterior/interior não enclausurada, geralmente associada a uma fonte exterior de arrefecimento (ex., a água de um lago – Figura 52).



Figura 52 – Fachada ventilada.

Parque da ciência, Gelsenkirchen.



(fonte: Solar energy in Architecture and Urban Planning)

Os principais problemas do uso de fachadas duplas residem na segurança contra incêndios. Para além disso, na sua forma não habitável, que é a mais corrente, têm como inconveniente impossibilitarem os utentes de contactar directamente com o exterior, o que é particularmente incómodo em compartimentos onde os ocupantes passam muitas horas seguidas. As principais vantagens são a combinação de bom desempenho energético e conforto, e a possibilidade de aplicação em intervenções de reabilitação sem requerer obras complexas (Figura 53).

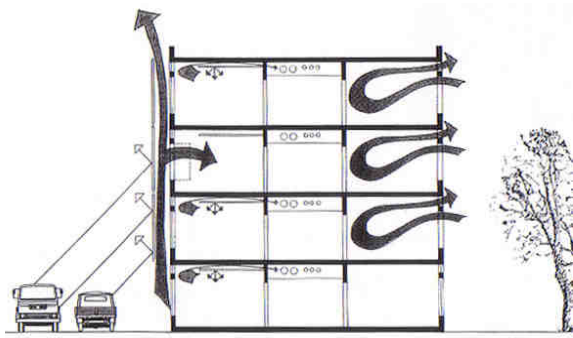


Figura 53 – Reabilitação por adição de fachada ventilada.

(fonte: Solar energy in Architecture and Urban Planning)

Estufas

A *estufa* combina os princípios dos sistemas de ganho directo com os sistemas de ganho indirecto, sendo constituída por um invólucro de vidro e por uma massa acumuladora térmica, geralmente o próprio pavimento e parede contígua ao compartimento que se pretende aquecer (Figura 54). As estufas devem ser expostas a Sul, sendo admissíveis desvios a Nascente ou Poente. O dimensionamento de uma estufa exige um equilíbrio entre a área de captação solar e a massa de armazenamento térmico disponível, de forma a evitar temperaturas extremas ou elevadas amplitudes térmicas¹⁵⁸.

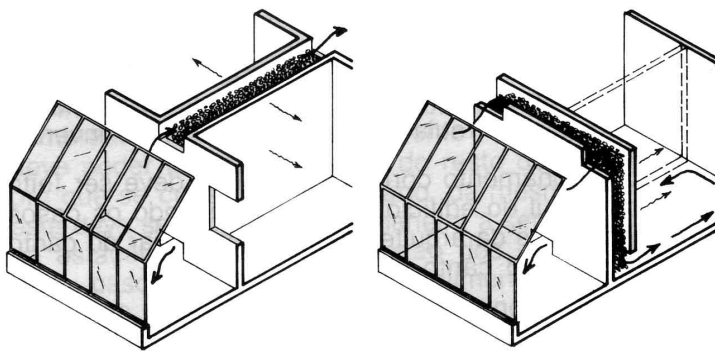


Figura 54 – Duas alternativas de acumulação térmica associada a estufas.

(fonte: Energia solar passiva 1)

Os processos de acumulação térmica na estufa podem ocorrer no pavimento, em paredes de Trombe, em contentores de água, ou em elementos maciços contíguos à estufa. A utilização de contentores de água constitui uma forma eficaz e económica para o armazenamento térmico em estufas.

Como se observa em seguida (Tabela 5), numa situação climática de Invernos amenos, ao usar-se a água como massa térmica a superfície envidraçada necessária para aquecer uma determinada área é menor do que utilizando uma parede maciça. Na Figura 55 ilustram-se os processos de transferência de calor que ocorrem nas duas situações.

¹⁵⁸ Moita – Energia solar passiva 1, 1987.

Tabela 5 – Área de captação solar recomendada para estufas.

(fonte: Energia solar passiva 1)

Temperatura média exterior na estação fria (°C)	m ² de vidro por m ² de pavimento	
	Parede maciça	Parede de água
-4	0,8-1,3	0,6-1,0
-1	0,6-1,2	0,5-0,8
+2	0,5-1,2	0,4-0,7
+5	0,4-0,7	0,3-0,5
+7	0,3-0,5	0,2-0,4

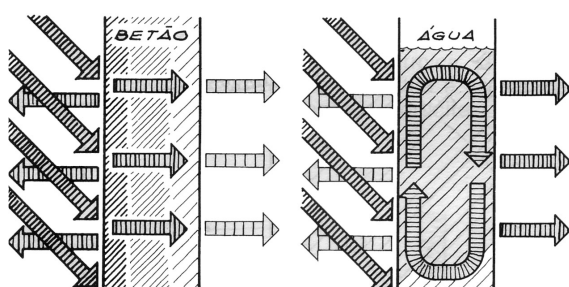


Figura 55 – Comportamento de paredes expostas a ganhos indirectos para acumulação térmica.

(fonte: Energia solar passiva 1)

Note-se ainda que a estufa capta, não só o ganho de energia proveniente da radiação solar directa, mas também, em dias enevoados, a energia da radiação difusa. Nos dias frios e de fraca insolação a estufa funciona como zona térmica intermediária, reduzindo as perdas energéticas do compartimento contíguo. Contudo, a estufa deve ser utilizada como um espaço adicional da habitação e não como um espaço central, pois as suas condições de utilização encontram-se sujeitas a grande variação.

Para além de ser essencial a existência de dispositivos de ventilação e sombreamento para arrefecimento nos dias quentes, deve poder isolar-se a estufa do resto do edifício sempre que se considere necessário. A estufa deve ser concebida de forma a poder ser totalmente desactivada na estação quente, e encerrada e isolada durante a noite na estação fria.

Existem várias formas de sombrear estufas e de as desactivar no Verão. A vegetação de folha caduca é uma forma muito económica, simples e com valor estético e ambiental (Figura 56 e Figura 57). O encerramento e isolamento nocturno da estufa pode ser feito com portadas que a cobrem, ou com estores que controlam as perdas térmicas que durante a noite podem ser excessivas, sobretudo no Inverno.



Figura 56 – Aspecto de estufa no Inverno.
Arq.º Fausto Simões, Casa Vale do Rosal.
(fonte: Edifícios solares passivos em Portugal)



Figura 57 – Aspecto de estufa no Verão.
Arq.º Fausto Simões, Casa Vale do Rosal.
(fonte: Edifícios solares passivos em Portugal)

Arrefecimento e Ventilação indirectos

O arrefecimento indirecto recorre, entre outros, aos mesmos processos que o arrefecimento directo mas de forma diversa, designadamente:

- evaporação – no arrefecimento evaporativo indirecto o ar não entra em contacto com a água mas é transportado em condutas cuja face exterior está húmida e cuja superfície interior arrefeceu;
- deslocação de ar – o arrefecimento indirecto por deslocação de ar recorre a elementos para conduzir a entrada ou saída do ar (paredes-asa, chaminés solares ou lajes com cavidades);
- arrefecimento nocturno – o arrefecimento indirecto dos elementos construtivos, como lajes e pavimentos, é assistido mecanicamente, podendo também recorrer à circulação de água.

Às três formas gerais de arrefecimento indirecto referidas deve-se acrescentar o arrefecimento pelo solo, ou terra-ar, que constitui uma estratégia interessante tanto para arrefecimento como para ventilação.

Na Europa as temperaturas do solo variam entre 8 °C e 14 °C, valores que são bastante moderados em comparação com as temperaturas do ar e as suas amplitudes. As temperaturas do solo num determinado local são praticamente constantes e diferem pouco entre os vários climas europeus. Deste modo, o arrefecimento pelo solo, baseado no pressuposto de que no Verão a temperatura da terra é mais baixa do que a do ar, utiliza a capacidade térmica da terra para absorver o calor do ar. Esta absorção pode ocorrer em compartimentos subterrâneos ou em troços subterrâneos de condutas onde o ar circula.

A colocação de condutas impermeáveis horizontais no solo (geralmente com um diâmetro de 20 a 30 cm, um comprimento de pelo menos 10 m e localizadas a profundidades entre 1,5 m e 3,0 m) permite que o ar que as percorre arrefeça significativamente, arrefecendo em seguida o interior dos espaços para onde é conduzido (Figura 58). Este sistema pode ser auxiliado por meio de um exaustor que aspira o ar, fazendo-o atravessar a zona fria subterrânea para o devolver depois ao interior do edifício.

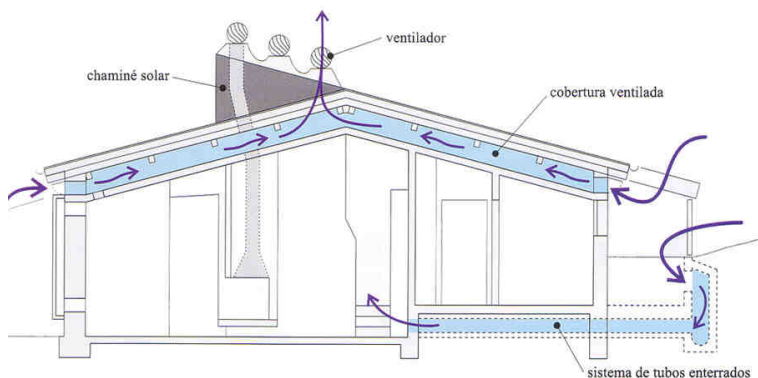


Figura 58 – Arrefecimento pelo solo combinado com cobertura ventilada. Arq.º Günter Lüdwig, Casa Schaffer. (fonte: Edifícios solares passivos em Portugal)

Outro sistema de arrefecimento indirecto consiste no uso de chaminés térmicas solares ou de torres de ventilação, utilizadas para extracção do ar quente. Estas, quando aquecidas pelo Sol, aceleram o processo de extracção aspirando o ar frio do piso térreo, o que arrefece progressivamente a totalidade do edifício, se for garantido que este ar é admitido a temperaturas mais baixas do que as que se verificam no interior do edifício (Figura 58). O revestimento exterior das chaminés com superfícies negras mate contribui para o seu maior aquecimento e, assim, para acelerar o processo de ventilação. As torres de ventilação têm um funcionamento idêntico ao das chaminés térmicas, mas em vez de admitirem ar do exterior recorrem a um reservatório subterrâneo de ar, onde a temperatura pode ser controlada. Tal como nas chaminés de extracção, o topo das torres de ventilação deve ser concebido de forma a garantir que os ventos, independentemente da sua direcção, provoquem a saída de ar. O interior das torres pode ser revestido de forma a permitir também a penetração e condução de iluminação natural, constituindo assim um "luminoducto".

Uma desvantagem destes sistemas de ventilação é a de poderem introduzir inadvertidamente poluição exterior no edifício. Contudo, este risco pode ser contornado colocando os pontos de admissão de ar em locais menos susceptíveis de serem afectados pela poluição. Nestes sistemas, as saídas de ar de extracção devem estar acima das entradas de ar fresco, de forma a não haver possibilidade de contaminação. Para mitigar problemas em situações em que a entrada e a saída de ar têm de estar próximas, a instalação de terminais rotativos (Figura 59 e Figura 60), ou seja, que rodam acompanhando as variações do vento e otimizando a extracção de ar, é uma solução eficaz pois assegura que o ar extraído seja imediatamente afastado do edifício e do lado oposto facilita a própria admissão de ar.



Figura 59 – Torres de ventilação com terminais rotativos.
Jubilee Campus, Nottingham.
(fonte: Architecture in a climate of change)

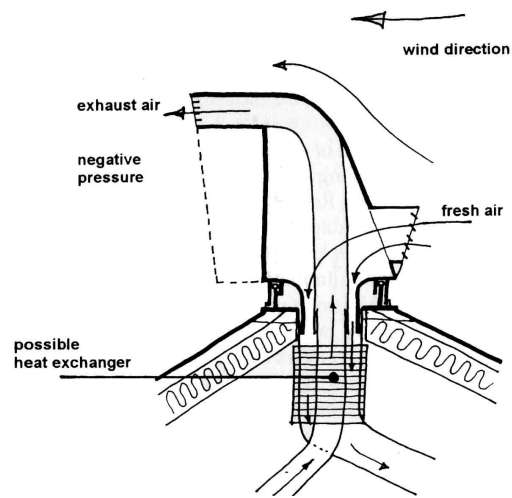


Figura 60 – Detalhe dos terminais rotativos para ventilação com recuperação de calor.
Jubilee Campus, Nottingham.
(fonte: Sustainability at the cutting edge)

Utilização indirecta da luz natural

A luz natural (difusa e directa) pode ser utilizada em edifícios não só através dos próprios vãos, mas também através de dispositivos de condução indirecta da luz. Os vãos não permitem, em geral, redireccionar a luz transmitida para o interior dos compartimentos. Para obter efeitos de redireccionamento, as aberturas do edifício devem ser equipadas com dispositivos ópticos adicionais como palas reflectoras (ou “prateleiras” de luz) ou outros elementos reflectores, ou ainda luminoductos¹⁵⁹.

A integração destes dispositivos em edifícios é oportuna quando as necessidades de iluminação são particulares devido à obstrução da luz, à profundidade dos compartimentos, à excessiva intensidade da radiação solar directa, ou quando os requisitos de iluminação são especialmente exigentes e onde a penetração de luz tem de ser controlada e minimizada (ex., museus).

As palas reflectoras, externas ou internas, não aumentam os níveis de iluminação do compartimento, mas difundem a radiação solar directa ao longo da profundidade do espaço a iluminar, minimizando a heterogeneidade da iluminação interior e reduzindo a necessidade de iluminação artificial. As palas reflectoras externas apresentam a vantagem de também poderem contribuir para o sombreamento da fachada. As palas reflectoras prismáticas têm a capacidade de rejeitar selectivamente a luz, excluindo a radiação de baixa altitude, reflectindo parte da radiação difusa e transmitindo a radiação restante, tanto para o tecto como para o pavimento. Estes últimos sistemas, porém, são ainda experimentais e não têm obtido resultados muito satisfatórios (Figura 61).

¹⁵⁹ Baker – Daylight design of buildings, 2002.

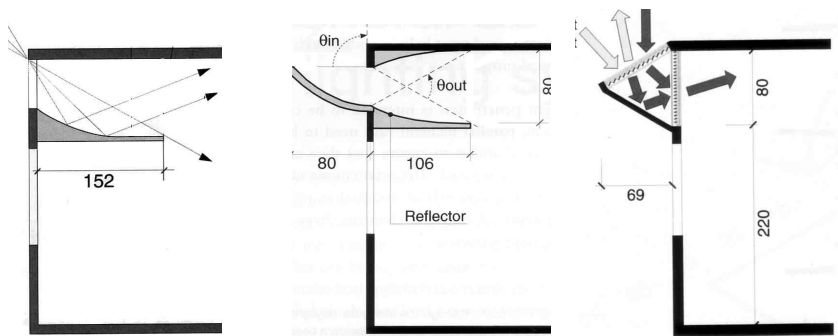


Figura 61 – Dispositivos de condução indirecta da luz.

- (1) Pala reflectora ou prateleira de luz; (2) reflector anidólico; (3) reflector prismático.

(fonte: Daylight design of buildings)

As palas reflectoras anidólicas, desenhadas para maximizar a luz difusa, têm a capacidade de transmitir a luz para a zona superior do compartimento, com perdas mínimas. Contudo, a sua integração arquitectónica exige algum cuidado, uma vez que são sistemas volumosos, cujo espelho interior tem grande visibilidade. Para otimizar a penetração solar difusa, excluindo riscos de penetração solar directa excessiva, estes reflectores devem ser colocados nas fachadas Norte do edifício.

Os luminoductos, ou as torres de iluminação com função associada de ventilação, são dispositivos de recolha e de redireccionamento da radiação solar que recorrem a condutas que conduzem a luz natural para o interior das zonas de um edifício que não têm contacto directo com a envolvente exterior do edifício (Figura 62 e Figura 63).

A luz directa num dia de céu limpo ao meio-dia, conduzida por uma coluna de secção com a área de 1 m², tem o potencial de proporcionar "luminâncias" de 300 lux, que cobrem aproximadamente as necessidades de iluminação de 65 m² de área de pavimento interior¹⁶⁰.

Este tipo de iluminação apresenta a vantagem de não consumir energia e evitar os ganhos de calor gerados pelas lâmpadas, mas deve ser assegurado que não produza outros ganhos de calor prejudiciais. A maior parte dos sistemas de condução de luz não estão disponíveis em larga escala no mercado, têm ainda um custo elevado, requerem muita manutenção e têm pouca capacidade de conduzir eficazmente a luz difusa.

Os luminoductos espelhados (Figura 64) são as soluções mais simples mas servem apenas a transmissão de iluminação ao longo de distâncias curtas. Uma sala interior com cerca de 9 m², por exemplo, pode ser iluminada por 8 condutas espelhadas (cilindros revestidos interiormente por alumínio polido) com 33 cm de diâmetro cada, com um comprimento entre os 8 m e 12 m e com desvios de direcção, ou seja, com dobragens¹⁶¹.

A utilização de luminoductos espelhados anidólicos permite uma economia de energia eléctrica de cerca de 33% em edifícios ocupados durante o dia. Contudo, estas economias de energia são condicionadas pelas exigências energéticas específicas da produção de alumínio necessário para o revestimento das superfícies do luminoducto anidólico, caso este não seja reciclado.

¹⁶⁰ Idem.

¹⁶¹ Ibidem.

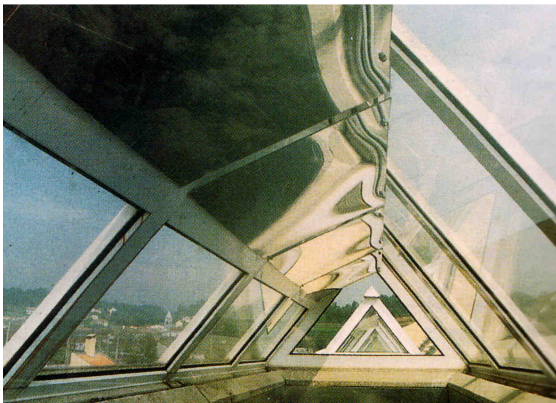
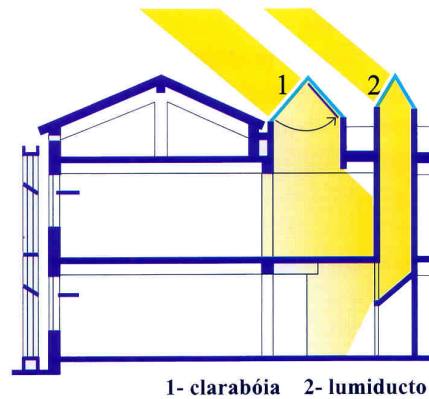


Figura 62 – Efeito no espaço interior de iluminação natural por luminoducto.

Figura 63 – Corte por luminoducto e clarabóia.

Figura 64 – Aspecto do topo de luminoducto.

Arq.º João Mateus, 1993.

(fonte: Edifícios solares passivos em Portugal)

4.2.4 Sistemas activos

Sistemas activos sem conversão de energia

O crescente investimento na melhoria do desempenho energético de edifícios conduziu ao desenvolvimento de sistemas que recorrem a tecnologias *activas*, aproveitando os ganhos energéticos naturais através de dispositivos mecânicos, térmicos ou de conversão. Embora não seja consensual, estes sistemas são considerados por alguns autores mais eficazes do que os sistemas passivos.

As tecnologias activas podem converter energia renovável (solar, eólica) em energia eléctrica, disponibilizada por via de redes até ao consumidor, da mesma forma que a energia eléctrica de origem fóssil. Existem também tecnologias activas sem conversão de energia, mais simples e mais económicas, que recorrem a componentes da construção para melhorar o desempenho energético dos edifícios. De entre as estratégias activas de utilização directa de energias renováveis destacam-se os sistemas solares térmicos e de ventilação activa.

Solar térmico

A energia solar térmica pode ser captada, distribuída e armazenada por sistemas activos que a utilizam directamente para aquecer o ar ou a água, sem a transformar em electricidade. A energia solar térmica

é utilizada para o aquecimento de água para usos sanitários, podendo cobrir até 60% dos usos anuais de água quente de uma habitação, com um investimento inicial reduzido e recuperável num curto de espaço de tempo.

Existem três tipos de colectores solares térmicos:

- colectores não envidraçados – superfícies com vários tubos de plástico ou metal negro, que podem não ser rígidas, permitindo uma fácil adaptação a superfícies não planas;
- colectores de caixa plana isolada – placas metálicas com pintura mate a preto, cobertas de vidro e de plástico, por trás das quais são instalados tubos por onde a água ou o ar são conduzidos e aquecidos. A temperatura obtida é da ordem dos 35 °C;
- colectores de tubos de vácuo – conjunto de tubos de vidro em vácuo onde a temperatura obtida é da ordem dos 60 °C, e que podem funcionar como sistemas independentes ou recorrer a sifões térmicos ou sistemas em que a circulação do fluido é activada mecanicamente. Em determinadas situações, os colectores de tubos de vácuo podem atingir temperaturas de 100 °C acima da temperatura ambiente.

O sistema de base para a utilização de energia solar térmica centralizada num bairro consiste em colectores agrupados e orientados a Sul, uma rede de distribuição com um fluido, um tanque de armazenamento, por vezes subterrâneo, e ainda uma fonte de calor convencional para cobrir os períodos em que a incidência de radiação solar é reduzida e o fluido aquecido armazenado já se esgotou. Contudo, na maior parte dos casos a tecnologia solar térmica é utilizada individualmente numa habitação ou num edifício, onde podem ser integrados sem requerer um espaço próprio (Figura 65).

As vantagens da utilização do solar térmico são as seguintes:

- baixo custo;
- tecnologia vulgarizada;
- produção do equipamento com reduzido impacte ambiental;
- pode ser utilizado no aquecimento de água para uso sanitário ou para climatização.

A utilização do solar térmico tem como principais problemas:

- irregularidade sazonal da fonte de energia (problema pouco significativo no Sul da Europa);
- custo do armazenamento do calor produzido;
- ameaça da *legionella* no armazenamento de água quente;
- perdas de calor durante a distribuição.

A radiação solar é irregular ao longo do ano e ao longo do dia e é difícil fazer corresponder a energia térmica produzida às necessidades dos utentes sem garantir o seu armazenamento. O calor é difícil de armazenar, de distribuir e transportar, e por isso os sistemas solares térmicos são normalmente pontuais e descentralizados, com a recolha de energia perto do ponto de uso.

Mais de 50% das exigências de combustíveis fósseis poderiam ser substituídas pela energia solar, se o armazenamento sazonal fosse viável e rentável. Contudo a construção e isolamento dos depósitos é

muito dispendiosa, tendo apenas sido concretizada em bairros experimentais como Kronsberg em Hanôver, no âmbito da Expo 2000, onde se acabou por concluir que o armazenamento de água quente solar não é rentável (Figura 66).

O armazenamento da água aquecida pelo solar térmico em depósitos colectivos não só origina perdas de rede significativas na distribuição de água, como exige um grande investimento e levanta alguns problemas de saúde. A legionella persiste como uma ameaça ao armazenamento de água aquecida por sistemas solares, uma vez que esta perigosa bactéria se desenvolve na água a 40 °C ou 50 °C. Existem alguns processos para evitar a reprodução da bactéria e alguns países exigem já que a água quente armazenada chegue aos 70 °C, pelo menos uma vez por dia. No entanto, esta subida representa um grande esforço para os colectores solares que, em geral, só atingem os 60 °C¹⁶².

A congelação da água é também um problema a considerar na avaliação do desempenho ambiental da tecnologia solar térmica, mesmo se específico das zonas mais frias, pois a sua prevenção exige produtos tóxicos e caros. Para evitar a necessidade de anti-congelantes alguns sistemas escoam a água quando não há ganhos solares suficientes ou utilizam colectores flexíveis que possam expandir com a passagem da água para o estado sólido.



Figura 65 – Colectores solares térmicos em cobertura.
Solar City, Kronsberg (Hanôver).

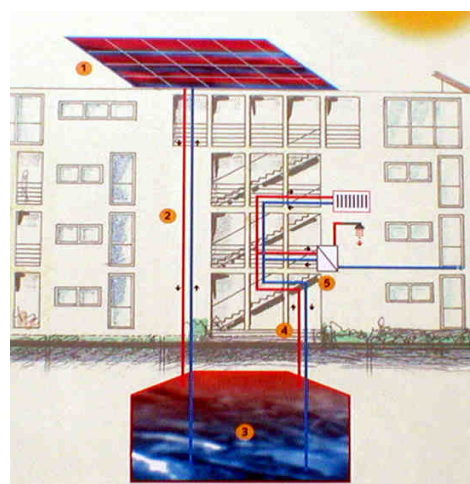


Figura 66 – Tanque para armazenamento de água quente.
Solar City, Kronsberg (Hanôver).

Ventilação activa

Consideram-se tecnologias de ventilação activa energeticamente eficiente as formas de ventilação natural quando aceleradas, dirigidas ou complementadas por ventiladores mecânicos, cujos consumos sejam inferiores à economia de energia que permitem no uso do edifício. Estas tecnologias consomem energia mas melhoram significativamente o desempenho e o conforto ambiental em edifícios, assegurando a qualidade do ar interior.

¹⁶² Smith – Sustainability at the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.

A ventilação activa por introdução de ar pré-arrefecido, utilizada na estação quente e nas estações intermédias, é uma das formas de ventilação activa mais económica. Consiste na introdução de ar a baixa velocidade e com uma temperatura aproximadamente 1 °C abaixo da temperatura do compartimento. Com o calor produzido pelas pessoas e equipamentos, o ar aquece e sobe, sendo extraído ao nível da cobertura ou do tecto do compartimento. Durante este percurso a lenta corrente de ar actua como renovador e purificador do ar interior. A diferença de temperatura entre espaços não deve ser muito superior a 1 °C para manter a baixa velocidade da deslocação do ar. Esta estratégia pode garantir níveis mínimos de conforto térmico e de qualidade do ar, ventilando sem produzir corrente de ar (Figura 67).

Os principais problemas das tecnologias de ventilação activa energeticamente eficiente são o dimensionamento das condutas, a localização e integração dos difusores, a minimização da velocidade do ar de entrada, o ruído e o controlo em caso de incêndio.

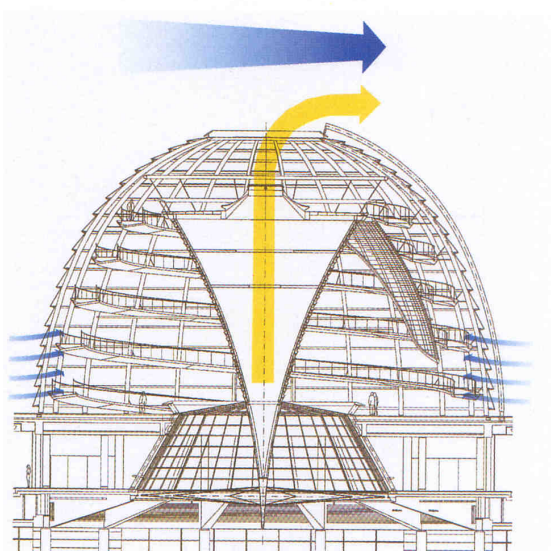


Figura 67 – Sala do Parlamento Alemão.

A sala é pavimentada por painéis perfurados e por uma alcatifa porosa, permitindo a entrada de ar fresco e pré-arrefecido. No topo faz-se a extracção do ar usado sem causar correntes de ar no interior do parlamento.

Arq.º Norman Foster, Edifício do Reichstag, Berlim.

(fonte: in Detail – Solar Architecture)

Sistemas activos com conversão de energia

Os sistemas activos incluem, para além do aquecimento solar térmico e da ventilação activa, estratégias de energia renovável em energia utilizável. As principais energias renováveis contempladas por **tecnologias de conversão** são as seguintes:

- energia solar térmica (para conversão);
- energia solar fotovoltaica;
- energia eólica;
- energia hídrica;
- energia geotérmica;
- energia da biomassa.

Ao integrarmos sistemas activos em edifícios ou em áreas residenciais, podemos acrescentar ao conceito de "energia incorporada" em construções o conceito de "geração energética incorporada", cada vez mais valorizado pelas possibilidades de comercializar a energia resultante da "micro-geração".

Solar térmico

Os colectores solares térmicos anteriormente referidos estão apenas vocacionados para a produção de calor. Contudo, existem também colectores solares térmicos especiais que produzem electricidade, a que se chamam colectores parabólicos.

Esta tecnologia tem conhecido avanços que indicam que a electricidade solar térmica pode ser a chave para uma parte substancial da produção de hidrogénio por electrólise¹⁶³, o que se reveste de especial importância num tempo em que o mundo anseia por uma economia baseada energeticamente no hidrogénio. Contudo, o futuro das tecnologias solares térmicas parabólicas está ainda dependente de diversos factores como o *design* e a manutenção. O aumento da sua aplicabilidade em edifícios requer um investimento em sistemas modulares e mais simplificados, bem como o recurso a formas de produção industrial, de maior escala, que reduzam os custos.

Energia solar fotovoltaica

O solar fotovoltaico, geralmente designado por PV (*Photo Voltaics*), é a tecnologia activa de conversão de energias renováveis alternativas mais utilizada em edifícios. Portugal contava, em 2004, com uma potência instalada de PV de apenas 1,6 Mega watts (MW). Foi apontada a meta de atingir os 150 MW em 2010, tendo-se atingido os 139 MW em 2009¹⁶⁴. Em Moura, Alentejo, construiu-se a maior central fotovoltaica do mundo com uma potência de 64 MW¹⁶⁵.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam diversas vantagens, designadamente¹⁶⁶:

- são uma tecnologia fiável e limpa;
- têm baixo impacto do ponto de vista de ruído;
- são compactos e de fácil manutenção;
- a energia pode ser captada localmente;
- podem ser incorporados em superfícies envidraçadas;
- podem ser integrados em telhados;
- quando integrados em edifícios não requerem solo adicional, pois aproveitam a superfície de paredes ou coberturas.

¹⁶³ Idem.

¹⁶⁴ URL: <http://www.apren.pt/dadostecnicos/index.php?id=119&cat=>.

¹⁶⁵ Azevedo – Os devoradores de energia, 2004.

¹⁶⁶ Gonçalves, Joyce, Silva (eds.) – Fórum energias renováveis em Portugal, uma contribuição para os objectivos de Política energética e ambiental, 2002.

A conversão fotovoltaica da energia solar em eléctrica apresenta como principais problemas o elevado custo dos painéis e a desadequação diurna, ou sazonal, do abastecimento energético solar. Porém, os custos da tecnologia PV estão a decrescer continuamente e a sua integração em fachadas e coberturas está-se a tornar cada vez mais comum.

O problema do armazenamento tem já soluções que consistem em:

- acumulação do excedente de energia em baterias (ou em potencial hídrico);
- utilização do excedente de energia para aquecer água;
- descarga do excedente de energia para a rede, contribuindo para a geração de electricidade a distribuir na rede eléctrica nacional¹⁶⁷.

Ligar os painéis à rede de abastecimento de energia eléctrica representa uma economia significativa pois o custo de armazenamento do excedente de energia é elevado. Deste modo, o uso de baterias só se justifica quando não existe possibilidade de ligação à rede, ou para abastecimento de emergência.

O sector solar fotovoltaico inclui várias tecnologias à base de silício cristalino cuja eficiência, cor e superfície variam (Figura 68):

- os painéis de células fotovoltaicas de silício monocristalino são os mais eficientes (13% a 18%). Neste tipo de painéis PV ocorre uma degradação do desempenho à medida que as temperaturas sobem, não sendo por isso particularmente indicados para países de climas muito quentes. O seu fabrico exige ainda um processo de cristalização lento, caro e difícil;
- os painéis de células de silício policristalino consistem na aglomeração de pequenos grãos de silício monocristalino, tomando a aparência de um granulado brilhante azulado, e os seus processos de produção são mais rápidos e simples. A eficiência deste tipo de células é inferior às células anteriores (eficiência média de 10% a 15%) mas a sua resistência à degradação é maior;
- as tecnologias do silício amorfo são a opção de produção mais económica, mas de eficiência mais baixa (7-10%) e de desempenho menos constante. As células amorfas aplicam-se também através da tecnologia *Thin film* (película fina) cuja flexibilidade de aplicação alarga de forma significativa a gama de soluções. As tecnologias fotovoltaicas de películas finas podem ser aplicadas sobre envidraçados, permitindo ainda a transmissão de 30% da luz do exterior para o interior. Estas soluções oferecem boas possibilidades de conciliação do conforto visual com a geração de energia e têm grandes potencialidades para os sistemas integrados em edifícios.

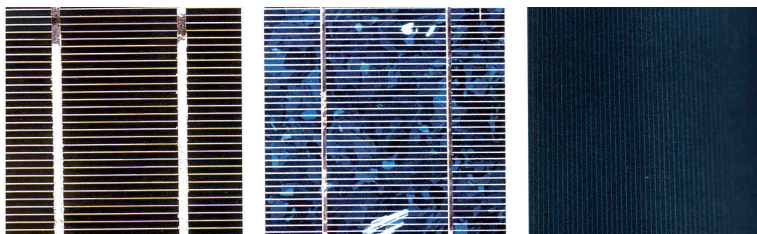


Figura 68 – Silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo ou thin film.

(fonte: Detail- Solar architecture)

¹⁶⁷ O programa “Renováveis na Hora” lançado pelo governo português em 2008 incentivou o contributo da micro-geração fotovoltaica para o “mix energético” utilizado pela rede nacional.

No uso da tecnologia PV é importante ventilar as células fotovoltaicas, sobretudo no caso das células monocristalinas, pois a sua eficiência decresce à medida que a temperatura sobe. O resultado energético da operação de uma célula monocristalina varia com os níveis de insolação e com a temperatura. Aos 20 °C dá-se uma perda da eficiência média de 16% para 12%.

Aos 50 °C a eficiência decresce para 10%. Muitos painéis precisariam mesmo de arrefecimento para manter a eficiência máxima durante o Verão, mas esta opção reduziria a eficiência energética do sistema. Nas situações em que os painéis precisam de arrefecimento a melhor alternativa é o seu arrefecimento passivo, podendo-se reaproveitar o calor acumulado sobre as células para aquecimento de ar e de água, sobretudo em climas mais quentes. O calor libertado pelos painéis fotovoltaicos aplicados em fachadas pode ser acumulado em caixas-de-ar que no Inverno podem ser abertas para o interior do edifício, servindo para aquecimento dos espaços. Durante o Verão as caixas-de-ar podem ser abertas para o exterior do edifício, servindo para arrefecimento dos painéis¹⁶⁸. O solar fotovoltaico é, assim, uma tecnologia que pode beneficiar com a duplicação do invólucro onde é inserido¹⁶⁹.

A integração arquitectónica do PV é especialmente pertinente em coberturas, fachadas e dispositivos de sombreamento, e pode também ser facilitada por painéis semitransparentes que substituem o vidro convencional (Figura 69). Os revestimentos fotovoltaicos para edifícios podem ser obtidos numa gama variada de cores e transparências, oferecendo uma vasta gama de possibilidades para a caracterização arquitectónica dos edifícios. Contudo, a sua aplicação justifica-se mais em edifícios de serviços, onde o pico de geração de energia coincide com o pico de necessidades, do que em edifícios habitacionais, onde a situação é inversa. A ligação dos painéis à rede, anteriormente referida, permite ultrapassar estas limitações.

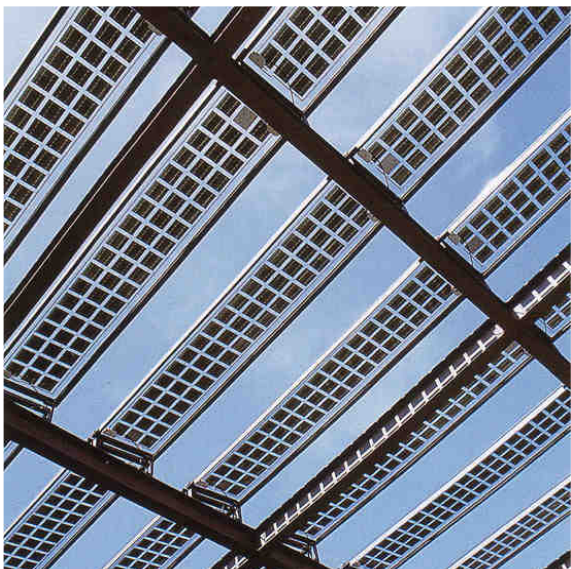


Figura 69 – Células fotovoltaicas integradas em superfície de vidro.

Note-se que estas lâminas de vidro funcionam como palas de sombreamento e como geradoras de energia. (fonte: In Detail – Solar architecture)

¹⁶⁸ O LNEG realizou o edifício Solar XXI com painéis fotovoltaicos integrados em fachada ventilada que produz energia eléctrica e térmica, quando a ventilação é fechada durante o Inverno.

¹⁶⁹ Uma vez que a eficiência da tecnologia fotovoltaica decresce com o aumento da sua temperatura, a sua integração é mais eficaz como segundo revestimento ventilado contra a chuva, do que como invólucro único.

Na Europa, um dos desafios das décadas futuras será a renovação de edifícios com a aplicação de tecnologias fotovoltaicas. Neste campo o Reino Unido é pioneiro, sendo vários os casos em que os painéis fotovoltaicos foram aplicados como palas corridas sobre os vãos das fachadas orientadas no quadrante SO-SE dos edifícios em reabilitação.

No campo da concepção de edifícios novos integrando esta tecnologia são os edifícios construídos na Alemanha e Áustria que têm maior destaque (Figura 70). Em Berlim espera-se que 70% dos requisitos de electricidade de todos os edifícios novos sejam satisfeitos pela energia solar fotovoltaica, com os respectivos impactes na diminuição da produção de CO₂ e outros GEE. Na Holanda os painéis solares PV são utilizados em auto-estradas como barreiras de protecção sonora, conciliando duas funções de bom desempenho ambiental.



Figura 70 – Utilização de PV integrado em fachada de edifício de habitação unifamiliar.

Arq.^{os} Poppe e Prehal, Öhling, Áustria, 1999.

(fonte: In Detail – Solar architecture)

Portugal, pelas suas características climáticas, possui excelentes condições para a energia fotovoltaica. A potência instalada é ainda pequena, quando comparada com outros países da UE, mas existem já grupos de investigação nacionais dedicados ao sector dos sistemas solares fotovoltaicos (Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade de Aveiro, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e Laboratório Nacional de Energia e Geologia). Não obstante a relevância da investigação nacional na área da energia fotovoltaica, no nosso país é ainda necessário um esforço ao nível da promoção desta tecnologia em termos de qualidade, fiabilidade e vantagens em termos ambientais e sócio económicos, num contexto de produção descentralizada de electricidade.

O problema dos custos de produção é um obstáculo relevante à rentabilidade económica desta tecnologia, perante os custos ainda baixos dos combustíveis fósseis. Como se observa nos mapas da Figura 71, a inclinação com que os painéis solares fotovoltaicos vão ser colocados vai ter efeitos significativos na sua produção energética.

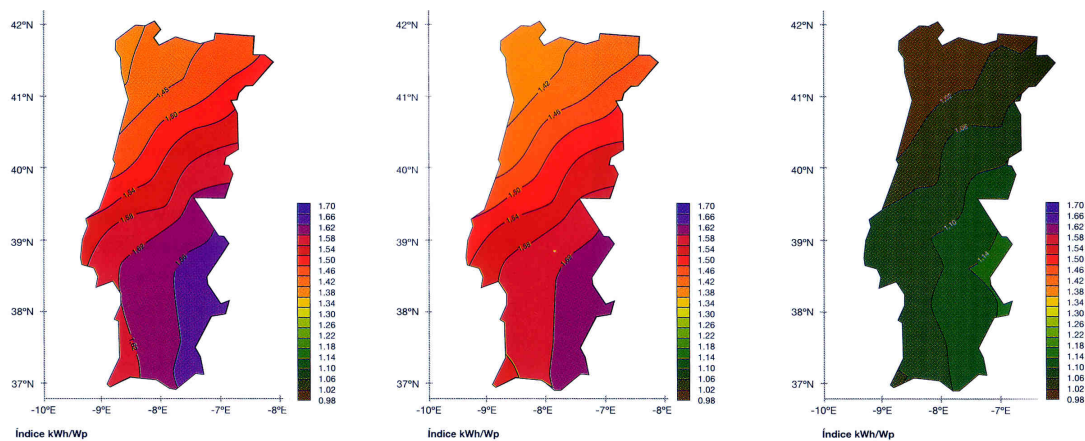


Figura 71 – Produção energética anual de sistemas fotovoltaicos em Portugal, conforme inclinação dos painéis orientados a Sul.

Inclinação igual à latitude (mapa 1); inclinação de 20° (mapa 2); e, painéis em fachadas a 90° (mapa 3).

(fonte: Fórum Energias Renováveis em Portugal)

Energia eólica

A energia eólica pode ser utilizada directamente como força motora mas é como fonte renovável para produção de electricidade que se destaca. Embora em Portugal a sua potência não ultrapassasse os 350 MW em 2004, em 2009 ela já ascendia ao um valor dez vezes superior (3500 MW)¹⁷⁰. A energia eólica é a que mais facilmente poderá cumprir a sua parte nos objectivos de produção de energias renováveis estabelecidos para Portugal até 2010 de acordo com a Directiva da União Europeia, correspondentes a 3750 MW.

O uso de energia eólica apresenta as seguintes vantagens:

- é uma tecnologia fiável e limpa;
- tem conhecido nas duas últimas décadas progressos muito significativos;
- a potência unitária dos aerogeradores aumentou quase 100 vezes desde 1985;
- os avanços tecnológicos no *off-shore* têm superado o expectável, prevendo-se que um terço da potência eólica instalada em 2020 esteja no mar.

Os principais problemas do uso de energia eólica são os seguintes:

- está sujeita à descontinuidade do vento;
- são significativos o ruído e a turbulência provocados pelo funcionamento dos aerogeradores;
- tem grande impacte visual;
- tem influência nefasta na avifauna.

¹⁷⁰ URL: http://inegi.inegi.up.pt/publicacoes/outras/INEGI_Parques_De09.pdf.

Em Portugal, onde cerca de um quarto do território corresponde a zonas protegidas, os impactes dos parques eólicos são relevantes. No entanto, as turbinas tendem a ser cada vez mais silenciosas e maiores, e por isso em menor quantidade, minimizando alguns dos impactes referidos.

Note-se que o aproveitamento da energia eólica não se resume ao recurso às turbinas convencionais, que dificilmente se integram no edificado. É possível integrar tecnologias eólicas em edifícios, por exemplo, em cumeeiras de coberturas ou em esquinas boleadas para maior aerodinamismo, onde também devem ser tidas em conta as vibrações introduzidas no edifício pelas próprias turbinas (Figura 72).

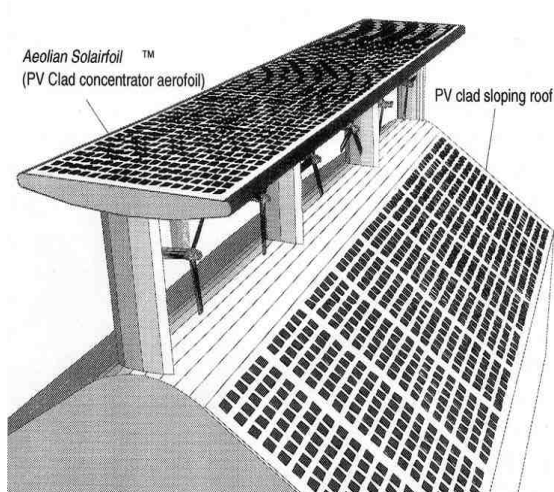


Figura 72 – Aerosolar Roof.

O sistema da Altechnica combina tecnologia fotovoltaica e eólica prevendo a sua integração em edifícios.

Arq.º Derek Taylor.

(fonte: Sustainable housing principles and practices)

Energia hídrica, ondas e marés

A energia hídrica, a energia das ondas e a energia das marés podem ser utilizadas directamente como força motora, mas é como fonte renovável para conversão em electricidade que mais podem contribuir para a sustentabilidade ambiental. Destas três fontes a energia hídrica é a mais explorada em Portugal nas nossas numerosas barragens.

O uso da energia hídrica apresenta as seguintes vantagens:

- é uma tecnologia fiável e limpa;
- está disponível em larga escala;
- pode ser benéfica para a amenização e humedificação do clima local;
- pode gerar benefícios transversais (ex. agricultura, lazer).

Os principais problemas do uso desta fonte de energia são os seguintes:

- só está disponível ao longo do curso de rios, no mar ou na costa, o que restringe o seu uso local e privilegia a sua exploração centralizada;
- tem fortes impactes na paisagem e nos ecossistemas;
- as barragens provocam a alteração dos processos naturais de erosão ao longo dos rios, responsáveis pela reposição das areias da costa, necessária à sua estabilização;

- os caudais necessários à preservação dos ecossistemas fluviais são alterados pelo aproveitamento extensivo da energia hídrica e os habitats naturais podem ser destruídos.

Os efeitos ambientais locais do recurso à energia hídrica devem ser avaliados para cada escala de grandeza (um pequeno aproveitamento hidroeléctrico por mini-hídrica tem impactes muito inferiores aos da grande-hídrica) e em função dos níveis de produção de energia.

A fonte renovável hídrica tem sido integrada em pontes, ou edifícios-ponte que se estendem sobre cursos de água, mas a sua forma mais usual é a mini-hídrica. A mini-hídrica, cuja potência não ultrapassa 10 MW, é uma forma de produção e consumo local que pode possibilitar a autonomia energética de áreas residenciais mas que, à excepção dos edifícios-ponte, não se relaciona directamente com tipologias arquitectónicas.

Relativamente à energia das ondas em Portugal, a central-piloto e a coluna de água oscilante da ilha do Pico, nos Açores, representara um investimento significativo nesta energia renovável, embora não relacionado com o ambiente urbano.

No que respeita à energia das marés é de salientar que a arquitectura tradicional portuguesa, nomeadamente dos moinhos de maré já incorporava um sistema de aproveitamento dessa energia, geralmente para moagem de cereais.

Energia geotérmica

A energia geotérmica tem sido aproveitada recorrendo a técnicas de utilização directa do calor da Terra em várias aplicações domésticas tais como o aquecimento de casas, de piscinas, de estufas e em numerosas aplicações industriais. Quando a temperatura da Terra excede 150 °C, o uso da energia geotérmica é feito por via da conversão em energia eléctrica, tecnologia que é explorada desde o séc. XIX.

Recentemente, o desenvolvimento da tecnologia das bombas de calor, aproveitando a energia geotérmica de aquíferos ou de formações geológicas superficiais, levou ao desenvolvimento de novas técnicas geotérmicas. As bombas de calor geotérmicas reversíveis permitem abastecer sistemas centralizados que satisfazem tanto as necessidades de aquecimento como de arrefecimento com grande eficiência energética e ambiental. Esta é uma fonte renovável que pode ser relevante no abastecimento energético centralizado de bairros residenciais e até de edifícios isolados.

Energia da biomassa

Embora tenha uma aplicação privilegiada no sector dos transportes e indústria, a energia da biomassa pode também contribuir para o bom desempenho dos edifícios habitacionais. Nos casos, ainda raros, de aplicação desta fonte de energia renovável em áreas residenciais é necessária uma gestão orientada para garantir a viabilidade e rentabilidade da utilização da energia da biomassa em larga escala.

Esta forma de energia pode ser muito útil em edifícios na fase da sua ocupação, pois pode produzir calor e electricidade a partir de vários tipos de resíduos produzidos no uso do edifício (resíduos

orgânicos e esgotos domésticos) ou em espaços verdes nas suas imediações (resíduos florestais ou agrícolas). O reaproveitamento destes resíduos exige infra-estruturas mas também modos específicos de gestão, participação e controlo do desempenho dos utentes.

Ao contrário de outras energias renováveis, os biocombustíveis podem ser facilmente armazenados, o que constitui uma vantagem em relação a outras fontes endógenas. Dos combustíveis de origem renovável podemos referir os substitutos do gasóleo (óleos vegetais e o etanol), os substitutos da gasolina (metanol, etanol e derivados) e os combustíveis gasosos (gás de gaseificação e biogás). O biogás, por exemplo, pode provir da fermentação de resíduos domésticos (tanto águas negras, como resíduos alimentares), podendo ser transformado em electricidade ou calor. O que resta desta fermentação é um produto muito rico em fosfato que pode ser recuperado pela agricultura local. Este processo de reutilização de resíduos não só reduz o consumo das reservas limitadas de fosfato do planeta, como permite fechar o ciclo dos consumos, não havendo qualquer material residual durante o processo de conversão de resíduos domésticos em energia e fertilizante.

Este processo cíclico de produção de biogás, embora esteja largamente divulgado em explorações agrícolas e pecuárias, está ainda limitado a intervenções experimentais no caso dos edifícios ou zonas residenciais (Figura 73). O uso da biomassa para a produção de fertilizante, a utilizar na produção de alimentos, levanta questões relativas, por exemplo, à circulação das substâncias contidas nos medicamentos consumidos pelos moradores¹⁷¹.

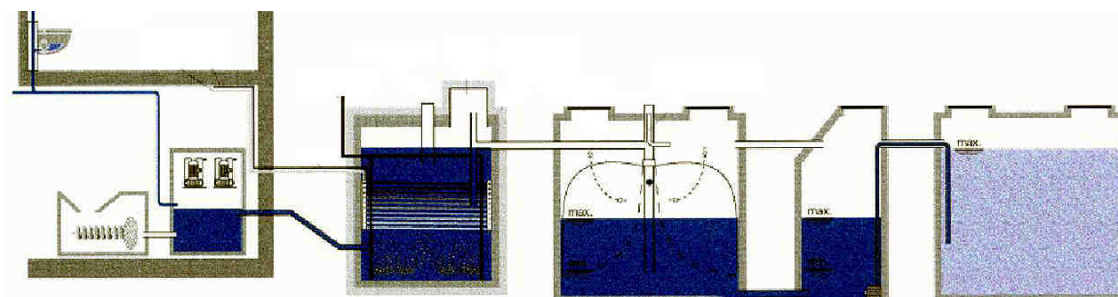


Figura 73 – Reactor de biogás doméstico.

(fonte: www.forum-vauban.de)

Bairro Vauban (Freiburg).

4.2.5 Controlo e desempenho ambiental

Controlo integrado em envolventes de edifícios

Os sistemas de controlo ambiental colocam a tecnologia ao serviço da eficiência energética e, embora não tenham a capacidade de produzir energia renovável, potenciam o seu aproveitamento. O desenvolvimento destes sistemas tem sido motivado pelo objectivo de garantir a qualidade ambiental

¹⁷¹ De acordo com Andreas Delleske, membro da comunidade sustentável de Vauban e habitante de um edifício onde este sistema está a ser aplicado, esta questão levanta-se, por exemplo, no que respeita aos medicamentos contraceptivos. Tomados em larga escala, a sua entrada no ciclo do aproveitamento da energia da biomassa poderá ter consequências imprevisíveis, por enquanto desconhecidas.

interior e a produtividade dos utentes dos edifícios. Contudo, podem também ser uma ferramenta muito eficaz para a melhoria da sustentabilidade ambiental de edifícios.

O desenvolvimento das tecnologias da informação permitiu a construção de edifícios inteligentes, isto é, edifícios com poder de acção e de decisão para satisfazer as necessidades de conforto ambiental e simultaneamente de economia¹⁷². Um edifício inteligente integra vários sistemas de controlo (de iluminação, de climatização, de comunicação) com os objectivos de gerir de modo eficiente os recursos, maximizar a produtividade individual dos utentes, permitir economias na exploração e, por ultimo, contribuir para a flexibilidade no uso de edifícios¹⁷³.

Os sistemas de controlo ambiental de edifícios têm como principais funções a regulação de temperatura, iluminação, velocidade do ar interior, consumo de energia, geração de energia, e comunicação de dados sobre o desempenho – funções que são potenciadas por sistemas automáticos das seguintes formas¹⁷⁴:

- conservação – controlo da actuação da massa térmica e dos envidraçados, regulando a variação das temperaturas interiores em relação às exteriores e moderando consumos;
- selecção – admissão ou protecção dos ganhos solares em função da variação sazonal da radiação, equilibrando os consumos energéticos ao longo do ano;
- exclusão – utilização da energia para controlar o ambiente interior, minimizando a interacção com o exterior e por isso excluindo os ganhos exteriores e alcançando consumos energéticos praticamente constantes ao longo do ano.

Num edifício a aplicação de controlos automáticos da iluminação artificial (ex., sensores de luz natural e de ocupação) pode resultar numa poupança de 30% a 40% de energia eléctrica. A aplicação de controlos automáticos pode também auxiliar a geração de energia a partir de fontes renováveis. A introdução de elementos de produção de energia renovável na envolvente de edifícios tem vindo a progredir, sobretudo em fachadas ou coberturas ventiladas, onde a sua eficiência é elevada.

A envolvente ("pele" ou "envelope") do edifício é geralmente a zona privilegiada para a instalação de dispositivos automáticos de controlo e resposta às condições ambientais e de satisfação das necessidades energéticas. As envolventes de um edifício devem ser vistas como superfícies de mediação entre o exterior e o interior, oferecendo não só protecção mas também controlo das condições ambientais. Quando esta mediação é automatizada, recorrendo à informática, é concedido ao edifício um "instinto" de protecção e a capacidade de aproveitamento das condições exteriores, em condições de elevada eficiência¹⁷⁵.

¹⁷² Coelho – Será que pode haver inteligência nos edifícios? 1989.

¹⁷³ Idem.

¹⁷⁴ Baird – The architectural expression of environmental control systems, 2001.

¹⁷⁵ Wigginton; Harris – Intelligent skins, 2002.

Por exemplo, uma fachada de dupla pele ou "estratificada"¹⁷⁶ favorece a integração dos factores de "inteligência" no edifício, pois cria oportunidades para a maximização da iluminação e ventilação naturais e melhoria do desempenho energético (Figura 74). No Verão, a integração de sistemas de protecção solar em fachadas estratificadas permite reduzir os ganhos solares isolando a fachada interior da transmissão de calor através de ventilação ascendente. No Inverno, esta solução minimiza as perdas de calor e melhora os valores de transmissão térmica. O controlo inteligente dos mecanismos integrados nestas fachadas visa geralmente regular a tomada de ar para ventilação, o fecho de aberturas para criar uma zona de aquecimento ou o sombreamento para regulação térmica e/ou lumínica (Figura 75 e Figura 76).

Actualmente, segundo os autores de *Intelligent Skins*¹⁷⁷, os principais subsistemas que podem constituir uma envolvente inteligente de um edifício, capacitada para o controlo ambiental, são os seguintes:

- *Gestão técnica centralizada do edifício* (BMS) – "Cérebro" de um edifício capaz de reagir às alterações meteorológicas e controlar os sistemas ambientais passivos e activos para assegurar o uso mais eficiente de energia.
- *Capacidade de aprendizagem* – Sistemas inteligentes que relacionam informação ao longo do tempo e conseguem escolher as estratégias de operação mais eficientes. Estes sistemas apreendem o estado energético do edifício e as suas características térmicas, para formular uma estratégia de resposta.
- *Informação sobre as condições ambientais* – Sistemas de recolha de informação sobre as condições atmosféricas exteriores para alimentar os sistemas interiores, de gestão e de aprendizagem, registando o ritmo e a repetição periódica dessas condições exteriores.
- *Iluminação reactiva* – Sistema da pele do edifício que detecta as condições lumínicas para responder com a activação ou desactivação da iluminação artificial, de acordo com necessidades estabelecidas.
- *Controlo de iluminação e de insolação natural* – Sistema de maximização da transmissão da luz diurna que evita o uso desnecessário de iluminação artificial controlando a posição das protecções solares de acordo com a intensidade da radiação solar ou com as necessidades de iluminação interior. Os algoritmos informáticos facilitam a tarefa de cálculo dos ângulos solares de acordo com a hora do dia, latitude e longitude, permitindo controlar a posição do Sol e as necessidades exactas de sombreamento.

¹⁷⁶ Entende-se aqui por "fachada estratificada" uma fachada composta por várias camadas de materiais intercalados que em conjunto optimizam o desempenho do invólucro do edifício. Esta fachada complexa pode incluir zonas de ventilação ou de sombreamento, permitindo até que algumas sejam amovíveis ou retrácteis.

¹⁷⁷ Wigginton; Harris – *Intelligent skins*, 2002.

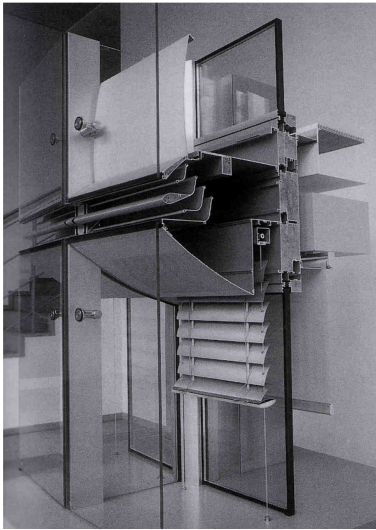


Figura 74 – Modelo à escala real de fachada dupla.

Note-se a integração do controlo ambiental (ventilação e sombreamento).

(fonte: The architectural expression of environmental control systems)

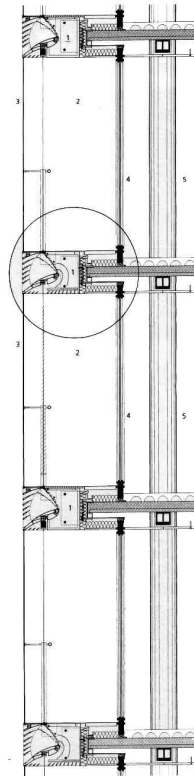


Figura 75 – Fachada dupla ventilada.

Figura 76 – Pormenor de controlo automático BMS da fachada dupla.

Arq.^a Petzinka Pink, Stadtfor, Dusseldorf.

(fonte: Intelligent Skins)

- *Controlo personalizado* – Sistemas em que os ocupantes do edifício têm o controlo do seu ambiente imediato e a utilização de tecnologias inteligentes pode facilitá-lo. O comando dos diversos dispositivos integrados nas envolventes pode ser concentrado num painel de controlo remoto. Em situações em que o controlo individual comprometa o conforto geral e as estratégias de controlo energético, o BMS terá que avisar o ocupante da situação de erro.
- *Auto-geração de electricidade* – Sistema que pode conceder autonomia energética ao edifício com a integração e controlo de sistemas activos de conversão de energias renováveis que permitem

que o edifício use recursos renováveis disponíveis localmente nas actividades que decorrem no seu interior e no próprio sistema de controlo ambiental.

- *Controlo de ventilação* – Sistemas que combinam vários elementos do edifício, como coberturas retrácteis, vãos motorizados ou válvulas, que podem controlar a ventilação ao serem activados por sensores de presença, temperatura, humidade e qualidade do ar. Estes sistemas estão ligados às condutas do sistema de renovação de ar.
- *Arrefecimento* – Sistema de arrefecimento passivo do edifício, utilizando por exemplo as trocas de calor com o solo ou águas subterrâneas, que pode ser programado de forma a ser activado de noite, quando é mais eficiente ou quando serve de pré-arrefecimento da massa térmica.
- *Aquecimento e controlo de temperatura* – Sistema de minimização das perdas energéticas e maximização da utilização de estratégias solares passivas implantado nas envolventes inteligentes.

Habitacões de baixo consumo energético

O desempenho energético em habitacões na Europa tem sido alvo de preocupacões da Uniao Europeia e dos seus Estados Membros. Nos paisés do Norte e Centro da Europa esta preocupacão conduziu à definicão de vários tipos de habitacões de elevado desempenho energético, designadamente:

- Habitacões de baixo consumo energético (*low energy house*)
- Habitacões passivas (*passive house*)
- Habitacões de consumo nulo de energia (*zero energy house*)
- Habitacões de producao extra de energia (*e-plus house*)

Estes tipos são determinados pelos valores de consumo de energia por metro quadrado (kWh/m²), mas estes valores de referéncia variam conforme os climas. Uma casa passiva na Alemanha consome 15 kWh/m² ano, mas a mesma casa consumiria 0 kWh/m² ano em Portugal. A média desejada para Portugal, em boas situacões climáticas urbanas, é de 13 a 15 kWh/m² ano¹⁷⁸, enquanto o máximo permitido na Alemanha é de 70 kWh/m² ano.

Em Portugal existem habitacões de consumo nulo, pois em determinadas zonas são reduzidas as necessidades de aquecimento de Inverno e as necessidades de arrefecimento no Verão são satisfeitas de forma passiva (Figura 77). Contudo esta situacão é minoritária e a grande maioria das habitacões são grandes consumidoras de energia.

Os conceitos de habitacão passiva e de baixo consumo energético estão a ser transpostos para a concepcao de habitacão nova e para a reabilitacão do parque habitacional em Portugal, em parte pela nova regulamentacão térmica dos edifícios.

¹⁷⁸ Consideram-se boas situacões climáticas urbanas as onde não ocorrem fenómenos extremos, como ventos de Norte ou exposicões a Poente difíceis de sombrear.

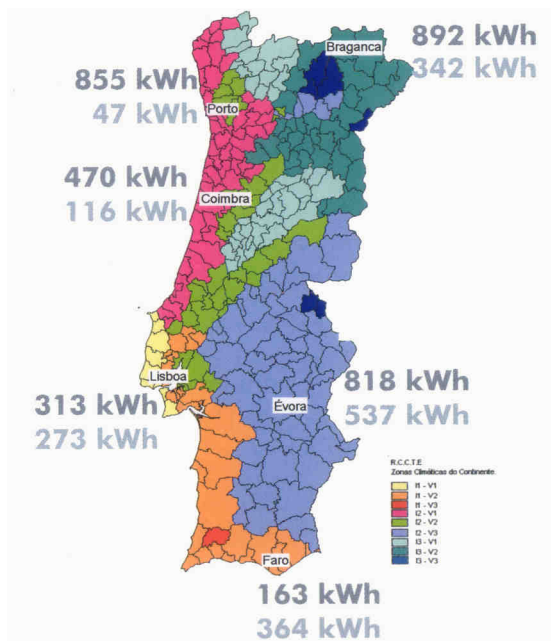


Figura 77 – Estimativa das necessidades anuais de energia para as habitações em Portugal.

Necessidades de Inverno a cinza escuro e de Verão a cinza claro. As necessidades de aquecimento (Inverno) diminuem do Norte para o Sul e do interior para o Litoral, e as de arrefecimento (Verão) aumentam do Norte para o Sul e do litoral para o interior. O valor médio obtido para as necessidades de aquecimento de uma habitação é de 554 kWh e para arrefecimento de 205 kWh, o que corresponde a 5,4 kWh/ m² e 2,0 kWh/ m² respectivamente.

(fonte: Programa ACLURE INETI/FCT)

Na Alemanha define-se que as habitações passivas têm necessidades nominais de energia para climatização de 55 a 65 kWh/m²/ano. A comparação de valores de desempenho energético em kWh/m²/ano deve ter em atenção se este consumo é apenas relativo ao aquecimento ou se também inclui a ventilação e arrefecimento.

Em Portugal é possível encontrar habitações em Lisboa que não foram concebidas com a preocupação específica de serem de baixo consumo energético, com orientação Norte/Sul em lotes com profundidade dupla da largura, com necessidades nominais de energia de apenas 13,7 kWh/m²/ano¹⁷⁹.

Em qualquer tipo de habitação de bom desempenho energético é essencial o estudo aprofundado e rigoroso da orientação, seja qual for a situação geográfica e climática, estudando as variantes à orientação recomendada a Norte-Sul (Figura 78).

Em climas amenos a definição de estratégias de ventilação natural e de sombreamento, bem como a introdução de espaços de transição para arrefecimento, são fundamentais para se conseguir consumos nulos na climatização do espaço.

As habitações de baixo consumo energético, ou *low energy houses* (LEH), estão vulgarizadas no Centro e no Norte da Europa onde podem ser construídas sem custos acrescidos e sem recorrer a tecnologias da construção de excepção. A minimização dos consumos consegue-se mesmo em habitações não orientadas a Sul, e a maior parte das LEH não se distinguem visualmente de outro tipo de habitações. As características que conferem a estas habitações um desempenho energético acima da média são o reforço do isolamento, o controlo das pontes térmicas e a utilização de ganhos solares.

¹⁷⁹ Gonçalves (et al.) – Ambiente construído clima urbano e utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa, 2004.

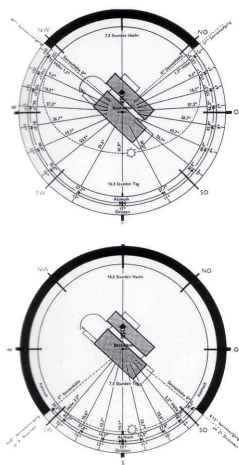


Figura 78 – Low Energy House com orientação Nordeste-Sudoeste.

Arq.^{os} Kilian + Hagmann, Estugarda, 1993-1994.

Foi determinante para este projecto a localização numa encosta a Poente e o objectivo de baixo consumo energético, muito baixo devido ao valor U (ou K) médio das envolventes inferior a 0,3 W/m²K.

(fonte: Solar Energy in Architecture and urban Planning)

As habitações passivas são um aprofundamento do conceito de habitações de baixo consumo energético, que implica custos de construção mais significativos, sobretudo nos países mais frios. De acordo com a experiência de Kronsberg, esta opção implica um custo acrescido de 7% que é reembolsado num período de 20 anos através das economias feitas no consumo de energia da rede¹⁸⁰. As habitações passivas possuem as mesmas características que as LEH, mas exigem-se desempenhos mais elevados: o nível de isolamento é superior; há uma preocupação maior com a inércia térmica garantida sobretudo pelos pavimentos; e, a utilização de ganhos solares é maior, sendo obrigatória a orientação a Sul.

Na Alemanha as necessidades nominais de energia de habitações passivas estão entre 10 e 15 kWh/m²/ano (Figura 79), mas em Portugal uma habitação passiva com soluções para aquecimento e para arrefecimento pode chegar a necessidades nominais nulas. Quando complementadas pela instalação extensiva de painéis fotovoltaicos, as habitações passivas podem não só ser habitações de consumo nulo (*zero energy houses*), mas chegar mesmo a ser de produção extra de energia (*e-plus houses*), ou seja, habitações que produzem mais energia do que a que necessitam (Figura 80). Estas habitações devem estar ligadas a uma rede para onde possam descarregar o excedente de energia produzido.

¹⁸⁰ Entrevista com Karin Engelke, habitante do bairro de Kronsberg, Hanôver, 2004.



Figura 79 – Habitações passivas.
Arq.º Rolf Disch, Kronsberg (Hanôver).



Figura 80 – Habitações e-plus.
Arq.º Rolf Disch, Bairro Vauban (Friburgo).

4.3 Materiais

4.3.1 Introdução: Selecção de materiais

A escolha dos materiais de construção e das suas formas de aplicação é determinante para o desempenho ambiental de uma habitação, de um edifício ou de uma área residencial.

Os materiais incorporados na construção são geralmente divididos em materiais naturais, artificiais e sintéticos, consoante a sua origem e o tipo de processamento. Esta divisão, contudo, é insuficiente para guiar uma selecção de materiais adequada à construção de habitação ambientalmente sustentável, como se verá em seguida. Na realidade não existem materiais sustentáveis, mas sim formas sustentáveis de os utilizar na construção.

Os efeitos ambientais dos materiais de construção dependem do seu desempenho, ao longo das principais etapas do seu ciclo de vida:

- a produção (extracção, fabrico, transporte e aplicação na construção);
- o uso (contacto, desgaste, manutenção e função construtiva);
- o destino final quando esgotado o tempo de vida do material (demolição, reciclagem, etc.).

A especificação "ecológica" de materiais é um processo complexo, onde não chega privilegiar materiais locais, reciclados, ou de baixa energia incorporada. Cada decisão de projecto envolve um compromisso ambiental, exigindo que o projectista avalie e compare soluções ao nível dos seus impactes durante o seu ciclo de vida¹⁸¹.

Materiais estruturais

Não existe à partida um material estrutural ecológico, mas uma escolha informada dos componentes mais adequados à localização, função e uso favorece o desempenho da estrutura do edifício. Os materiais naturais são geralmente considerados menos eficientes em funções estruturais; contudo, vários exemplos concretos e a investigação sobre propriedades estruturais de materiais naturais contrariam esta ideia¹⁸². Os materiais estruturais mais utilizados (betão, aço, madeira¹⁸³) têm impactes ambientais muito diversos, podendo ser apontadas as seguintes recomendações gerais para a sua utilização:

- limitar o uso de betão é fundamental uma vez que o ciclo de vida deste material provoca desequilíbrios ecológicos (consumos energéticos na produção de cimento, diminuição do transporte de sedimentos nos rios e aumento da erosão costeira associados à extracção de areias);
- substituir parcialmente o cimento por pozolanas ou outros produtos com menores necessidades energéticas é uma solução para o aumento da economia, durabilidade e ecologia da construção de betão;
- utilizar e reutilizar o aço é uma opção interessante pois embora o seu fabrico implique elevados consumos energéticos a sua reutilização é possível porque as suas durabilidade e adaptabilidade (desmontagem e remontagem) são muito elevadas;
- A madeira é um material estrutural relevante como alternativa ecológica dada a sua renovabilidade e o contributo da sua produção para o restabelecimento do ciclo do carbono, mas a sua exploração deve ser racional e sustentada, assegurando a reposição das árvores abatidas e tendo em conta a gestão sustentável das áreas florestais.

Existem ainda materiais estruturais menos comuns que podem ter um bom desempenho ambiental, como, por exemplo: a pedra; a terra estabilizada ou compactada (em estruturas contínuas com limitações de altura); os fardos de palha (em zonas com percentagens muito baixas de humidade); as colunas de bambu; ou ainda placas de plásticos reciclados de alta resistência, cuja utilização representa uma mais-valia ambiental.

¹⁸¹ Spiegel; Meadows – Green building materials, a guide to product selection and specification, 2000.

¹⁸² Elizabeth; Adams – Alternative construction, contemporary natural building methods, 2000.

¹⁸³ A pedra foi um material estrutural muito utilizado no passado, mas actualmente foi substituída por outros materiais.

Materiais de preenchimento e acabamento

A selecção de materiais de construção não estruturais é também determinante no desempenho ecológico e energético do edifício, devendo responder a exigências de reduzida energia incorporada (Tabela 6) e minimização de outros impactes ambientais no ciclo de vida; elevada resistência mecânica; durabilidade; contributos para a saúde e qualidade do ambiente interior; e elevada eficiência energética no uso dos espaços construídos.

Para melhorar o desempenho ecológico do edifício ao nível da construção, a reincorporação de carbono ou resíduos limpos nos próprios materiais é uma forma de contrabalançar as emissões prejudiciais da construção.

Para garantir o elevado desempenho energético durante o uso do edifício a construir, a capacidade de isolamento e de inércia térmica dos materiais de preenchimento e acabamento são os factores mais significativos.

Tabela 6 – Energia absorvida no fabrico de diferentes materiais de construção.

(fonte: Lawson cit in K. Yeang, El Rascacielos ecológico)

Material de construção	Energia incorporada no fabrico, incluindo transporte MJ/kg
Madeira dura seca ao ar	0,5
Terra estabilizada	0,7
Blocos de betão	1,4
Betão in situ	1,7
Painéis de betão pré-fabricado	1,9
Madeira dura seca em estufa	2,0
Mosaico cerâmico (de argila)	2,5
Madeira branda seca em estufa	3,4
Gesso cartonado	4,4
Cimento	5,6
Granito local	5,9
Fibrocimento	7,6
Painel de aglomerado de madeira	8,0
Madeira lamelada colada	11,0
Vidro	12,7
Granito importado	13,9
Painel de contraplacado	24,1
Aço	34,0
Ferro galvanizado	38,0
Zinco	51,0
Tinta acrílica	61,5
PVC	80,0
Plásticos em geral	90,0
Cobre	100,0
Borracha sintética	110,0
Alumínio	170,0

Métodos

A selecção ecológica de materiais construtivos exige uma visão global do uso dos recursos água, energia, materiais, resíduos, solo, espaço, património e biodiversidade; no entanto, não se deve basear apenas em factores de desempenho ambiental, mas também em critérios de resistência mecânica e de integração arquitectónica¹⁸⁴.

A análise do desempenho ambiental deve ser feita com base em metodologias específicas e, durante o processo de projecto, é essencial a consulta de informação técnica actualizada para a tomada de decisões referentes à escolha dos materiais de construção. Quando esta informação técnica não está disponível é necessário um trabalho suplementar de investigação por parte do projectista. Um instrumento auxiliar desta selecção são as listas comparativas como as do método Environmental Performance Measurement (EPM)¹⁸⁵, que disponibiliza uma ordenação em permanente actualização (um *ranking*) dos materiais preferenciais disponíveis no mercado, listando-os de acordo com o seu impacte ambiental e incluindo notas sobre as características de cada material. O EPM constitui um manual de consulta rápida, mas não se adequa totalmente às características da construção em Portugal e não inclui todos os materiais disponíveis.

Outro instrumento auxiliar é a base de dados do *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya* (ITEC)¹⁸⁶ produzida em Espanha, mais completa e mais próxima da realidade nacional e que começa a ser utilizada em Portugal por investigadores e projectistas.

4.3.2 Materiais naturais

Os materiais naturais disponíveis localmente, mesmo tendo características diferentes em cada região do mundo, são os mais adequados à produção de um edifício sustentável, em grande medida devido aos reduzidos custos de transporte que implicam. Contudo, a sua utilização só será ecologicamente eficiente se também tiver em conta factores de durabilidade, segurança, eficiência, conforto e saúde nos edifícios.

À medida que as preocupações pela saúde e pela sustentabilidade em edifícios e áreas residenciais convergem¹⁸⁷, emerge uma nova geração de materiais de origem natural e de técnicas de construção com menor impacte ambiental, que atraem aqueles que procuram viver de forma mais saudável e em equilíbrio com a natureza¹⁸⁸.

Esta abordagem à construção consiste não só num conjunto de técnicas mas também num movimento cultural, em parte direccionado para a redescoberta da construção tradicional e sua utilização na satisfação das necessidades da sociedade actual. Deste modo, o retorno à construção

¹⁸⁴ ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

¹⁸⁵ Anink; Boonstra; Mark – Handbook of sustainable building, An environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment, 1996.

¹⁸⁶ URL: <http://www.itec.es>.

¹⁸⁷ Barton (et. al) – Shaping neighbourhoods. A guide for health, sustainability and vitality. Londres: Spon Press, 2003.

¹⁸⁸ Edwards; Hyett – Guía básica de la sostenibilidad, 2004.

com materiais naturais tem criado espaço para o estudo e aplicação de métodos tradicionais e alternativos que respondem às preocupações ambientais generalizadas e que permitiu a emergência de um sector da “construção natural”.

A “construção natural” deixou de estar associada à pobreza, tendo sido demonstrado que utiliza os recursos naturais disponíveis de forma mais eficiente do que a construção corrente e que o valor das tecnologias regionais é relevante não só ao nível do desempenho técnico, mas também no que respeita à expressão arquitectónica.

Alguns especialistas da “construção natural” defendem que nenhum material pode alcançar plenamente o seu desempenho ambiental potencial se não estiver combinado com estratégias solares passivas e de arrefecimento natural dos edifícios. Outros defendem que o aspecto fundamental é que o material esteja integrado num sistema construtivo adequado. Na realidade, o material em si não é condição bastante para a sustentabilidade de um edifício e igualmente relevantes são as tecnologias da sua utilização, geralmente em conjunto com outros materiais, bem como as tecnologias de gestão do seu ciclo de vida.

Terra

Desde há cerca de 10 mil anos que a terra é um dos principais materiais de construção utilizados. A terra serviu para construir habitações urbanas e rurais, mas foi também utilizada para erguer monumentos como aquedutos, zigurates, mosteiros, igrejas ou mesquitas. Actualmente, mais de um terço da população do nosso planeta vive em habitações de terra¹⁸⁹.

Para além das vantagens económicas, sociais, técnicas e ecológicas, o material "terra" tem um interesse cultural e arquitectónico, pois a diversidade das arquitecturas e dos modos de construção que permite é uma via preferencial contra a uniformização cultural que domina o mundo da construção desde o século XX.

A construção em terra não transtorna nem esgota os ecossistemas, pois o material (à base de argila e sedimentos calcários) abunda e pode ser recolhido no próprio local das construções, preservando o solo fértil que o recobre, impróprio para ser utilizado na construção.

A utilização da terra na construção apresenta as seguintes vantagens ambientais:

- origem natural;
- disponível em grande quantidade;
- disponível num grande número de locais;
- não requer transporte;
- impacte ambiental de utilização quase nulo;
- fácil extracção;

¹⁸⁹ A informação apresentada neste ponto resulta da síntese dos seguintes documentos:

ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001;
Dethier - Arquitecturas de terra, Trunfos e potencialidades de um material desconhecido, 1993;
Elizabeth; Adams – Alternative construction, contemporary natural building methods, 2000.

- grande durabilidade se adequadamente aplicada;
- impacte ambiental de deposição natural praticamente nulo;
- elevada capacidade de isolamento acústico;
- elevada inércia térmica;
- elevado equilíbrio higro-térmico, regulando temperatura e humidade;
- economias de energia na produção;
- economias de energia na utilização (em aquecimento e climatização);
- facilidade de auto-construção e de construção evolutiva.

A construção em terra apresenta os seguintes inconvenientes:

- a maior parte dos processos construtivos são intensivos em tempo e trabalho;
- a terra para construção pode ter de ser estabilizada com produtos artificiais;
- apresenta grande vulnerabilidade à acção da água em caso de protecção insuficiente;
- tem fraca resistência sísmica, quando utilizada sem qualquer reforço estrutural.

Os principais cuidados a ter na utilização da terra na construção são os seguintes:

- o material orgânico existente na camada superior do solo não é adequado para a construção e deve ser separado;
- a adequabilidade da terra para construção depende da natureza da mistura natural entre os cascalhos, areias, lodos e argilas que a compõem;
- a qualidade e a quantidade da água utilizada são determinantes para os resultados finais;
- a terra para construção, na maior parte das técnicas disponíveis, tem de ser compactada mecânica ou manualmente.

Os solos que são utilizados nas aplicações construtivas pertencem a quatro grupos básicos:

- solos argilosos (só utilizáveis com percentagens de argila até aos 30%);
- solos arenosos (de granulometria fina e com elevada percentagem de quartzo);
- godos ou cascalhos (só utilizáveis quando os inertes são pequenos e quando a argila é suficiente);
- lamas ou aluviões (também argilosos mas menos resistentes à humidade, exigindo estabilização);
- solos orgânicos (que se distinguem pela cor e pelo PH inferior a 5,5 e que podem ser cultivados).

Podem-se adicionar aos solos utilizados aditivos naturais ou artificiais que corrigem e melhoram: as propriedades mecânicas, como a cal, a gravilha ou o cimento; ou o desempenho térmico, como a cortiça e a palha.

A terra pode ser aplicada na construção de diferentes formas: crua, cozida, ou orgânica. A terra para utilização em cru deve ter uma baixa percentagem de argila, ao contrário da terra que será cozida, mas ambas são extraídas do solo a partir de uma camada inferior à da terra orgânica que existe à superfície, com uma consistência mais macia e uma cor mais escura. Nas coberturas e superfícies

ajardinadas deve-se utilizar a terra orgânica, que permitirá o desenvolvimento de vegetação, mas este tipo de terra nunca deve ser utilizada como elemento portante na construção.

A elevada inércia térmica está presente nas aplicações de terra crua, de terra argilosa cozida ou com terra orgânica, mas é mais significativa nos dois primeiros casos. Nas três situações, os valores de isolamento térmico não são muito elevados, pois a terra actua mais como retardador das trocas de calor do que como isolante. Deste modo, é geralmente colocado isolamento complementar pelo exterior, sobretudo nos paramentos do edifício virados a Norte. A construção de terra, em qualquer das suas diferentes aplicações (terra crua, cozida ou orgânica), proporciona elevado isolamento acústico.

Nos itens seguintes descrevem-se as diferentes formas de aplicação da terra na construção.

Terra crua

A terra crua aplicada na construção deve ser cuidadosamente escolhida em função da sua composição. Na sua aplicação devem ser previstas formas de protecção contra a acção erosiva da água nas coberturas e alicerces (recorrendo por exemplo a produtos betuminosos hidrófugos). A drenagem das zonas contíguas às paredes deve ser garantida, mas a utilização da terra crua não está confinada às regiões de fraca pluviosidade.

A terra crua é caracterizada pelas suas granulometria, plasticidade, compressibilidade e coesão. Os cascalhos e areias que a compõem não oferecem, por si só, coesão e necessitam de ser estabilizados por um composto, natural ou artificial, que desempenha o mesmo papel que o cimento no betão, e que é geralmente cal ou argila. A argila, contudo, é um material instável perante as alterações higrométricas e a sua presença em grande quantidade num material pode provocar patologias graves na construção; na terra crua compactada pequenas quantidades de argila são suficientes para dotar o material, depois de seco, de uma estabilidade duradoura.

Por todo o mundo podem ser ainda hoje encontrados mais de vinte métodos tradicionais de construção que utilizam a terra crua¹⁹⁰; com aplicação na arquitectura contemporânea destacam-se os seguintes métodos:

- Taipa – paredes monolíticas erguidas com moldes laterais e compactadas manualmente;
- PISE ("Pneumatically Impacted Stabilized Earth") – terra projectada pneumaticamente;
- Adobe – tijolos de terra crua moldados, secos ao Sol e utilizados em alvenaria;
- BTC ("blocos de terra compactada") – tijolos de terra crua e cal, compactados mecanicamente;
- Tabique (também chamado pau a pique ou enxaimé) – estrutura de madeira revestida ou preenchida por terra aplicada manualmente;
- "Cob" – blocos amorfos de terra e palha moldados manualmente;
- Terra contida em módulos – sacos, pneus ou outros contentores cheios com terra crua.

¹⁹⁰ CRATERRE URL: <http://terre.grenoble.archi.fr/accueil.php>.

Taipa

A taipa é um dos métodos construtivos com terra crua mais utilizados e é hoje considerado um dos mais económicos (Figura 81)¹⁹¹. O método baseia-se nos seguintes procedimentos:

- selecção de uma terra muito arenosa (70% de areia), rica em pedras e cascalho mas pouco argilosa (10% a 20% de argila);
- extracção e arejamento da terra;
- deposição da terra num molde constituído por dois taipais laterais, onde é prensada com a sua humidade natural ou com a adição de água;
- compactação da terra nos taipais por camadas sucessivas (depois de concluída a última camada, os taipais podem ser imediatamente retirados);
- as fases seguintes da construção podem prosseguir imediatamente, dado que o endurecimento da taipa por secagem não requer paragem de obra.

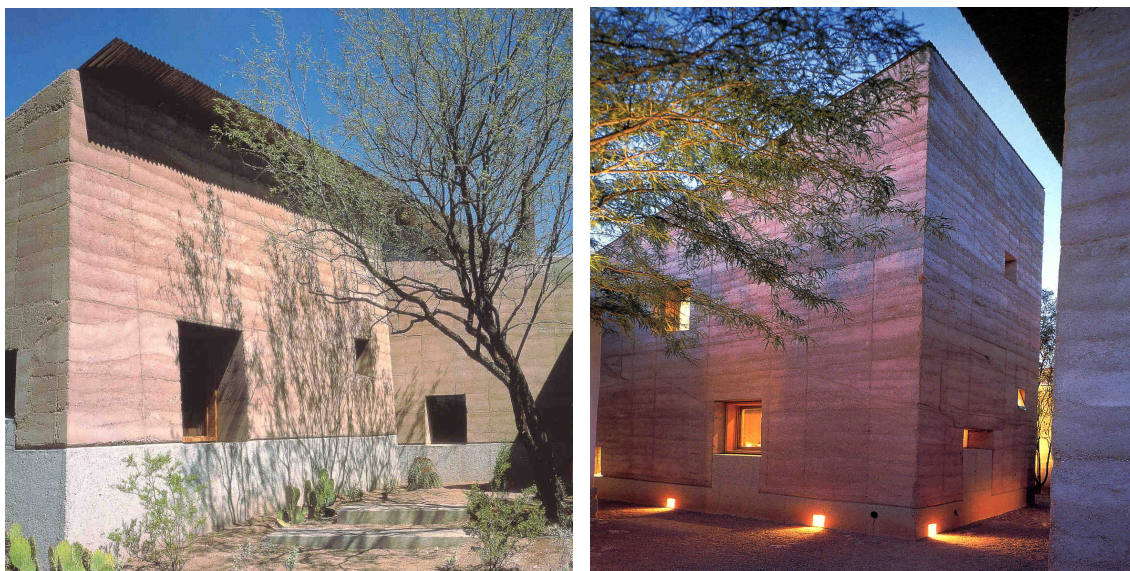


Figura 81 – Construção em taipa à vista.

Arq.º Rick Joy (fonte: Desert Works)

Os factores críticos da construção em taipa consistem na composição e humidade do solo e no nível de compactação das várias camadas. O solo mesmo tendo uma composição aparentemente ideal deve ser testado, pois a sua variabilidade de desempenho é grande e só testando se pode aferir quais as correcções necessárias. A humidade do solo pode ser aferida antes da aplicação à medida que se vai juntando água, através da avaliação da consistência e resistência da amostra. Quando a terra se esboroa necessita de mais água, quando se mantém coesa e se parte quando atirada ao chão o nível

¹⁹¹ II Seminário "Arquitectura de terra em Portugal", Setembro 2004 - Embora alguns estudos de viabilidade económica considerem a taipa dispendiosa pela mão-de-obra que exige, na prática alguns profissionais defendem que esta opção torna-se mais económica por não ser necessário adquirir os produtos pré confeccionados (adobe ou BTC) cujos custos são ainda elevados.

de humidade é o adequado. Se durante este teste a amostra mantiver a sua forma, a humidade é excessiva e a terra a utilizar deve secar antes de se colocar nos taipais.

Os métodos manuais de construção com taipa são hoje ainda utilizados em muitas partes do mundo e em diferentes zonas climáticas, mas a taipa manual é um processo construtivo que exige tempo e trabalho intensivo e cujo sucesso depende da experiência dos taapeiros, pois muitas decisões e medições são tomadas empiricamente, baseadas num conhecimento transmitido oralmente ou por observação. Em Portugal é sobretudo em habitações rurais (Figura 82) ou em reabilitação de habitações antigas que se utiliza este método de construção.

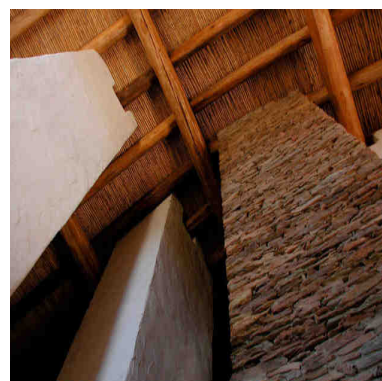


Figura 82 – Edifício de habitação unifamiliar em taipa, pedra e madeira.

(fonte: Miguel Peixinho)

Desde que o potencial da construção em terra foi revalorizado, a partir dos anos 70, têm sido desenvolvidos sistemas mais sofisticados e industrializados para a sua aplicação (Figura 83). Contudo, o uso contemporâneo da taipa, sobretudo na habitação, é ainda afectado pelo facto de não constituir um processo rápido de construção. As paredes de taipa de um edifício de habitação unifamiliar demoram pelo menos três semanas a erguer¹⁹², competindo dificilmente com os sistemas pré-fabricados de madeira ou com os painéis de gesso cartonado prontos a aplicar (soluções de construção rápida mas que oferecem valores inadequados de massa para a retenção de ganhos térmicos na habitação).

De acordo com alguns profissionais experimentados, para a taipa ter um lugar no mercado da construção de habitação é necessário que o preço dos materiais de construção correntes integre custos ambientais, e que os processos de construção com terra monolítica se tornem mais rápidos e eficientes. Uma vez que a integração de custos ambientais é um processo político moroso, tem sido na aceleração do processo de compactação e na pré-fabricação da taipa, que se tem investido para promover este material natural.

Estão disponíveis produtos naturais para o reforço da resistência, isolamento e impermeabilização da construção em terra crua, bem como equipamentos que permitem agilizar os processos construtivos.

¹⁹² Elizabeth; Adams – Alternative construction, contemporary natural building methods, 2000.

Estão também em curso aperfeiçoamentos que visam conceber sistemas de construção que permitam fazer face ao risco sísmico.

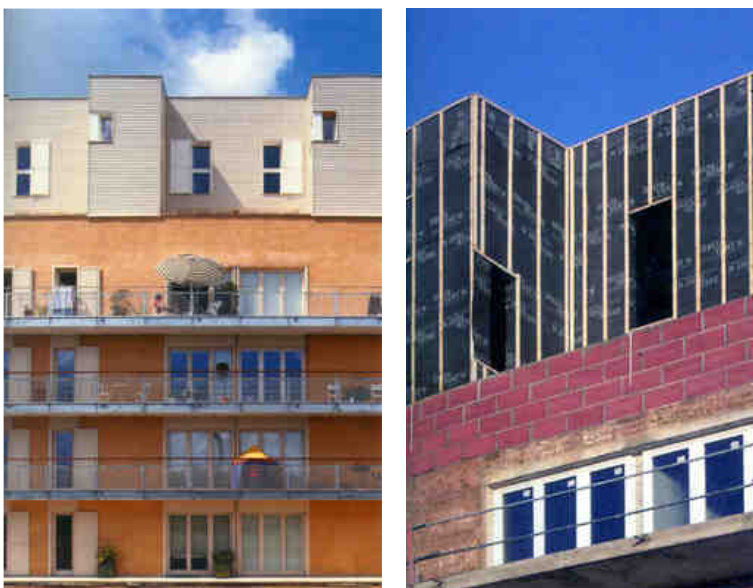


Figura 83 – Construção contemporânea com a aplicação de taipa.

(fonte: www.unige.ch/cuepe/idea)

PISE

Desde há duas décadas que têm sido feitas investigações e testes sobre compactação pneumática da taipa e a sua aplicação por projecção, recorrendo a tecnologias também usadas para o betão. Tem-se procurado apurar a constituição da mistura de terra utilizada, os sistemas de cofragem e de vibração e as soluções para os acabamentos e para os vãos. Depois do sucesso de vários projectos-piloto, o PISE (que retoma o nome tradicional deste tipo de construção) é já um sistema com um lugar no mercado da construção de habitação nos países da Europa Central, nomeadamente na Áustria.

Esta técnica construtiva é um aperfeiçoamento da taipa tradicional que procura tornar mais rápido o processo construtivo de paredes monolíticas em terra e reduzir as exigências de trabalho manual. No PISE o ar comprimido é utilizado para conduzir e compactar a terra contra uma cofragem unilateral (num processo semelhante ao do betão projectado) facilitando as tarefas de moldagem e de compactação. Depois da projecção da terra contra o molde, através de mangueiras, o material em excesso é retirado e a parede é alisada, podendo não requerer qualquer tratamento superficial. Esta tecnologia é bastante mais dispendiosa do que a taipa manual e exige equipamentos específicos, não sendo a mais apropriada para a auto-construção.

Adobe

Das várias soluções disponíveis para a terra crua, o adobe é a de utilização mais fácil por constituir uma construção em alvenaria modular, de pequena dimensão e de rápida aplicação e produção. Produzir tijolos de adobe consome apenas 1% da energia necessária para a produção de tijolos cozidos ou de blocos de cimento (Figura 84). O adobe utiliza de preferência terra bastante argilosa

(30% de argila) mas muito arenosa, à qual se junta água até à obtenção duma pasta semi-dura (15 a 30% de água) que é modelada à mão ou preparada num molde e depois seca ao Sol.

Este material constitui a base de toda a arquitectura mesopotâmica e foi adoptado pelas tradições tanto hispânicas e islâmicas, como helénicas e romanas, abundando também na arquitectura popular portuguesa (Figura 85). A construção em adobe no lémen combina tijolos de várias dimensões conseguindo erguer paredes de grande altura e alcançando mais de 10 pisos.

O adobe contribui para a obtenção de elevados níveis de conforto ambiental passivo devido à sua capacidade de moderar as amplitudes térmicas diurnas e sazonais. Os pavimentos e tectos abobadados de adobe podem ter um papel decisivo na melhoria do desempenho térmico, ao aumentar a massa disponível para absorção de calor e retenção de ganhos solares.

A qualidade de um sistema construtivo em adobe, assegurando elevados níveis de conforto e segurança, depende não só da qualidade da terra utilizada, mas também, do tipo de ligantes, das fundações e do isolamento adicionado. Os ligantes naturais mais utilizados são a areia e a palha. Os ligantes artificiais, como a cal, o cimento ou as emulsões de asfalto, tornam as paredes de adobe muito resistentes a insectos, outros animais e ao fogo e aumentam a sua durabilidade, contudo alguns dificultam, ou anulam, a sua biodegradabilidade. As fundações de pedra ou gravilha são as mais utilizadas, sendo a gravilha a mais indicada para zonas sísmicas.

No que diz respeito ao isolamento térmico do adobe, estão disponíveis materiais à base de canas, de palha, de subprodutos da madeira, de cortiça ou de fibras vegetais, geralmente revestidos a argila e aplicados directamente sobre a parede de terra. Alguns destes materiais podem isolar sem eliminar a expressão táctil da construção em terra.



Figura 84 – Tijolos de adobe a secar.

(fonte: www.planob.com)

Figura 85 – Tijolos de adobe aplicados em parede rebocada.

(fonte: Manuela Fazenda)

O adobe em Portugal tem já vários produtores, alguns dos quais estão a investir na sua diversificação, produzindo adobes leves com a incorporação de palha ou cortiça (conseguindo maior isolamento térmico) e sistemas construtivos mistos com estrutura em madeira e enchimento e revestimento em adobe¹⁹³.

BTC

O bloco de terra prensada ou compactada (BTC ou CEB) é uma versão moderna do adobe, empregando terra pouco húmida, argilosa, sem cascalho e arenosa (com 11% até 25% de argila) que é prensada mecanicamente (Figura 86). Os BTC podem ser constituídos apenas de terra (não estabilizados) ou ter a adição de uma reduzida percentagem de ligante para estabilização, geralmente cal na ordem dos 6% a 10% ou cimento na ordem dos 3% a 6%.

Os BTC estabilizados com cal hidráulica não se coadunam com elementos estruturais de betão, devendo ser conjugados com a madeira¹⁹⁴. No caso de se pretender utilizar elementos de betão, deverá usar-se BTC estabilizado com cimento. Contudo, as alvenarias de BTC são autoportantes e têm uma boa resistência sísmica, pelo que geralmente a sua utilização não requer estruturas de betão.

Na produção de BTC começou recentemente a recorrer-se a processos de densificação da terra por vibração, semelhantes aos da construção em betão, que são depois finalizados por uma ligeira compressão. Em Portugal este tipo de BTC é um produto já comercializado, embora com um custo superior ao do adobe. Este material permite um acabamento da construção mais perfeito e liso do que o adobe devido à elevada qualidade das alvenarias.



Figura 86 – Fabrico de Blocos de Terra Compactada.
(fonte: Alternative Construction)

Tabique e Cob

O tabique, "taipa de pau a pique" ou "enxaimel", é um sistema construtivo onde a terra, bastante argilosa e abundantemente misturada com palha ou com outras fibras vegetais locais, é utilizada como

¹⁹³ No Algarve produz-se actualmente adobe em série e fabrica adobe com palha e com cortiça, existindo protótipos de aplicação de construção com madeira e adobes leves.

¹⁹⁴ Alguns fabricantes portugueses de BTC defendem esta posição recomendando o uso da fundação progressiva com uma transição gradual de blocos estabilizados com cimento para blocos sem aditivos.

guarnição de estruturas de suporte em madeira. Esta massa é aplicada sobre ripas entaladas entre os pilares da ossatura da construção. O tabique tem, em relação ao adobe e à taipa, a vantagem de incorporar um isolante térmico natural, a palha, combinando inércia e isolamento térmico.

O *Cob* é uma variante simplificada do tabique, em que uma terra bastante plástica, obtida adicionando água e amassando com palha, é modelada em bolas sucessivamente amontoadas e comprimidas sem estrutura de suporte, constituindo paredes monolíticas. Este tipo de construção, embora primitivo, pode originar arquiteturas monumentais e tem exemplos em todo o mundo. Em Inglaterra, a construção em *Cob* tem uma longa tradição, estando inclusivamente presente em edifícios de dois pisos. O principal problema do *Cob*, que se aplica também em tabique, é o da absorção de humidade e consequente apodrecimento da palha e enfraquecimento da parede. Este problema é geralmente resolvido pelo desenho cuidado da cobertura, das fundações e do embasamento, e pelo revestimento com argamassas porosas.

Terra contida em módulos

Este é um material de construção alternativo, pouco utilizado na Europa, mas muito explorado recentemente nos Estados Unidos, sobretudo em construções de emergência e em auto-construção (Figura 87).

Este sistema construtivo de baixo custo consiste simplesmente na utilização de terra (ou areia) dentro de sacos. Embora de aplicação limitada, este sistema é muito económico e simples e adequa-se sobretudo a regiões onde não há argila nem madeira, ou em situações após catástrofe onde é necessária construção rápida. Para além destas características vantajosas, o sistema da terra contida em módulos apresenta uma grande liberdade formal, uma vez que os sacos podem ser dispostos de forma rectilínea ou curvilínea, dada a sua flexibilidade. Os contentores modulares da terra podem ser sacos de diversas formas, ou mesmo pneus de borracha, dando uma utilidade construtiva a um material cuja deposição ou queima constitui um problema ambiental grave.

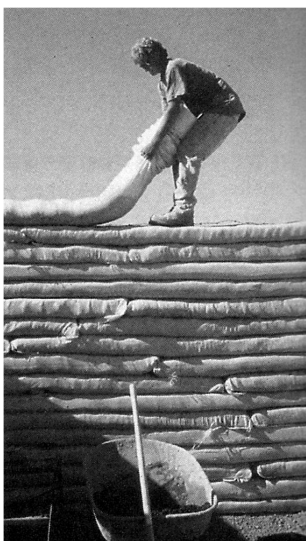


Figura 87 – Terra contida em módulos.

Auto-construção, Califórnia.

(fonte: Alternative Construction)

A investigação sobre a construção em terra crua concentra-se actualmente em dois locais principais: o laboratório de construção experimental da Universidade de Kassel (Gernot Minke), e o Centro Internacional de Construção em Terra de Grenoble (CRATerre). O trabalho de investigação de Gernot Minke envolve não só a análise da resistência física e estrutural de diferentes terras, mas também a adição de materiais porosos para reduzir a condutibilidade térmica da terra e assim aumentar a sua capacidade de isolamento térmico¹⁹⁵.

No mundo em vias de desenvolvimento a construção em terra crua tem um elevado potencial de aplicação, pois em determinados contextos sociais a empregabilidade de mão-de-obra numerosa pode constituir não um inconveniente mas uma vantagem para a comunidade onde os reduzidos níveis de actividade tenham consequências sociais prejudiciais.

Terra cozida

Na terra que se destina a ser cozida as altas temperaturas produzem uma estabilização irreversível, diminuindo as possibilidades de reutilização. Esta terra deve ter uma grande percentagem de argila que o fogo consegue estabilizar. A terra cozida tem necessidades energéticas elevadas, mas muito inferiores às da produção de tijolo convencional e de cimento.

Existe também outro processo redescoberto pelas construções experimentais em terra: o *geltattan*, onde a construção é impregnada com combustível e cozida depois de erguida, ao mesmo tempo que é utilizada como forno de olaria para outras peças, colocadas dentro da construção e que cozem com o calor intenso que ali se produz.

Cerâmicos

Os materiais cerâmicos são produzidos a partir de argila crua, através de processos de cozedura com energia incorporada. Estes materiais são utilizados em grande quantidade na construção, em alvenaria de preenchimento estrutural (tijolo furado), em pavimentos (abobadilhas) e revestimentos (mosaicos). A maior parte destes produtos originados a partir da cozedura da argila têm uma elevada durabilidade e uma inércia térmica relevante, embora não tão elevada como no betão ou como na taipa.

O principal impacto ambiental das cerâmicas é devido ao combustível queimado durante o processo de cozedura. Os tijolos recuperados são uma alternativa que, quando disponível localmente, apresentam também a vantagem de reduzir consumos de energia de transporte.

Termo-argila

Os blocos de termo-argila têm melhor desempenho ambiental do que o tijolo corrente, tanto devido à redução de energia no seu fabrico, como à melhoria do isolamento térmico. Estes blocos constituem um material isolante portante, oferecendo uma alternativa interessante aos materiais isolantes de

¹⁹⁵ Este processo de actualização da construção em terra é semelhante àquele que os produtores de termo-tijolo têm utilizado pois procura conceder à terra propriedades que de forma económica melhorem o desempenho energético destes materiais construtivos durante o uso dos edifícios onde são aplicados.

revestimento. Trata-se de um material mais leve do que o tijolo convencional que integra poliestireno ou argila expandidos, podendo ser aplicado como alvenaria de preenchimento ou como material autoportante. Os blocos de termo-argila com grânulos de poliestireno são os menos ecológicos devido aos impactes ambientais específicos da produção deste material artificial. Existem também blocos deste tipo que integram serradura de madeira, sendo o seu fabrico mais ecológico (pois não implica os consumos energéticos da produção de poliestireno ou de argila expandida) e os seus níveis de inércia térmica, isolamento térmico e isolamento acústico mais elevados¹⁹⁶.

Os blocos de termo-argila são resistentes, incombustíveis, recicláveis e apresentam-se em módulos desenhados para que a montagem da alvenaria requeira quantidades mínimas de argamassa, tornando a construção mais rápida, limpa e económica.

Solo em coberturas

As coberturas verdes ou *ajardinadas* são uma forma de utilização da terra na construção, embora os seus benefícios ambientais sejam diversos dos da utilização da terra como alvenaria. Uma cobertura verde pode ser cultivada com vegetação rasteira, tendo geralmente um mínimo de 20 cm de terra orgânica e uma pendente máxima de 30° para reter água no solo. O valor do isolamento térmico do solo não é muito grande, mas a sua inércia térmica é significativa.

Os benefícios das coberturas verdes são sobretudo ambientais e estéticos, pois a terra cultivada em coberturas contribui para a moderação do clima local, para a disponibilização de espaço verde com actividade biológica, e para a protecção contra o ruído. No que respeita aos consumos de energia no sector doméstico, esta é uma opção com um custo de construção adicional não recuperável por via das economias de energia¹⁹⁷, contudo se tivermos em conta os benefícios na biodiversidade das áreas residenciais, esta é uma opção a valorizar.

A terra e a habitação

Nas regiões em desenvolvimento, incluindo Portugal, onde se pretendem ciclos produtivos rápidos, a tradição da construção em terra desapareceu sendo substituída pela reprodução dos estereótipos tecnológicos e arquitectónicos actuais. Para contrariar esta tendência têm sido criadas associações que tem como objectivo estudar e divulgar a construção em terra¹⁹⁸. Contudo, a construção em terra ainda se depara com vários obstáculos, tais como: a ausência de competências para a produção de habitações em terra; a dificuldade de integração das habitações em terra no mercado imobiliário corrente; a falta de arquitectos especializados e de engenheiros com conhecimentos sobre o cálculo de estabilidade e desempenho térmico dos edifícios em terra; e a ausência de regulamentação específica¹⁹⁹.

¹⁹⁶ URL: <http://www.fornacidimanzano.it>.

¹⁹⁷ ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

¹⁹⁸ URL: <http://www.centrodatterra.org>.

¹⁹⁹ Dethier – Arquitecturas de terra -Trunfos e potencialidades de um material desconhecido, 1993.

À medida que a população mundial se aproxima do limite de capacidade de carga do Planeta²⁰⁰, as exigências de responsabilidade ética e social crescem e é cada vez mais necessário projectar e construir em harmonia com o ambiente, garantindo não só a conservação de recursos, como também a sua distribuição justa. Os sem-abrigo representam um quarto da população mundial. Este problema internacional de habitação, que é também um problema de higiene e de saúde, gera pressões sociais, e pode conduzir a estados de crise.

A construção em terra e com outros materiais naturais e locais é uma solução pertinente para a habitação económica e para a auto-construção. Desde a primeira crise de energia dos anos 70 que alguns autores defendem que a solução para os sem-abrigo dos Estados Unidos reside no recurso à experiência do uso da terra, alertando para o valor das interações recíprocas entre os países em desenvolvimento e os países industrializados, tanto no plano económico e dos sectores tecnológicos ou socioculturais, como no próprio âmbito da habitação para os menos favorecidos²⁰¹.

Fibras vegetais e animais

Este tipo de materiais de origem natural e orgânica são totalmente renováveis, mas têm pouca capacidade de constituir um acabamento final e são mais utilizados em construções mistas (geralmente associados à terra crua).

Entre os materiais construtivos de origem vegetal encontram-se a palha, a celulose, as fibras de coco, o linóleo à base de óleo de semente de linho, ou a soja, utilizada em ligantes. Os materiais de origem animal (ex., lã de ovelha, couro) são menos utilizados.

Palha

A palha pode não parecer um material de construção credível para o futuro da habitação, mas o seu uso tem-se vulgarizado e associado a formas de arquitectura contemporânea. A palha pode ser usada como ligante ou em fardos que funcionam como blocos de alvenaria. Alguns dos primeiros edifícios em alvenaria de fardos de palha, que datam do séc. XIX, estão ainda em bom estado. Este tipo de construção natural beneficiou significativamente com o uso generalizado das ceifeiras debulhadoras e a mecanização do enfardamento da palha.

As principais vantagens da utilização da palha na construção são:

- grande e imediata disponibilidade local (em zonas rurais);
- baixo preço;
- facilidade de auto-construção;
- ausência de impactes ambientais significativos (sem transporte de grandes distâncias);
- ausência de resíduos não biodegradáveis na demolição;
- reutilização de um resíduo agrícola de decomposição lenta e difícil, evitando a queima;

²⁰⁰ Wackernagel; Rees – Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, 1994.

²⁰¹ Elizabeth; Adams – Alternative construction, contemporary natural building methods, 2000.

- boa resistência ao fogo quando compactada e rebocada;
- excelentes propriedades isolantes.

Os problemas que podem ocorrer com a aplicação deste material na construção são:

- fraca resistência à humidade;
- decompõe-se na presença de água e a decomposição pode originar combustão;
- eventual alojamento de insectos e roedores;
- eventual presença de factores alérgicos;
- resistência mecânica limitada;
- elevado custo de transporte;
- elevadas espessuras de parede e ocupação de espaço;
- exige mão-de-obra intensiva.

A resistência da palha ao fogo é boa, uma vez que quando compactada não arde devido à ausência de oxigénio (encontram-se lareiras construídas em paredes de palha compactada²⁰²), mas a resistência mecânica é limitada e as paredes de palha devem ser consolidadas por tirantes de ferro ou de bambu. O problema da humidade e dos parasitas pode ser resolvido por um desenho cuidadoso dos detalhes das paredes.

A palha tem geralmente sido utilizada como material não portante, complementado por um sistema pilar-viga de outro material como o aço ou o betão. Contudo, estão em desenvolvimento sistemas de fardos de palha reforçados para aplicações portantes e estruturais. Tecnicamente, na construção em fardos de palha muito pode ainda ser feito para o aperfeiçoamento e sistematização dos processos construtivos implicados.

Fardos de palha portantes

Esta aplicação da palha é geralmente indicada para construções de um só piso, mas a pré-compactação da palha possibilita a sustentação de cargas mais elevadas. Actualmente utilizam-se vários sistemas para a pré-compactação dos fardos, tais como a aplicação de ripas de madeira ou varões metálicos que passam pelo interior dos fardos e os ligam e comprimem (Figura 88).

A dificuldade que a utilização de fardos de palha na construção autoportante apresenta é que, embora o material seja de aplicação simples, o cálculo estrutural é complexo²⁰³. Em áreas sísmicas, em edifícios de dois andares, ou em zonas onde as cargas de neve sobre a cobertura são significativas, a ausência de um método de cálculo consensual torna difícil o licenciamento deste tipo de construção.

É ainda de referir que a aplicação de reboco, mesmo sem ser armado, torna as paredes mais coesas e resistentes, melhorando a segurança estrutural do conjunto.

²⁰² Paschich; Zimmerman – Mainstreaming sustainable architecture: casa de paja: A demonstration, 2001 (p. 51).

²⁰³ Elizabeth; Adams - Alternative construction, contemporary natural building methods, 2000 (p. 218).

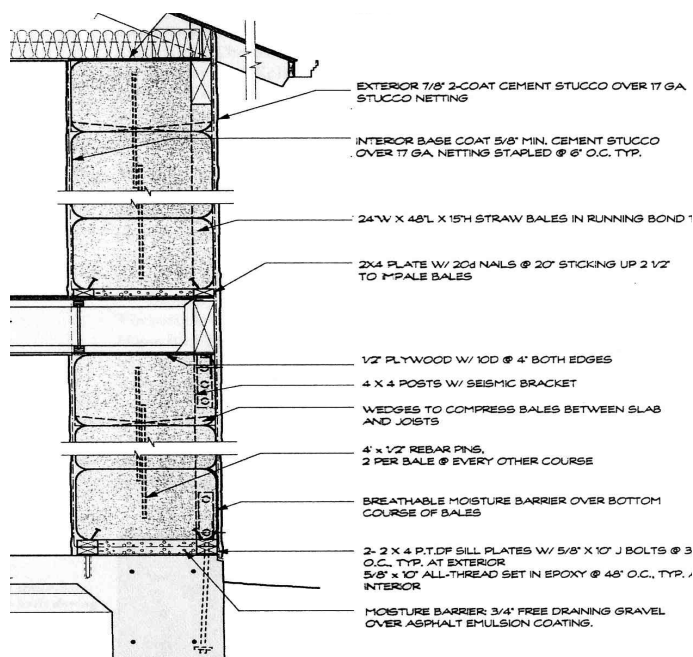


Figura 88 – Corte construtivo de parede de palha para zona sísmica.

Os fardos preenchem uma estrutura de madeira portante e são rebocados e estucados tanto pelo interior como pelo exterior.

(fonte: Alternative Construction)

Fardos de palha não portantes

Adicionar uma moldura estrutural do tipo pilar-viga aos fardos de palha simplifica o cálculo estrutural e facilita em grande medida o licenciamento da construção, especialmente para edifícios com mais do que um piso. Os fardos de palha podem ser colocados no lado interior da estrutura, deixando-a à vista, preenchendo a malha estrutural (Figura 89) ou ainda aplicados pelo lado exterior, encobrendo a estrutura.

É ainda possível combinar os fardos de palha com outros materiais de forma a constituir uma estrutura compósita, de grande resistência mecânica. Geralmente esses materiais são: rebocos e estuques; painéis de gesso cartonado; ou estruturas leves como tirantes, ripas ou varões fixos aos painéis ou redes envolventes. Estes fardos de palha reforçados podem mesmo ser utilizados para construir abóbadas ou outras coberturas ao ser entrelaçados ou envolvidos por canas ou bambus, criando o efeito de cesto.

A construção em palha adquire uma expressão própria quando no exterior os fardos são deixados à vista, depois de sujeitos a um corte rasante, através do qual a parede perde os seus elementos soltos, tornando-se numa superfície lisa e compacta, resistente à intempérie. Ao contrário do que geralmente se pensa, esta situação não retira durabilidade às paredes pois, desde que o interior dos fardos esteja bem compactado e que o exterior esteja protegido por um beirado e uma fundação para evitar a entrada de água pela cobertura ou pelo solo, o material será resistente à erosão. A palha é, como a terra crua, um material que precisa de "um bom chapéu e umas boas botas" para se proteger da penetração da água que é um dos seus principais inimigos. No caso dos paramentos exteriores o contacto superficial com a água não é prejudicial, desde que garantindo o adequado escoamento da água para que não se acumule nestas superfícies e estas possam secar rapidamente.



Figura 89 – Construção em fardos de palha, antes de rebocada.

(fonte: www.planob.com)

Bambu

O bambu é um material natural de vasta aplicação na construção. O seu uso é especialmente adequado em zonas sísmicas como complemento à construção não rígida, como por exemplo, de fardos de palha. Contudo, se o bambu não for cultivado nas regiões onde é aplicado, a sua utilização carece de interesse ecológico, pois exigirá importações volumosas.

As principais vantagens da utilização do bambu na construção são:

- cresce significativamente mais depressa do que as árvores e oferece uma resistência comparável à madeira, sendo muito mais flexível;
- pode atingir maior resistência à compressão do que o betão e praticamente a mesma resistência à tracção do que o aço²⁰⁴;
- as estruturas de bambu são leves e flexíveis, reagindo bem aos ventos fortes e às vibrações (este desempenho é variável, de acordo com as soluções adoptadas para as juntas entre segmentos e pode ser corrigido com a aplicação de sistemas estruturais redundantes que reforçam e protegem os sistemas estruturais principais).

Os problemas que podem ocorrer e os cuidados a ter no uso de bambu na construção são:

- o bambu expande-se e contrai-se com as variações de humidade, em valores que chegam aos 6% do seu diâmetro, dificultando a concepção de soluções para as juntas;
- as canas de bambu devem estar bem protegidas tanto da humidade como do sol;
- o cultivo do bambu de qualidade exige não só condições climáticas e de solo especiais, como muita manutenção, o que o torna dispendioso;
- para se conseguir um bambu adequado para a construção de estruturas leves deve-se assegurar a qualidade dos métodos de cultivo e de secagem;
- a cura do bambu leva entre 3 a 4 meses e tem de ser feita na horizontal, em ambiente fresco, ventilado mas não demasiado seco;

²⁰⁴ Elizabeth; Adams - Alternative construction, contemporary natural building methods, 2000 (p: 237).

- os insectos constituem uma grande ameaça do bambu e podem levar ao colapso de estruturas (este risco pode ser mitigado por processos de cura como a fumagem, fervura ou emersão em soluções cáusticas);
- alguns dos produtos para tratamento contra insectos são tóxicos e devem ser substituídos por borato de sódio após a colheita ou por processos de fumagem natural;
- as colas utilizadas nos materiais compostos com bambu são geralmente tóxicas e devem ser substituídas por colas não reactivas ou por colas à base de soja.

O diâmetro de uma cana de bambu não aumenta significativamente desde que desponta até atingir metros de altura e serão os rebentos seguintes da mesma planta que terão um diâmetro cada vez maior. Assim, embora cada rebento cresça muito depressa, só alarga a sua secção ao longo de um processo muito mais lento. Depois de aplicado na construção a durabilidade do bambu varia com o clima, com a presença de insectos, e com a idade com que foi cortado. O bambu cortado adulto (mais de 3 anos), quando fumado, pode durar várias centenas de anos.

Outras fibras vegetais

Para dar resposta a um mercado emergente têm surgido vários produtos naturais isolantes à base de diversas fibras vegetais para além da palha. As fibras de coco (Figura 90), de cânhamo, de celulose e de madeira e a cortiça são largamente utilizadas e a sua eficácia está já demonstrada pelo sucesso comercial de diversos produtos²⁰⁵. O impacte ambiental destas fibras é muito baixo, sendo apenas de considerar o decorrente do transporte que é dificultado pela sua baixa densidade e elevado volume.

As fibras vegetais isolantes quando comparadas com materiais artificiais (como o poliestireno expandido) são ecologicamente preferenciais, pois contêm níveis muito inferiores de energia incorporada, não são tóxicas e não libertam substâncias químicas que afectam a camada do ozono. Contudo, nem todas têm um desempenho equivalente aos produtos artificiais.

O isolamento com papel reciclado ou com fibras têxteis, como as utilizadas em *jeans*, é uma forma eficaz não só de conservação térmica mas também de reutilização de materiais que de outra forma constituiriam resíduos²⁰⁶.

O aglomerado expandido de cortiça (Figura 91) é um produto vegetal constituído por cortiça granulada e tratada termicamente em autoclave. Este aglomerado é utilizado para isolamento térmico, acústico e antivibrático, consoante a sua densidade. Devido à sua estrutura multicelular tem elevada resistência à propagação do calor e do som. O único problema ambiental deste material deve-se à sua difícil eliminação, pois é um material imputrescível constituindo um resíduo que se não for reutilizado continuamente acabará em aterro.

²⁰⁵ Existem isolantes à base de fibras de madeira especialmente concebidos para a construção em madeira que evitam o sobreaquecimento de verão deste tipo de construção leve e têm sido aplicados em vários edifícios ecológicos: URL: <http://constructionresources.com/>.

²⁰⁶ Existem isolantes à base de papel de jornal reciclado eficientes e económico: URL: <http://constructionresources.com>.

Mas as fibras vegetais não são úteis apenas como isolantes. O papel, cujo uso construtivo tem sido desde há muito demonstrado pelos orientais, é um material natural que ressurgiu na construção em aplicações estruturais baseadas em tubos de papel enrolado (Figura 92). Estes tubos podem ser utilizados como apoios verticais ou como arcos, uma vez que a sua produção permite também o fabrico de segmentos curvilíneos, permitindo a geração de estruturas complexas.



Figura 90 – Isolamento de fibras de coco certificado pelo Institut für Baubiologies Rosenheim GMBH. (fonte: www.ecoconstruct.com)

Figura 91 – Aglomerado de cortiça fabricado em Portugal. (fonte: www.revarte.pt/aglomerado.html)



Figura 92 – Casa de papel no Lago de Yamanashi. Arq.º Shigeru Ban, Japão, 1995. (fonte: www.archinform.net)

Fibras e lãs animais

A lã de ovelha é um material cada vez mais utilizado, sobretudo em Inglaterra, onde tem sido integrada em casas experimentais de desempenho ambiental exemplar, para funções de isolante térmico e acústico²⁰⁷. A reutilização de têxteis de origem animal é uma das formas de isolamento mais ecológico pois alia a conservação térmica, a conservação de materiais e a minimização de produção de resíduos. A única ressalva em relação a estes materiais reside na resistência ao fogo.

Pedra

A pedra é um material de origem natural não renovável mas abundante e muito durável, podendo ser reutilizado inúmeras vezes. Em Portugal a pedra é abundantemente utilizada na arquitectura tradicional, tanto em funções estruturais como em paredes e revestimentos (Figura 93).

²⁰⁷ Existem isolantes à base de lã de carneiro que têm também a capacidade de absover humidade: URL: <http://constructionresources.com>.

O maior impacto ambiental da utilização da pedra na construção é o transporte, seguido pelas operações de extracção (desmonte) que podem perturbar os ecossistemas naturais. O desmonte pode ser manual, mecânico ou recorrer a explosivos, mas provoca geralmente transformações topográficas. A pedra só é considerada um material natural ecológico nos casos em que está disponível localmente e em que a sua extracção não é responsável por desequilíbrios ambientais significativos.

As principais vantagens da utilização da pedra na construção são:

- elevada resistência mecânica;
- elevada durabilidade;
- elevada inércia térmica;
- fácil manutenção;
- possibilidade de reutilização contínua.

Os inconvenientes da aplicação deste material na construção são:

- não ser renovável;
- impacto paisagístico e ambiental da extracção em pedreiras;
- poluição sonora da extracção em pedreiras;
- eventual emissão de gás radão (granito);
- extracção, transformação e transporte energeticamente exigentes.

Dada a sua origem natural a pedra é um material saudável e não origina, em geral, problemas de saúde nem de contaminação. No entanto, alguns tipos de granito libertam radão (radiação nociva para a saúde humana) pelo que a utilização de pedra com a presença deste gás em edifícios deve ser evitada.

A reutilização de pedra das demolições, que tem sido praticada desde a antiguidade, é uma estratégia que se deve incentivar, aproveitando ao máximo a longevidade da pedra.



Figura 93 – Construção em pedra de tufo, seixos e terra.
Casal do Vale, Torres Novas.

A parte da parede em falta era em taipa, pelo que se desfez com o passar do tempo devido à ausência de telhado.

(fonte: Manuela Fazenda)

Produtos derivados – cal e fibras

Cal hidráulica e cal aérea

A cal é um material abundante na natureza, embora não renovável, que se obtém a partir da cozedura de pedra calcária a elevadas temperaturas. Este material é utilizado na impermeabilização contra humidades e bolores, resistindo a estas ameaças devido à sua elevada deformabilidade e baixa rigidez.

As argamassas de cal, até à introdução de cimento, eram o principal ligante utilizado na construção; hoje continuam a ter grande aplicação na manutenção e reabilitação do património (Figura 94).

As argamassas de cal aérea podem ser constituídas com areia, com pó de tijolo ou com componentes pozolânicas. Estas argamassas são as mais indicadas para as construções em terra, pois protegem das patologias da água, da erosão e dos sais higroscópicos que podem diminuir a resistência e o isolamento das paredes de terra crua.

As argamassas de cal aérea têm ainda a vantagem de, quando aplicadas na colocação de ladrilhos ou blocos, permitirem a sua recuperação e reutilização posterior, o que não acontece com argamassas à base de cimento ou de cal hidráulica.

As argamassas de cal hidráulica diferem das anteriores por utilizarem uma cal que resulta, não da cozedura do calcário puro, mas sim do calcário margoso, que tem argila em quantidade superior ao carbonato. Estas argamassas levantam problemas semelhantes, embora não tão graves, aos das argamassas à base de cimento Portland, como a baixa porosidade²⁰⁸. Podem assim ser usadas na consolidação de construções antigas com argamassas de cal ou terra, procurando manter o conforto higro-térmico da construção tradicional, como alternativa ao cimento.



Figura 94 – Construção de pedra e terra depois de caiada.

A cal protege sem obstruir a “respiração” da parede. Com o passar do tempo vai se diluindo sem deixar vestígios prejudiciais e pode ser facilmente reposta.

(fonte: Manuela Fazenda)

Fibras minerais

A lã mineral (lã de rocha ou lã de vidro) é um produto obtido a partir da fusão de determinados materiais inertes, submetidas a processos que permitem a passagem do estado líquido para o estado sólido fibroso. Este material é um dos isolantes térmicos com melhor desempenho ambiental durante o

²⁰⁸ Rodrigues – Compatibilidade entre as paredes e respectivos revestimentos, 2004.

uso, pois são necessárias pequenas quantidades de material e de energia para se obter elevados níveis de isolamento (Tabela 7). Contudo, a lã de vidro é produzida a partir da sílica por processos que consomem elevadas quantidades de energia.

Tabela 7 – Hierarquia preferencial para a escolha de materiais para o isolamento de paredes.

(Adaptado de Handbook for Sustainable Building)

Preferência 1	Preferência 2	Preferência 3	Não recomendado
Aglomerado expandido de cortiça Fibras celulósicas	Lã mineral Poliestireno expandido	Espuma de vidro	Espuma de Poliuretano Poliestireno extrudido

Madeira

A construção de madeira tem como mais-valias a sua origem natural, a leveza e adaptabilidade e a capacidade de absorver CO₂ durante o crescimento. Para a maioria dos governos europeus (não incluindo Portugal) a luta contra o efeito de estufa é indissociável do uso da madeira na construção. O incentivo à floresta parece ser a melhor forma de absorver o CO₂ em excesso no Planeta, uma vez que ao utilizar uma árvore na construção se está a retardar o momento em que o CO₂, absorvido durante o seu crescimento, é libertado para a atmosfera por combustão ou decomposição.

A madeira é um recurso natural disponível na Europa em quantidade suficiente para que num futuro próximo, em determinadas regiões, se possa vir a considerar a estrutura de madeira como a opção dominante para a construção sustentável da habitação²⁰⁹. Mas a madeira só é um recurso renovável na condição de ser realizada a reposição florestal. Em alguns países o abate ilegal de árvores é uma prática generalizada, o que constitui uma ameaça para as florestas. O *Forest Stewardship Council* (FSC) é uma organização internacional que certifica florestas, garantindo que estão a ser geridas de forma sustentável²¹⁰.

O uso de madeira localmente produzida (ou recuperada de demolições) é tão relevante como o uso de madeira certificada para uma construção mais sustentável. Existem eco-certificados para algumas madeiras tropicais, mas apesar de ser possível empregar madeiras exóticas ecológicas na Europa, o seu uso em grande quantidade é desaconselhado dado o elevado consumo de energia associado ao seu transporte.

As principais vantagens da utilização da madeira na construção são:

- origem natural e auto-renovável;
- material reciclável;
- absorve CO₂ naturalmente;
- transformação e aplicação que incorpora pouca energia;

²⁰⁹ Edwards; Turrent – Sustainable housing principles and practices, 2000.

²¹⁰ Gauzin-Müller – Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos, 2002.

- rapidez de montagem;
- leveza e adaptabilidade;
- biodegradabilidade.

Os inconvenientes da aplicação deste material na construção são:

- requer manutenção frequente quando exposta a elevada radiação solar;
- é um bom condutor térmico, originando algumas perdas térmicas;
- se a barreira ao vapor falhar a condensação intersticial pode originar degradação;
- custo elevado de construção se não se recorrer à pré-fabricação;
- se importada de regiões distantes o transporte causa impactes ambientais significativos.

A forma tradicional de conceber uma estrutura de madeira baseia-se no encaixe, distinguindo-se das estruturas de betão e de aço, baseadas na justaposição e na conexão. Contudo, pontualmente a construção em madeira associa-se ao betão e ao aço e aos seus sistemas construtivos.

Uma estrutura de madeira pode ser otimizada se for combinada com sistemas de conexão metálicos, cujas peças, embora representem um custo adicional, permitem que o sistema construtivo seja facilmente desmontável (especialmente útil em construções efémeras) e maximizar a reutilização do material.

Para garantir a longevidade da madeira é necessário protegê-la contra os agentes biológicos de degradação, colocá-la em obra com um baixo grau de humidade e conceber pormenores construtivos que evitem a acumulação de água.

A madeira certificada constitui a primeira preferência para a aplicação na construção (Tabela 8). Contudo, esta não é uma opção ecológica se o seu tratamento for feito com produtos tóxicos nocivos para o ambiente e para a saúde humana (ex., sais de cobre, de crómio ou arsénico). Existem alternativas aos tratamentos químicos, como os procedimentos térmicos ou tratamentos mais inócuos, como os à base de Borato.

Tabela 8 – Hierarquia preferencial para a escolha de materiais para a construção de portas e janelas.

(adaptado de Handbook for Sustainable Building²¹¹)

Preferência 1	Preferência 2	Preferência 3	Não recomendado
Madeira certificada de elevada duração	Madeira com impregnação de borato de sódio	Alumínio, madeira tratada, PVC reciclado	Madeiras tropicais, PVC

Nos últimos anos e sobretudo na Europa central, a construção de madeira tem surgido na arquitectura contemporânea. Na Alemanha, sobretudo na Baviera, implementou-se desde a década de 90 um programa de incentivo ao projecto e construção de habitações de madeira para aluguer. Desde então a construção de edifícios de estrutura de madeira difundiu-se rapidamente, tendo suscitado diversos estudos sobre as normas de construção, de segurança contra incêndio e de conforto acústico, e

²¹¹ Anink; Boonstra; Mark – Handbook of sustainable building – An environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment, 1998.

motivado uma geração de novos arquitectos para a interpretação das tradições locais de construção²¹². O sucesso deste exemplo demonstra quão benéfico pode ser procurar pistas para a habitação do futuro na habitação do passado.

Como a madeira não é um material com uma inércia térmica tão elevada quanto a da terra ou dos rebocos, por constituir um material mais leve, quando aplicado em fachadas deve ser combinado com o vidro para a retenção de ganho solares directos (Figura 95).

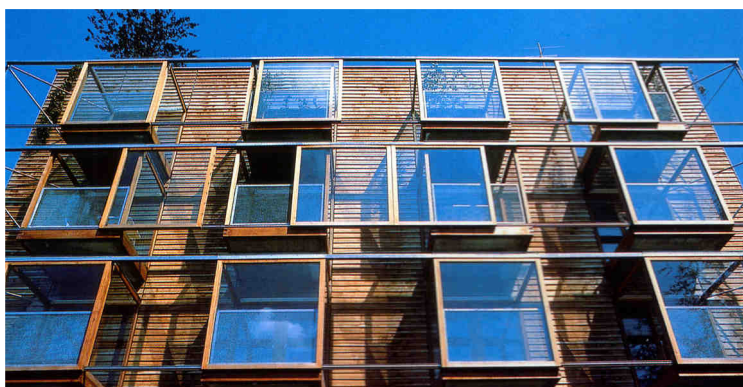


Figura 95 – Fachada de madeira com painéis deslizantes de vidro.
(fonte: Facades)

Recentemente em Portugal vários conjuntos habitacionais denominados "ecológicos" utilizam a madeira importada em sistemas de pré-fabricação. Na Serra da Estrela (Figura 96) e noutras localidades têm sido construídas habitações integralmente de madeira, demonstrando que a procura por este tipo de casa está a crescer, sobretudo para segunda residência. Estas habitações são publicitadas como económicas, adaptáveis, evolutivas e rápidas de construir e, para além disso, por beneficiarem da beleza natural da área envolvente. Resta saber se o seu comportamento térmico é adequado a uma ocupação não sazonal, se os custos da madeira importada justificam as economias na construção, e se a arquitectura adoptada por este tipo de habitações (geralmente de inspiração nórdica) se enquadra no contexto cultural de referência.



Figura 96 – Casas de madeira na Serra da Estrela.
(fonte: Luís Morgado)

²¹² URL:<http://www.wohnen.bayern.de/exwobau>.

Produtos derivados – lamelados e contraplacados

Os produtos derivados da madeira, tais como os lamelados colados, o *Oriented Strand Board* (OSB) e outros, têm tido grande aplicação na construção. Em relação à madeira, estes produtos têm a vantagem de apresentarem maior estabilidade (na resistência mecânica e no aspecto) e de permitirem realizar perfis de grandes secções e dimensões longitudinais.

Alguns derivados da madeira, como o contraplacado utilizado em revestimentos e acabamentos, não são materiais com bom desempenho ambiental, pois o seu fabrico requer elevados consumos de energia e as colas aplicadas, em geral, não são ambientalmente certificadas (Tabela 6).

Metais

A extracção de metais pode originar alterações físicas e emissões tóxicas e os processos de transformação e de tratamento de minério são energeticamente intensivos. Se os metais estão expostos à água corrente pode ainda surgir um problema ambiental adicional: os iões metálicos atingem o solo e a água, pondo em risco vários organismos. Os metais não estão no topo da lista das preferências da construção ecológica, pois embora sejam materiais de origem natural, em geral muito duráveis, reutilizáveis e recicláveis, não são renováveis.

As exigências de manutenção, de reutilização e de reciclagem são variáveis para os diferentes metais, como se pode observar nos três seguintes exemplos:

- o cobre é muito durável, resiste à corrosão e é facilmente reciclável, embora a sua extracção origine efluentes tóxicos; a sua reutilização e reciclagem são economicamente rentáveis;
- o chumbo é facilmente reciclável, mas é um material tóxico cuja utilização em contacto com a água potável deve ser evitada; a sua disponibilidade é cada vez menor e o esgotamento das reservas é previsível a médio prazo;
- o zinco não é reciclável (apenas os seus resíduos o são) mas é reutilizável (inclusive o zinco utilizado na galvanização do aço); a extracção do zinco é poluente, não tem uma elevada durabilidade e o seu uso para galvanização é tóxico; o esgotamento das reservas de zinco é previsível a curto prazo.

Existem outros tipos de metais frequentemente utilizados na construção que não são considerados materiais naturais por serem ligas, como o alumínio e o aço (ver 4.3.3 – Aço e ligas metálicas).

4.3.3 Materiais artificiais e sintéticos

Os materiais artificiais requerem processos industriais que geram impactes ambientais e são na sua grande maioria constituídos por materiais não renováveis, sendo em geral menos ecológicos do que os materiais naturais. Estes materiais, porém, utilizam-se em larga escala na construção devido à sua adequabilidade a determinadas funções, não sendo em alguns casos substituíveis por matérias naturais (ex., não há substituição natural para o vidro com a mesma eficiência no desempenho da sua função de iluminação e protecção).

Cimento e betão

O processo de produção de cimento, necessário para a construção de betão, requer elevadas temperaturas, é energeticamente intensivo e origina emissões prejudiciais à saúde e ao ambiente. De entre estas emissões destaca-se o pó alcalino que quando libertado na água ou no ar representa um perigo para o ambiente, pois a água alcalina é tóxica para os peixes e o ar alcalino é corrosivo. Em virtude destes problemas ambientais não existe classificação ambiental para o cimento, sendo recomendável minimizar ou eliminar o seu consumo na construção de edifícios sustentáveis.

O desempenho ambiental do betão é variável mas de forma geral caracteriza-se pelos seguintes aspectos:

- na produção de betão 85% das emissões de CO₂ são provenientes do cimento;
- o betão armado incorpora quase a mesma quantidade de energia que o aço;
- o betão armado, ao contrário do aço, não é reciclável;
- o betão para ser reutilizado é degradado e destinado a pavimentos ou enchimentos;
- o betão origina cerca de metade de todos os resíduos de construção e demolição.

O betão leve tem menor impacto ambiental que o betão comum, pois apresenta uma relação mais favorável entre a resistência mecânica e o peso, o que quer dizer que para um determinado desempenho é necessária uma menor massa de material.

O actual desenvolvimento da tecnologia dos geopolímeros oferece perspectivas para um betão mais amigo do ambiente, porque a sua produção requer temperaturas mais baixas do que o cimento tradicional, consumindo até oito vezes menos energia²¹³.

Mas para além do cimento, a utilização de agregados pétreos no betão tem também impactos ambientais indirectos. A areia dos rios é extraída em larga escala para satisfazer as necessidades crescentes do mercado da construção. Esta extracção de areias, ou de britas, quando efectuada sem controlo pode alterar os ciclos de erosão e reposição de sedimentos entre os leitos dos rios e a costa marítima. Este impacto pode ser minimizado com a regulamentação e fiscalização das actividades de extracção de inertes e pode vir a condicionar a utilização de betão na construção de edifícios.

As principais vantagens da utilização do betão na construção são:

- elevada resistência à compressão;
- constituído por matéria natural disponível em larga escala;
- possibilidade de pré-fabricação;
- possibilidade de reutilização em pré-fabricados de betão;
- possibilidades de combinação da produção de cimento com a eliminação de resíduos.

Os inconvenientes da aplicação deste material na construção são:

- produção do cimento energeticamente muito exigente e poluente;
- extracção de inertes (areias e britas) com potencial impacto ambiental;

²¹³ Smith – Sustainability at the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.

- difícil reutilização de elementos da construção de betão moldado em obra;
- difícil reciclagem (só possível com perda de características);
- impossibilidade de degradação e de deposição natural.

Vidro

O vidro é um material cujos impactes ambientais são compensados pelas economias de energia que permite em iluminação natural e aquecimento. O impacte mais significativo do vidro decorre da grande quantidade de energia necessária para atingir as altas temperaturas, exigidas pelo processamento das matérias-primas, e das consequentes emissões de CO₂. O vidro pode ser reciclado com grande eficiência, mas actualmente o vidro na construção é reciclado apenas em pequenas quantidades, pois para o fazer são necessários processos de demolição selectiva ainda pouco correntes.

As principais vantagens da utilização do vidro na construção são:

- constituído por matéria natural disponível em grande quantidade e em muitos locais;
- fácil reciclagem;
- potencia a iluminação natural e os ganhos solares;
- tem aptidão para aplicações "inteligentes".

Os inconvenientes da aplicação deste material na construção são:

- elevada energia incorporada;
- elevadas emissões de CO₂ incorporadas (duas vezes as da produção de cimento);
- a fusão liberta SO₂ e outras emissões nefastas.

O vidro é um material que tem conhecido muitos progressos e que hoje permite uma elevada versatilidade de aplicações (ex., vãos, guardas, pavimentos, coberturas) e funções (ex., iluminação, aquecimento passivo e activo, sombreamento e estrutura). O desempenho ambiental do vidro durante o período de ocupação dos edifícios que o aplicam decorre essencialmente do seu contributo para o conforto e controlo ambiental, que tem sido potenciado pela generalização do vidro duplo.

Com a aplicação da nano tecnologia à indústria do vidro, surgiram inovações que permitiram dotar este material da capacidade de responder às alterações do estado do tempo e de integrar a geração de energia fotovoltaica. As células fotovoltaicas já são integradas em superfícies de vidro e poderão vir a fornecer energia para o processo electroquímico que obscurece os vidros, evitando o sobreaquecimento de fachadas expostas a intensa radiação solar, com consumo de energia nulo.

Actualmente existem vidros que possibilitam diferentes níveis de transmissão de luz e de calor permitindo potenciar a iluminação natural sem originar problemas térmicos²¹⁴. Existe também o vidro hidrófilo auto-lavante, para aplicação em zonas de difícil acesso para limpeza²¹⁵.

²¹⁴ O vidro *Suncool* permite seis níveis diferentes de transmissão de luz e de calor e apresenta valores U que vão desde 1,3 W/m²K a 1,0 W/m²K), o vidro de baixa emissividade térmica *Planar* tem o valor U de 0.8 W/m²K (ambos em URL: <http://www.pilkington.com>) e o vidro translúcido de baixa emissividade *SoleraSpace* permite usufruir ao máximo da iluminação natural em zonas onde não é necessário contacto visual com o exterior. URL: <http://www.advancedglazings.com>.

Com o desenvolvimento das envolventes de vidro a *sedução* da transparência tem exercido um grande poder sobre o imaginário arquitectónico, sendo já possível utilizar o vidro não só como elemento de preenchimento de vãos, mas também como elemento estrutural em edifícios (Figura 97).



Figura 97 – Vidro estrutural no Museu do vidro em Kingswinford.

Concepção de AltennaTM.

Note-se que o vidro horizontal que assenta sobre as vigas, também de vidro, integra filtros para protecção solar.

(fonte: John Linden, in Eco-Tech – Sustainable architecture and High Technology)

Aço e outras ligas metálicas

Apesar das ligas metálicas como o aço (liga de ferro e carbono) e as ligas de alumínio (ligas de alumínio com cobre, zinco ou outros metais) terem um elevado impacte ecológico incorporado são materiais relevantes por melhorarem o desempenho ambiental dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida, ao permitirem a reciclagem, a reutilização e a adaptabilidade de componentes da construção.

O aço merece especial atenção por ser aplicado em grande escala na construção, sendo geralmente tratado por electro-zincagem (galvanização) ou combinado com níquel e crómio (aço inoxidável) para garantir a sua durabilidade e resistência em ambientes corrosivos.

As principais vantagens ambientais da utilização do aço na construção são:

- predisposição para a reutilização, embora o tratamento superficial impeça reutilizações directas;
- comparando com outros metais, a energia incorporada em cada quilo de material obtido é baixa;
- possibilidades de pré-fabricação.

Os inconvenientes da aplicação deste material na construção são:

- matérias-primas não renováveis (ferro e carvão mineral);
- extracção poluente das matérias-primas;
- tratamento com metais pesados;
- processo de produção energeticamente intensivo.

Em alguns países europeus a opção pela estrutura de aço na construção tem aumentado na produção de habitação. Tal como a estrutura de madeira, a estrutura de aço favorece a pré-fabricação e permite uma maior velocidade de construção. A precisão da construção de aço, como as suas vantagens

²¹⁵ URL: <http://www.activglass.com>.

estéticas e técnicas e a sua fácil reciclagem, são argumentos a favor deste material. O aço estrutural pode ser reciclado e reutilizado directamente como elemento estrutural enquanto o betão é geralmente reutilizado em agregados sem função estrutural ou para betão armado.

As ligas de alumínio são facilmente recicláveis mas a sua produção é energeticamente muito intensiva e o seu tratamento superficial liberta substâncias perigosas. O alumínio é reciclado em larga escala, não porque seja escasso na natureza pois é um material muito abundante, mas por este processo ser mais económico do que a produção a partir da matéria-prima.

Materiais sintéticos

Na construção de edifícios os materiais sintéticos, tais como os plásticos, as tintas e os adesivos, devem ser sujeitos a uma selecção ecológica restrita, dado tratar-se de materiais derivados do petróleo. Os plásticos reciclados ou biodegradáveis e as tintas que não incluem produtos tóxicos, ou que aliam compostos sintéticos a compostos naturais, devem ser privilegiados na construção.

Os plásticos são usualmente subprodutos orgânicos de matérias não renováveis e a sua produção é energeticamente exigente. É também possível produzir plásticos a partir de fontes renováveis, tratando-se neste caso de materiais recicláveis ou biodegradáveis (bioplásticos, biossintéticos). Infelizmente, as propriedades dos plásticos reciclados vão-se degradando à medida que se vão processando sucessivas reciclagens.

Grande parte dos plásticos é produzida por via de processos químicos que implicam emissões tóxicas e elevado consumo de energia. A deposição dos plásticos não biodegradáveis representa um problema ambiental pois a sua queima é tóxica e a sua deposição em aterro consome grandes quantidades de espaço. Para além disso, muitos plásticos emitem produtos tóxicos durante o uso, com diversos níveis de perigosidade para a saúde. Deste modo, nos vãos, o PVC tem sido substituído pela madeira, pelo polietileno e pelo polipropileno. Perante esta situação, a indústria do PVC está agora a tentar inovar na produção procurando reduzir as emissões e desperdícios, e eliminar e substituir alguns aditivos e estabilizantes à base de cádmio e chumbo que são nocivos para a saúde e para o ambiente²¹⁶.

As tintas são materiais de acabamento, protecção e manutenção de elementos construtivos que, na sua maioria, são tóxicos. Embora sejam empregues em pequenas quantidades, estes produtos podem ter um impacte significativo na saúde e no ambiente.

Materiais inteligentes

Os materiais inteligentes podem ser activados por sinais emitidos pelos utentes ou por estímulos exteriores como o Sol e as vibrações da Terra. Estes materiais têm a capacidade de alterar as suas características, inclusive de forma e de estado, de acordo com os estímulos a que são sujeitos. Os materiais inteligentes poderão ser úteis para a construção de edifícios, em particular para a construção

²¹⁶ Gomes – Sistemas de caixilharia em PVC: Um contributo para uma arquitectura sustentável, 2004.

anti-sísmica. Os SMAS (*shape memory alloys*) depois da deformação por aquecimento ou por vibração, regressam à sua forma inicial. Existem também fluidos inteligentes, que passam rapidamente do estado líquido para o sólido, ou vice-versa, tendo sobretudo o potencial de substituir uma série de dispositivos mecânicos como amortecedores em veículos para absorver a vibração²¹⁷.

4.3.4 Sistemas construtivos

Sistemas pré-fabricados

Os sistemas construtivos pré-fabricados permitem otimizar os materiais e evitar desperdício de recursos. A desmontabilidade aumenta as possibilidades de reutilização e de controlo de qualidade. Este tipo de sistemas construtivos prolonga a vida útil do edifício por permitir efectuar alterações e extensões da forma edificada, e dos seus componentes por facilitar as tarefas de desmontagem e reaproveitamento (Figura 98). A pré-fabricação, se assente num adequado estudo da relação entre os componentes, pode aumentar a viabilidade ambiental e económica da construção²¹⁸.

As estruturas pré-fabricadas podem ser combinadas com materiais experimentais (ex., *Transparent or translucent insulation materials* (TIM) e bioplásticos) e materiais naturais (ex., palha e terra). Existem já, por exemplo, painéis de taipa pré-fabricada cuja qualidade do solo utilizado é garantida em laboratório.

A construção pré-fabricada leve, em estrutura metálica ou de betão de alto desempenho, deve conjugar-se com materiais para provisão de inércia térmica (como o tijolo ou a terra) e com materiais isolantes (como a palha ou a lã mineral). Os materiais para provisão de inércia e isolamento térmico devem também ser modulares e pré-fabricados, facilitando a armazenagem, o transporte e a montagem.



Figura 98 – Fachada de madeira pré-fabricada.



(fonte: Facades)

²¹⁷ Smith – Sustainability at the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.

²¹⁸ Daniels – Low tech. Light tech. High tech, 1998.

Sistemas mistos

Os sistemas construtivos mistos combinam materiais tais como a madeira, o metal, o vidro, o betão, ou mesmo a terra crua (Figura 99). Estes sistemas procuram potenciar as qualidades e reunir os bons desempenhos ambientais de cada material, pelo que são considerados adequados para a construção ecológica²¹⁹.



Figura 99 – Combinação de estrutura de madeira com paredes em terra.

Martin Rauch, Gugler Printworks, Pielach (Austria).

(fonte: Earth building conference 2005)

São indicados em seguida alguns dos materiais que podem integrar esses sistemas, referindo-se os principais aspectos a ter em consideração na sua combinação:

- o betão deve ser utilizado pela sua inércia térmica, como barreira acústica ou como elemento corta-fogo, colmatando o défice de massa das construções de madeira;
- os metais são úteis na resolução das uniões e no reforço mecânico da madeira e seus derivados; no entanto a sua utilização intensiva deve prever a reutilização;
- o tijolo ou o adobe podem ser utilizados no preenchimento de estruturas de madeira, devendo ser garantida a secagem da parede que tenderá a absorver humidade, com riscos para a durabilidade da madeira;
- o vidro é essencial para a optimização da iluminação natural, da relação dos espaços com o exterior, e dos ganhos térmicos passivos;
- os elementos estruturais de madeira normalizados e pré-fabricados permitem a "construção seca", reduzindo custos e prazos e minimizando desperdícios;
- nos sistemas de construção mista com "junta seca" (Figura 100), a aplicação de barreiras ao vapor é fundamental para garantir a estanquidade das juntas.

²¹⁹ ACE (et al.) – A green vitruvius. Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.



Figura 100 – Sistema construtivo misto (betão e aço) otimizado para redução de pontes térmicas.

Arq.º Gies, Bairro Vauban (Freiburg).

Sistemas recuperáveis

Os sistemas construtivos para uma arquitectura mais sustentável devem permitir a reabilitação dos edifícios após o seu uso inicial. No projecto de edifícios sustentáveis devem ser considerados os recursos necessários para o futuro desmantelamento da construção, tendo em conta que a reciclagem e a reutilização de materiais de construção requerem sempre custos energéticos adicionais. A viabilidade económica e ecológica da recuperação de recursos, incorporados em edifícios, depende da disponibilidade do material no local e dos custos do seu aproveitamento ou reciclagem. A possibilidade de recuperação de edifícios após o uso inicial é também determinada pelos materiais e pelo método de construção empregue. O aço e metais de uma construção podem ser facilmente reutilizados, mas uma construção de betão armado moldado em obra não pode ser reconvertida nos seus constituintes. Em geral os sistemas de construção e montagem apenas mecânica (de preferência de "junta seca") são os mais fáceis de recuperar²²⁰. As opções a nível dos materiais e das suas formas de colocação em obra são também determinantes para a manutenção do edificado ao longo do seu uso.

Nos edifícios de grande complexidade é difícil adoptar sistemas estruturais não permanentes, facilmente desmontáveis, que sejam compatíveis com os requisitos de estabilidade e de segurança.

Em síntese, no que refere aos sistemas construtivos, de acordo com Yeang²²¹ assegurar a sustentabilidade passa por incluir em projecto as seguintes estratégias:

- *projectar para reutilizar* – projectar componentes desmontáveis; reduzir o número de materiais diferentes; estudar como identificar os materiais e os ingredientes na fase de desmantelagem;

²²⁰ Yeang – El rascacielos ecológico, 2001.

²²¹ Idem.

- *projectar para reciclar* – projectar assegurando a possibilidade de eliminar componentes que contaminem o processo de reciclagem (apenas se justifica se a reciclagem tiver menos impactes do que a produção de origem);
- *projectar para a durabilidade* – alargar a vida dos materiais e do sistema construtivo, atendendo a que um produto durável e de fácil manutenção e reutilização minimiza os resíduos do edifício;
- *projectar para otimizar materiais* – reduzir a quantidade de materiais necessários; eliminar componentes supérfluas; minimizar o uso de materiais cujas reservas sejam limitadas;
- *projectar para adaptar* – projectar sistemas flexíveis que permitam adaptações a alterações de programa e de uso do espaço evitando soluções rígidas que conduzam à rejeição e à demolição;
- *projectar a reintrodução no meio natural* – projectar com materiais biodegradáveis que possam ser reintegrados nos sistemas naturais com impactes negativos mínimos;
- *projectar para reparar e manter* – assegurar que as componentes são reparáveis prevendo componentes técnicas substituíveis sem afectar a estrutura geral do edifício; escolher uma estética que permita actualizações através de elementos-chave substituíveis e acompanhe as necessidades de identificação dos utentes.

4.4 Avaliação ambiental

4.4.1 Métodos de avaliação do desempenho ambiental de edifícios

A extracção de matérias-primas e a produção de materiais, a construção de edifícios, o seu uso e manutenção, e a sua demolição implicam consumos de energia e de recursos naturais, bem como a produção de resíduos e de emissões poluentes. Nesta cadeia complexa os impactes multiplicam-se determinando o desempenho ambiental total do edifício, cuja avaliação só é possível com a definição de indicadores que possam caracterizar as diversas fases com exactidão. A utilização de indicadores deve visar a avaliação do desempenho ambiental do edifício durante as fases de: produção dos materiais; processo de construção, uso e manutenção; e, processos de demolição (Figura 101).

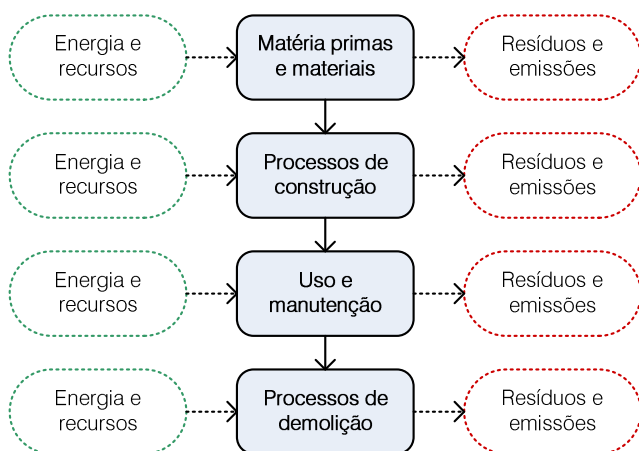


Figura 101 – Esquema do desempenho ambiental global de edifícios.

Têm sido desenvolvidos métodos para avaliar o comportamento ambiental global de edifícios baseados no uso de indicadores que permitem não só medir impactes ambientais directos mas também informar sobre os contributos que determinadas opções de desenho e de construção têm para a redução do consumo de energia e para outras melhorias ambientais nos edifícios.

A família de normas ISO 14000 está vocacionada para a avaliação da sustentabilidade ambiental, incluindo a norma ISO 14020 que estrutura informação ambiental de produtos, a norma ISO 14062 que conduz o planeamento da melhoria do desempenho ambiental de produtos, e ainda a norma ISO 14030 que verifica e avalia o seu desempenho ambiental. Estas normas são geralmente baseadas nas emissões (CO₂, SO₂, NO_x, CH₄ e VOCs), no uso de recursos naturais, nos efeitos na qualidade do ar interior, no tempo de vida estimado e nas possibilidades de reciclagem dos produtos²²².

Métodos vocacionados para avaliação do desempenho ambiental da habitação e das áreas residenciais estão já disponíveis em diversos países da Europa²²³. Em Portugal o sistema de avaliação LiderA (Tabela 9) pode também ser aplicado a edifícios de habitação²²⁴.

Tabela 9 – Método de avaliação LiderA v1.02.

CATEGORIA	ÁREA	N.º	CRITÉRIOS
LLIDER LOCAL E INTEGRAÇÃO 9 critérios 18,0%	Solo	C1	Seleção do local
		C2	Área ocupada
		C3	Funções ecológicas do solo
	Ecologia	C4	Áreas naturais
		C5	Valorização Ecológica
	Paisagem	C6	Integração local
	Amenidades	C7	Amenidades locais
	Mobilidade	C8	Mobilidade de baixo impacto
		C9	Acesso a transportes públicos
RECURSOS 15 critérios 30,0%	Energia	C10	Desempenho energético passivo
		C11	Consumo de electricidade total
		C12	Consumo de electricidade produzida a partir de fontes renováveis
		C13	Consumo de outras fontes de energia
		C14	Consumo de outras formas de energia renovável
		C15	Eficiência dos equipamentos

²²² ISO: International Organization for Standardization – URL:<http://www.iso.org>.

²²³ Para ter acesso a uma listagem actualizadas destes sistemas consultar o site URL:<http://crisp.cstb.fr>. A rede CRISP reuniu em 2002, 259 indicadores de 16 sistemas de avaliação diferentes.

²²⁴ URL: http://www.lidera.info/aplicacao_portugues.html.

RECURSOS 15 critérios 30,0%	Água	C16	Consumo de água potável (espaços interiores)
		C17	Consumo de água nos espaços exteriores
		C18	Controlo dos consumos e perdas
		C19	Utilização de águas pluviais
		C20	Gestão das águas locais
	Materiais	C21	Consumo de materiais
		C22	Materiais locais
		C23	Materiais reciclados e renováveis
CARGAS AMBIENTAIS 11 critérios 22,0%	Efluentes	C24	Materiais certificados ambientalmente/Materiais de baixo impacte
		C25	Caudal de águas residuais
		C26	Tipo de tratamento das águas residuais
	Emissões Atmosféricas	C27	Caudal de reutilização de águas usadas
		C28	Substâncias com potencial de aquecimento global (GEE)
		C29	Partículas e/ou Substâncias acidificantes (SO ₂ , NO _x)
	Resíduos	C30	Substâncias que afectam a camada de ozono (CFC's)
		C31	Produção de resíduos
		C32	Gestão de resíduos perigosos
	Ruído exterior	C33	Reciclagem de resíduos
	Poluição térmica	C34	Fontes de ruído para o exterior
AMBIENTE INTERIOR 8 critérios 16,0%	Qualidade do ar Interior	C35	Efeitos térmicos (efeito de ilha de calor)
		C36	Ventilação natural
		C37	Emissões de COVs
	Conforto térmico	C38	Micro-contaminações
	Iluminação	C39	Conforto térmico
		C40	Níveis de iluminação
	Acústica	C41	Iluminação natural
Controlabilidade	C42	Isolamento acústico/Níveis sonoros	
DURABILIDADE E ACESSIBILIDADE 4 critérios 8,0%	Durabilidade	C43	Controlabilidade
		C44	Adaptabilidade
	Acessibilidade	C45	Durabilidade
		C46	Acessibilidade a pessoas portadoras de deficiências
GESTÃO AMBIENTAL E INOVAÇÃO 3 critérios 6,0%	Gestão ambiental	C47	Acessibilidade e interacção com a comunidade
		C48	Informação ambiental
	Inovação	C49	Sistema de gestão ambiental
		C50	Inovações de práticas, soluções ou integrações

O procedimento de certificação do desempenho ambiental de edifícios HQE²²⁵ (*La Haute Qualité Environnementale*) foi desenvolvido pela *Association pour la Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*, com o apoio do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*. Este método é constituído por catorze princípios de desempenho ambiental para edifícios, organizados em quatro grupos (eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde) (Tabela 10). Trata-se de um método muito abrangente e flexível, podendo ser facilmente aplicado à habitação e áreas residenciais, como ferramenta de auxílio directo do projecto de arquitectura.

Tabela 10 – Método de avaliação HQE.

(fonte: arquitectura ecológica)

Eco construção	<i>Relação harmoniosa do edifício com a envolvente próxima</i> – Escolher a implantação e a orientação dos edifícios em função das características do terreno e das condições climáticas locais; privilegiar o tratamento vegetal das zonas livres; apostar em materiais e texturas adaptados à envolvente; considerar o tratamento acústico do terreno ou do edifício.
	<i>Seleção integrada de processos e produtos construtivos</i> – Conservar recursos escassos e fomentar o uso de matérias-primas renováveis ou recicláveis; otimizar o sistema construtivo e evitar sobredimensionar elementos; pedir aos fabricantes as características ambientais dos produtos; recorrer a materiais compostos e a técnicas que permitam a desmontagem para facilitar o reaproveitamento e finalizar o ciclo; adoptar medidas que favoreçam a execução de uma obra limpa.
	<i>Baixo impacte ambiental da obra</i> – Concretizar procedimentos adoptados em compromisso com os promotores; incorporar requisitos específicos sobre meio ambiente na consulta de empresas para a execução da obra; recorrer a um coordenador de segurança e saúde; informar e formar os operários; prever modos de gestão de resíduos durante a obra, disponibilizando contentores para triagem; informar-se das possibilidades de reciclagem local.
Eco-Gestão	<i>Gestão energética e adaptação ao clima</i> – Analisar a orientação dos edifícios em função do acesso solar; conceber envolventes isoladas e estanques ao ar; escolher sistemas de aquecimento e arrefecimento adaptados aos edifícios e à sua função; conseguir um equilíbrio entre iluminação natural, conforto de Inverno e de Verão; optar por instalações de baixo consumo de energia; recorrer a sistemas de gestão energética adaptados ao edifício e ao seu uso; incluir a geração energética renovável.
	<i>Gestão da água</i> – Recorrer a instalações técnicas e equipamentos de baixo consumo de água; escolher materiais de qualidade e equipamentos eficientes; implantar técnicas inovadoras de depuração autónoma de águas residuais; garantir a gestão das águas pluviais no terreno por retenção e infiltração, se a natureza do solo o permitir.
	<i>Gestão dos resíduos gerados pelo uso</i> – Informar-se sobre os resíduos produzidos futuramente pelo edifício; prever locais para armazenamento adaptados à natureza dos resíduos, à sua recolha e selecção.
	<i>Manutenção e conservação do edifício</i> – Facilitar a manutenção e a conservação; escolher materiais, revestimentos e instalações tendo em conta a sua durabilidade; facilitar o acesso a elementos que requerem manutenção.

²²⁵ Gauzin-Müller – Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos, 2002 – URL: <http://assohqe.org>.

Conforto	<i>Conforto higro-térmico</i> – Garantir o conforto de Verão e de Inverno, controlando o consumo energético associado; garantir o conforto ao longo das estações e a homogeneidade dos ambientes higro-térmicos; respeitar as normas de características térmicas; definir um invólucro com isolamento térmico reforçado, especialmente nos envidraçados; evitar as pontes térmicas; garantir a estanquidade ao ar; facilitar o controlo climático por parte dos utentes.
	<i>Conforto acústico</i> – Respeitar os regulamentos, ter em conta o comportamento acústico na definição da volumetria e disposição dos espaços; conciliar conforto visual e conforto acústico; prever barreiras acústicas naturais ou artificiais; limitar a reverberação usando materiais absorventes; controlar os níveis acústicos dos equipamentos.
	<i>Conforto visual</i> – Controlar a profundidade dos espaços, proporcionar vãos em função das superfícies e seus usos; definir a altura das janelas, o tipo de abertura e a espessura da caixilharia, garantindo a suficiência das superfícies luminosas; recorrer à iluminação indirecta; escolher cores claras para acabamentos interiores; prever meios de controlo e regulação da luz natural e da protecção solar.
	<i>Conforto olfactivo</i> – Garantir a redução ou eliminação das fontes de odores desagradáveis, seleccionando materiais e prevendo a ventilação.
Saúde	<i>Condições sanitárias</i> – Escolher materiais e equipamentos que favoreçam a salubridade e sistemas de ventilação eficazes; acompanhar a instalação dos equipamentos.
	<i>Qualidade do ar</i> – Procurar os produtos e materiais construtivos menos contaminantes; comprovar a conformidade de instalações; favorecer uma manutenção e uma conservação pouco contaminantes; adoptar medidas preventivas em caso de presença de radão no solo ou subsolo ou de ar exterior contaminado; conceber ou usar um sistema de ventilação eficaz.
	<i>Qualidade da água</i> – Evitar riscos e facilitar a manutenção da rede; proteger a rede de distribuição colectiva; prescrever materiais para canalizações de água potável; prever tratamentos preventivos se as características da água necessitarem; promover a substituição de canalizações de chumbo na reabilitação; verificar a temperatura da água quente armazenada; limitar o risco de contaminação com Legionella.

A qualidade ambiental que este procedimento ambiciona garantir pode implicar custos adicionais, provenientes de projectos experimentais ou da utilização de novos materiais e novas tecnologias da construção. Contudo, a sua aplicação para controlo da qualidade é simples pois não exige medições, baseando-se na aferição de um conjunto de recomendações.

O método de avaliação BREEAM (*Building research establishment environmental assessment method*) foi desenvolvido em Inglaterra, pelo *Building Research Establishment* (BRE) em 1998. Este método, um dos mais utilizados em edifícios de escritórios, é composto por dez critérios que agrupam cerca de cem indicadores relativos ao desempenho do edifício, desde o projecto e promoção e à gestão e operação do edifício (Tabela 11).

Tabela 11 – Método de avaliação BREEAM.

Gestão	Garantia pelo promotor da operação eficiente das instalações para maior sustentabilidade ambiental Sistema de gestão ambiental comprovável Manuais de operação do edifício disponíveis
Saúde e bem-estar	Um terço da superfície dos vãos pode ser aberto Estores reguláveis para controlo luz/sombra Luz natural repartida para controlo individual Nível de ruído ambiente inferior a 40 db Planos de manutenção para todas as instalações Recolha, registo e estabelecimento de metas relacionados com a satisfação dos utentes

Energia	Emissões de CO ₂ de 0 kg/m ² /ano a 160 kg/m ² /ano Política de energia divulgada e aprovada pelos utentes Fixação de objectivos Energia/CO ₂ Provas de evolução positiva em direcção aos objectivos
Transportes	Localização com transportes públicos e próxima de interface principal de transportes Boas ligações de transportes públicos e controlo do estacionamento de veículos Facilidades para ciclistas Acções de encorajamento do uso de transportes públicos e de diminuição do uso da viatura privada Transportes públicos para o centro urbano e para o interface de transportes, num raio de 500 m e frequência de 15 min.
Consumo de água	Consumo previsto de água pessoa/ano: 20 m ³ a 5 m ³ Contador de água para todos os abastecimentos; sistema de detecção de fugas Procedimentos de manutenção Monitorização trimestral do consumo
Materiais	Espaço para o armazenamento de materiais com bom acesso para a recolha 80% das componentes de construção com classificação A, de acordo com o <i>Green Guide Specification</i> A madeira para os elementos principais provém de fontes geridas de modo sustentável É possível a reutilização de > 50% das fachadas É possível a reutilização de > 80% da estrutura principal Plano para recolha e reciclagem de consumíveis Informação sobre materiais perigosos, para utentes e empreiteiros
Uso do terreno	O local foi anteriormente construído ou objecto de uso industrial nos últimos 50 anos O terreno está contaminado, tendo sido tomadas providências adequadas para a contenção ou limpeza do local antes da construção
Ecologia	Alteração do valor ecológico do local Árvores com diâmetro de tronco maior do que 100 mm Sebes, lagos, ribeiros, etc. mantidos e protegidos contra danos causados durante as obras
Poliuição	Ausência de produtos refrigerantes Detecção de fugas em sistemas de alto risco; isolamento do circuito de refrigeração Os queimadores em caldeiras têm níveis máximos de emissão de NO _x de 200 a 40 mg/kWh As instalações locais reduzem em 50% o escoamento de águas residuais para cursos naturais ou então há um sistema de tratamento local A especificação dos isolamentos evita substâncias que reduzem a camada do Ozono

O método de avaliação ECOHOMES (*The environmental rating for homes*) é uma versão do BREEAM adaptada para edifícios de habitação (Tabela 12). O objectivo deste sistema de indicadores é relacionar o desempenho ambiental com as necessidades de elevada qualidade de vida e de um ambiente residencial seguro e saudável. A avaliação é efectuada através de fichas por categoria e é complementada por auditorias e visitas de verificação²²⁶. O método EcoHomes é revisto todos os anos para assegurar que permanece representativo das boas práticas correntes e que acompanha as alterações técnicas e legislativas. Para apoiar os utilizadores deste método de avaliação, estão

²²⁶ Para informação mais detalhada consultar o site URL:<http://www.bre.co.uk/ecohomes>.

disponíveis publicações que o descrevem. Em complemento, existem publicações para ajudar os projectistas na escolha de materiais (ex., *The green guide to housing specification*²²⁷).

O método de avaliação PIMWAG (Tabela 13) foi concebido na Finlândia para o bairro ecológico de Vikki, o maior empreendimento ecológico deste país, para medir o desempenho ambiental de áreas residenciais com base em cinco critérios, com diferentes ponderações, que se subdividem em dezanove indicadores²²⁸. O método PIMWAG é aplicado em quatro momentos, dois de avaliação e dois de verificação. É realizada uma avaliação numa fase intermédia de desenvolvimento do projecto e quando o projecto está concluído. A verificação é realizada após a construção e após a demolição.

Tabela 12 – Método de avaliação ECOHOMES.

Energia	Emissões de CO ₂ Forma do edificado Equipamentos com ecolabel Espaços para secagem natural e Iluminação
Transporte	Transporte público Armazenamento de bicicletas Serviços locais Trabalho em casa
Poluição	Emissões de CFS Emissões de NO _x Redução do escoamento superficial
Água	Uso interior de água Uso exterior de água
Materiais	Madeira nos elementos estruturais de base Madeira nos acabamentos Infra-estruturas de reciclagem Impacte ambiental dos materiais
Ecologia	Valor ecológico do sítio Protecção melhorias e alterações ecológicas Pegada ecológica
Bem-estar	Iluminação natural Isolamento acústico Espaços privados

Tabela 13 – Método de avaliação PIMWAG.

Poluição	emissões de CO ₂ Água residual Lixo de construção Lixo dos residentes
Recursos	Energia de aquecimento Energia eléctrica Energia primária Flexibilidade e multi-funcionalidade
Salubridade	Clima interior Riscos de humidade Ruído, vento e impacto solar
Bio diversidade	Vegetação Retenção e infiltração de águas:
Produção alimentar	Zonas cultivadas Conservação e reutilização de solo disponível para agricultura

De entre estes métodos de avaliação do desempenho ecológico de edifícios e bairros, o método americano LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design – Green Building Rating System*TM) é sem dúvida o que tem tido mais divulgação e aplicação por todo o mundo. Este método, desenvolvido pelo *U.S. Green Building Council* evoluiu e ramificou-se, cobrindo actualmente todo o tipo de edifícios e

²²⁷ Anderson; Howard - *The green guide to housing specification*, 2000.

²²⁸ URL:<http://cic.vtt.fi/eco/vikki>.

todas as fases do seu ciclo de vida, incluindo versões específicas para a construção nova, para a habitação, para bairros, para a reabilitação e remodelação, etc.²²⁹.

O LEED é um programa de certificação voluntária que promove uma abordagem à sustentabilidade dos edifícios avaliando o desempenho da construção nas seguintes áreas chave:

- lugar sustentável (*sustainable sites*);
- eficiência hídrica (*water efficiency*);
- energia e atmosfera (*energy & atmosphere*);
- materiais e recursos (*materials & resources*);
- qualidade do ar interior (*indoor environmental quality*);
- localização e articulação (*locations & linkages*);
- consciência e educação (*awareness & education*);
- inovação no projecto (*innovation in design*);
- prioridade regional (*regional priority*).

Como será referido a propósito da “avaliação ambiental informatizada” o *U.S. Green Building Council* comercializa, para além dos manuais de apoio à certificação LEED, as ferramentas informatizadas específicas para uma aplicação mais eficiente deste método.

4.4.2 Avaliação do ciclo de vida de edifícios – LCA

Grande parte dos custos ambientais da edificação a longo prazo não se reflecte no custo inicial de construção, sobretudo porque não há uma incorporação dos custos gerados após a construção. Espera-se que a existência de taxas sobre a água e a energia consumida e os resíduos produzidos, venham a modificar gradualmente esta situação²³⁰.

A avaliação do ciclo de vida dos edifícios tem como objectivo contabilizar o desempenho ambiental de um edifício ao longo de todas as fases que decorrem entre a sua génese e demolição ou desconstrução. Podem ser realizadas avaliações do desempenho ambiental ao longo do ciclo de vida de materiais ou de edifícios recorrendo a indicadores.

O método UK Ecopoints, desenvolvido pelo BRE, é um dos mais utilizados para avaliar o ciclo de vida dos edifícios. Este método consiste na consideração de um conjunto de indicadores que permitem pontuar os impactes ambientais de edifícios. Um *Ecopoint* é uma unidade de medida de impacte ambiental que abrange os seguintes critérios:

- extracção de minerais;
- consumo de combustíveis fósseis;
- transporte de cargas e mercadorias;
- toxicidade do ar para o homem;

²²⁹ URL:<http://www.usgbc.org>.

²³⁰ ACE (et al.) – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável, 2001.

- toxicidade da água para o homem;
- deposição de resíduos;
- extracção de água;
- acidificação;
- eutrofização;
- *smog* de Verão;
- alteração do clima.

O sistema analisa as fases de extracção, a transformação, o fabrico, o transporte e o uso dos produtos no edifício e, finalmente, a sua deposição. Estas fases são cruzadas com as categorias de impactes ambientais referidas, sujeitas, cada uma, a uma ponderação relativa ao impacte ambiental global que produzem.

O resultado do cálculo pelo sistema de Ecopoints é um valor proporcional ao impacte ambiental global do edifício ou produto. O valor de referência é 100, equivalente ao impacte ambiental médio causado durante um ano por um cidadão do Reino Unido²³¹.

A avaliação do custo do ciclo de vida (*Whole Life Cycle – WLC*) é outro tipo de avaliação de edifícios semelhante ao LCA, mas que contabiliza os "custos reversíveis" e não só os custos imediatos, favorecendo edifícios ambientalmente eficientes, ao contabilizar o retorno do investimento através da redução de consumos do edifício.

A avaliação WLC estabelece uma relação entre economia e ambiente, classificando os produtos de acordo com a estimativa do tempo de duração. Cada custo ambiental de um material ou de uma componente é relativizado pelo seu tempo de vida útil.

No caso de uma habitação de baixo consumo energético a consideração dos custos do ciclo de vida desde o início é essencial para se estabelecer um equilíbrio entre o custo de construção (mais alto do que o convencional) e o custo de utilização (mais baixo do que o convencional).

4.4.3 Avaliação ambiental informatizada

A avaliação do desempenho ambiental de edifícios exige o processamento de muita informação pelo que requer instrumentos informáticos que facilitem a sua gestão e o cálculo de resultados, sendo usualmente constituídos por bases de dados e rotinas de avaliação.

A utilização de programas informáticos no processo de projecto para a previsão de desempenhos ambientais tem-se vindo a generalizar nos gabinetes de arquitectura, ajudando os projectistas a dar uma resposta ao programa respeitando exigências de sustentabilidade.

Existem dois tipos de programas para a avaliação de desempenho ambiental de edifícios. Os mais simples pretendem apenas avaliar o desempenho, ambiental ou energético, através de parâmetros gerais, medindo e ponderando indicadores quantificáveis em cada caso concreto. Os mais complexos

²³¹ Smith – Architecture in a climate of change: A guide to sustainable design, 2001.

para além de avaliarem o desempenho do edifício recorrem a bases de dados que caracterizam o desempenho ambiental dos materiais e componentes.

Para a avaliação do desempenho ambiental geral de edifícios existem inúmeros programas informáticos de fácil utilização, dos quais se destacam os três mais utilizados:

- GBTool – *Green Building Challenge*²³²;
- BREEAM – *Building Research Establishment*²³³;
- LEED – US Green Building Council²³⁴.

Mas ainda antes de avaliar o desempenho ambiental em todas as suas componentes, apenas estimar o desempenho energético de um edifício requer já a realização de cálculos complexos que exigem a utilização de programas informáticos específicos. Os programas mais simples de avaliação energética podem ser utilizados em fases iniciais do processo de concepção de edifícios, mas os mais rigorosos requerem informação que só é possível obter em edifícios já praticamente concebidos.

A nível internacional existem vários programas informáticos de avaliação do desempenho energético, já bastante testados, dos quais se destacam os seguintes:

- ATHENA – programa desenvolvido no Canadá pelo *Sustainable Materials Institute*²³⁵;
- *First Rate House Energy Rating Software Package* – programa desenvolvido pela *Sustainable Energy Authority* (EUA) que para além de avaliar o desempenho energético de uma habitação, em concepção ou já construída, gera automaticamente recomendações para a melhoria da sua eficiência energética²³⁶.

Os programas informáticos disponíveis para o processamento de informação relativa ao desempenho ambiental em edifícios são numerosos. Porém, os resultados destes programas não são fiáveis se as bases de dados que caracterizam o comportamento ambiental e económico dos materiais e sistemas não estiverem actualizadas ou não forem adequadas ao contexto local.

Alguns programas informáticos apoiam-se em bases de dados próprias e outros recorrem a bases de dados elaboradas por instituições de investigação. Por exemplo, o programa Gabi4²³⁷, desenvolvido pela Universidade de Estugarda (Alemanha), utiliza a base de dados suíça Ecoinvent²³⁸.

Finalmente, de entre os programas informáticos para avaliação LCA que incluem uma base de dados actualizável, pode referir-se o LEGOE que é um programa desenvolvido pela Universidade de Karlsruhe (Alemanha) que se baseia em 45 critérios de avaliação e na conjugação das bases de dados de materiais da Suíça, Holanda e Alemanha²³⁹. A base de dados inclui informação sobre 250 materiais diferentes que foram caracterizados de acordo com 45 critérios, agrupados em três conjuntos

²³² URL: <http://www.iisbe.org/gbc2k/gbc-start.htm>.

²³³ URL: <http://www.breeam.org/index.jsp>.

²³⁴ URL: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryID=19>.

²³⁵ URL: <http://www.athenasmi.ca/index.html>.

²³⁶ URL: <http://www.sustainability.vic.gov.au/www/html/1491-energy-rating-with-firststrate.asp>.

²³⁷ URL: <http://www.gabi-software.com>.

²³⁸ URL: <http://www.ecoinvent.ch>.

²³⁹ URL: <http://www.sirados.de/c.php/Produkte/Legoe-Bausoftware/Kopla.html>.

(economia, energia e ecologia). Estes critérios foram aferidos nas fases de uso, manutenção, reposição e deposição de cada material. Tendo em vista permitir a fácil comparação de opções construtivas, o programa foi concebido com um interface simplificado que interage com programas de desenho de uso corrente (ex., AutoCad).

Os investigadores envolvidos na concepção deste programa constataram que a informação contida na base de dados é válida nos três países de referência, pois verificaram que não existem grandes diferenças de desempenho ambiental para o mesmo material²⁴⁰. Contudo, há ainda muitos materiais que não estão constam na base de dados, ou aos quais foi atribuído um "equivalente" (i.e., o seu desempenho foi considerado equivalente ao de outro material já constante na base de dados). O programa LEGOE poderá ser aplicado em Portugal, após adaptação da base de dados, o que constitui uma tarefa complexa e dispendiosa que deve ser realizada com rigor para assegurar a credibilidade dos resultados. A viabilidade do investimento necessário depende do nível de utilização expectável do programa, sendo questionável se projectistas estarão dispostos a utilizar o programa e a alterar os projectos, de acordo com os resultados, se isso não for obrigatório.

²⁴⁰ Programa apresentado em conferência de Helder König no Seminário "Situação da arquitectura sustentável na Europa", Ordem dos Arquitectos, 2004, Lisboa.

5. Tendências da habitação e da arquitectura sustentável

Numa sociedade em rápida transformação a habitação encontra-se numa situação de crise marcada por défices de qualidade e de diversidade. A construção corrente revela um reduzido nível de inovação, cabendo a intervenções com especial apoio financeiro e científico o desafio de aplicar princípios de sustentabilidade ambiental.

Interessa entender em que contextos, nacionais e internacionais, estas soluções mais sustentáveis têm sido aplicadas, a que princípios têm conseguido dar resposta e como se têm reflectido na arquitectura habitacional.

No contexto nacional os projectos de habitação que integram estratégias para o uso eficiente dos recursos naturais são ainda pouco numerosos, mas a competitividade da economia e do sector da construção do futuro não poderá assentar senão em elevadas exigências ambientais.

Para dar resposta aos desafios da sustentabilidade, recorre-se a soluções tecnológicas para melhorar desempenhos, mas esta eco-tecnologia recente não deverá conduzir ao esquecimento das respostas que a História oferece para a construção em equilíbrio com o meio ambiente. Simultaneamente, a degradação do parque edificado evidencia que a reabilitação constitui uma oportunidade para integrar estratégias de melhoria do desempenho ambiental de edifícios existentes.

Estas tendências de inovação eco-tecnológica criam formas específicas de pensar e materializar a arquitectura, preservando a qualidade do ambiente não só através da sua componente física, mas também através do seu valor simbólico e ideológico.

5.1 Arquitectura e sustentabilidade

Diversos arquitectos conceberam edifícios que abordam o tema da sustentabilidade ambiental utilizando diferentes expressões arquitectónicas, mas tendo em comum a integração da gestão energética e de materiais alternativos de baixo impacto ambiental. Arquitectos como Richard Rogers, Thomas Herzog, Renzo Piano, Shigeru Ban ou Norman Foster partilham um objectivo: alcançar o máximo com o mínimo de meios e de impactes, ou seja, um *less is more* em termos ecológicos²⁴¹. Este objectivo foi difundido pelo arquitecto Richard Rogers, no documento *Towards an urban renaissance* que defende o desenho passivo integrado de edifícios, o uso inteligente de materiais e componentes, tendo em atenção os benefícios da transferência de tecnologia proveniente de outras indústrias, e o uso de capital intelectual, desenvolvendo colaborações estreitas com consultores especializados²⁴².



Figura 102 – Casa em Regensburg.

Arq.º Thomas Herzog, 1977-1979.

(fonte: Green Architecture)

Figura 103 – Fábrica em Munique.

Arq.º Thomas Herzog, 1996.

(fonte: Architecture and the Environment)

Para Thomas Herzog (Figura 102 e Figura 103), que defende que se devem retirar lições sobre eficiência, adaptabilidade, variedade e beleza, estudando os princípios e mecanismos do meio natural, o desenho sustentável de edifícios pode ser definido como "o método de trabalho que visa a preservação dos nossos recursos naturais e o uso extensivo de energias renováveis"²⁴³. Para este autor os temas-chave do projecto sustentável vão desde o desempenho térmico até à flexibilidade e

²⁴¹ Wines – Green architecture, 1992.

²⁴² Rogers – Towards an urban renaissance, 2002.

²⁴³ Wines – Green architecture, 1992.

desmontagem de edifícios, mas a integração de tecnologias e componentes para o uso de energias limpas, controlando o seu impacto na imagem do edifício, são temas privilegiados.

Renzo Piano, discípulo de Richard Rogers, foi defrontado com um desafio especial quando em 1991 foi seleccionado para o projecto de um novo centro cultural para a Nova Caledónia (Figura 104). O desafio não permitia uma resposta de arquitectura ocidental *high tech* como então se fazia noutros contextos. Com a conclusão do centro cultural de Jean-Marie Tjibao, Piano conseguiu o que então parecia ainda impossível: criar um espaço habitável onde a tradição se torna revolução, permitindo o afastamento do tecno-centrismo de então e contribuindo para a sua substituição pelo conceito de eco-centrismo, que se afirmaria nas décadas seguintes.

Mas não foi apenas em contextos de paisagem natural exótica como a Nova Caledónia que Piano aliou tecnologia e ecologia. Em Lyon, a "Cidade Internacional" é um complexo de habitação, escritórios, serviços e comércio que se torna um microcosmo devido à sua sofisticada envolvente (Figura 105). Piano conseguiu criar cidade, ao mesmo tempo que garantia elevada eficiência energética, qualidade dos espaços públicos e das relações com o exterior.



Figura 104 – Centro Cultural Jean-Marie Tjibao.
Arq.º Renzo Piano, Nova Caledónia, 1992.
(fonte: Green Architecture)



Figura 105 – Cité Internationale.
Arq.º Renzo Piano, Lyon, 1995.
(fonte: Luís Morgado)

Shigeru Ban desenvolveu uma técnica construtiva alternativa, baseada em tubos estruturais de papel reciclado. Depois do terramoto de Kobe, em 1995, o arquitecto foi encarregado de projectar uma igreja e um conjunto de habitações de emergência para os desalojados pela catástrofe, concebidas para serem rapidamente erguidas sem pessoal especializado e com o mínimo de recursos. As habitações temporárias construídas conseguiram alcançar bons níveis de isolamento sem custos adicionais

devido ao uso do papel²⁴⁴. A tipologia adoptada reinventa a casa convencional, garantindo o máximo de conforto com o mínimo de recursos.

Chesa Futura (2002) é um edifício habitacional na Suíça, no Vale de Engadin, que alia as tradições locais de construção de madeira à tecnologia digital que permitiu o controlo das formas curvas que geram o edifício (Figura 106). O edifício é inteiramente revestido a madeira e provido de massa térmica para isolamento da parte norte da "bolha" habitável, pousada sobre *pilotis*. Este edifício pode ser contraposto a outro conjunto habitacional de Norman Foster, com as mesmas preocupações de sustentabilidade, mas como uma diferente expressão arquitectónica. O Conjunto de Duisburg (2001), embora não utilize a madeira, incorpora princípios de ecologia na sua globalidade até mais significativos. O conjunto inclui a reabilitação de um edifício industrial e uma construção nova. Os apartamentos de baixo custo são orientados Norte/Sul e todos têm um espaço exterior. A envolvente do edifício permite o controlo ambiental passivo de elevada eficiência: a Sul o envidraçado sombreado funciona como uma estufa cujo controlo térmico é feito pela abertura de um vidro exterior, para activação, ou pelo fecho de uma parede interior deslizante, para desactivação da estufa (Figura 107).



Figura 106 – Conjunto habitacional Chesa Futura.
Arq.º Norman Foster, 2002.



Figura 107 – Conjunto habitacional Duisburg.
Arq.º Norman Foster, 2001.



(fonte: www.fosterandpartners.com)

São numerosos os exemplos de arquitectura habitacional integrando princípios de sustentabilidade ambiental já construídos em toda a Europa e internacionalmente reconhecidos. Muitos destes bairros e edifícios de habitação resultaram de projectos com financiamento especial e tiveram como objectivo, não só testar e demonstrar a viabilidade de determinadas soluções, mas também sensibilizar as comunidades de utentes.

²⁴⁴ As habitações foram constituídas com paredes de tubos de 10 cm de diâmetro, entre os quais foi aplicada uma esponja impermeável, cobertura em tenda com possibilidade de abertura para ventilação e fundações em grades de garrafas preenchidas com sacos de areia.

Os edifícios e bairros apresentados em seguida exemplificam a aplicação dos princípios e práticas de sustentabilidade ambiental à habitação. Foram considerados relevantes devido à sua inovação tecnológica ou tipológica.

5.2 Panorama da habitação sustentável na Europa

5.2.1 Exemplos no Reino Unido

House of the Future South Wales

Este projecto procurou criar um protótipo de casa para o futuro (Figura 108). Trata-se de um edifício de habitação unifamiliar que se destaca não só pela sua eficiência ecológica e desempenho energético exemplar, mas também pela sua flexibilidade tipológica que permite uma adequação a diferentes modos de vida (não se restringindo aos usos da família convencional).

Ao nível da construção, este edifício apresenta as seguintes características:

- construção leve, super-isolada e provida de inércia térmica pontual;
- estrutura de madeira de carvalho local e paredes exteriores de tabique de madeira, isolado pelo interior;
- isolamento térmico de paredes de lã de ovelha tratada (U de $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- inércia térmica proveniente de blocos de terra com cal integrados no pavimento térreo de betão;
- cobertura revestida a alumínio reciclado;
- isolamento térmico da cobertura com celulose proveniente de papel reciclado tratado com borato de sódio para protecção contra o fogo e insectos (U de $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$).

O que tornou esta habitação um edifício de referência foi, mais do que as suas características construtivas, a forma como integrou os sistemas para a eficiência energética:

- os colectores solares na cobertura disponibilizam água quente;
- um gerador eólico integrado na cumeeira, em conjunto com painéis fotovoltaicos, cobrem as exigências correntes de energia eléctrica;
- uma bomba de calor de alta eficiência complementa as necessidades energéticas globais;
- o envidraçado a Sul é configurável de acordo com as estações do ano e permite a captação e controlo passivo de ganhos solares.

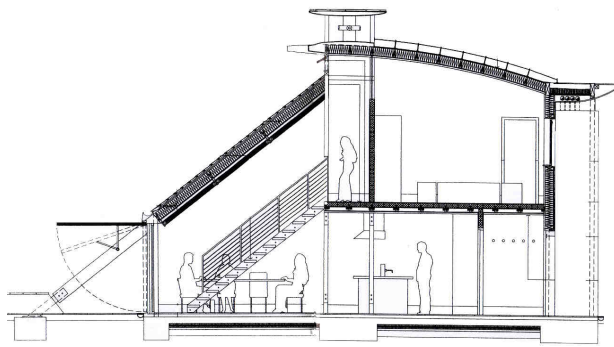


Figura 108 – House of the future.
Arq.^{os} Jestico+ Whiles, South Wales.

(fonte: Architecture in a climate of
Change)

Nesta habitação o espaço a Sul é contínuo para distribuir uniformemente os ganhos térmicos. Internamente o espaço é definido por paredes não portantes, amovíveis, permitindo adaptabilidade total.

Em termos de gestão da água, as águas pluviais são recolhidas em cisternas e filtradas mecanicamente para alimentação das casas de banho e lavandaria, cobrindo 25% das necessidades médias da família.

A Casa da Futuro de South Wales beneficiou da investigação sobre o uso da madeira estrutural que o centro de tecnologia da madeira do BRE desenvolveu. Neste caso recorreu-se ao uso de madeira verde, cuja humidade permite deformações, possibilitando estruturas curvilíneas num processo construtivo em que a própria secagem natural da madeira estabiliza a estrutura, conferindo-lhe resistência.

O BRE acompanhou também a concepção e construção experimental de um bloco de apartamentos de seis andares, com estrutura totalmente de madeira e revestimento de tijolo, experiência que pode vir a favorecer o uso de madeira estrutural na habitação multifamiliar²⁴⁵.

Hockerton Energy Project

Da autoria dos arquitectos Brenda e Robert Vale, Hockerton é um projecto demonstrativo que se tornou uma referência para as áreas residenciais de baixa densidade ambientalmente sustentáveis, construído também no Reino Unido. O conjunto habitações unifamiliares em banda consiste numa linha de casas agrupadas dispostas ao longo de um eixo Nascente Poente, expondo os vãos a Sul e encaixando-se no solo no lado Norte (Figura 109 e Figura 110).

²⁴⁵ Smith – Architecture in a climate of change: A guide to sustainable design, 2001.



Figura 109 – Hockerton Energy
Project: vista do exterior a Poente.
(fonte: www.unige.ch/cuepe/idea)



Figura 110 – Hockerton Energy
Project: vista do exterior a Nascente.
(fonte: www.unige.ch/cuepe/idea)

O projecto integrou vários princípios de ecologia da construção e de baixo consumo energético da habitação²⁴⁶. O bairro foi concebido sob o desígnio da autonomia energética, flexibilidade funcional e baixa densidade, pretendendo ser auto-suficiente a diversos níveis, incluindo na produção de alimentos. Contudo, o bairro foi pensado sem estabelecer qualquer continuidade com sistemas urbanos existentes deixando em aberto as questões relativas à mobilidade gerada, sobretudo por se tratar de um bairro sem serviços e com uma autonomia funcional limitada.

Este conjunto habitacional resultou das opções ideológicas sobre sustentabilidade dos seus moradores. Para garantir o seu funcionamento foram estabelecidas regras que só sectores minoritários da população estão dispostos a cumprir. A título de exemplo, está estipulado pelas regras que é apenas permitido um automóvel movido a combustíveis fósseis por habitação e são requeridas, a cada residente adulto, oito horas mensais de trabalho comunitário de manutenção da área residencial (i.e. cultivo, limpeza, conservação).

A construção foi totalmente racionalizada e as paredes estruturais que separam os fogos e os compartimentos funcionam como acumuladores dos ganhos solares passivos pois contactam com a Estufa (Figura 111).

²⁴⁶ URL: <http://www.hockertonhousingproject.org.uk/SEFS/ID.765/SEFE/ViewItem.asp>.

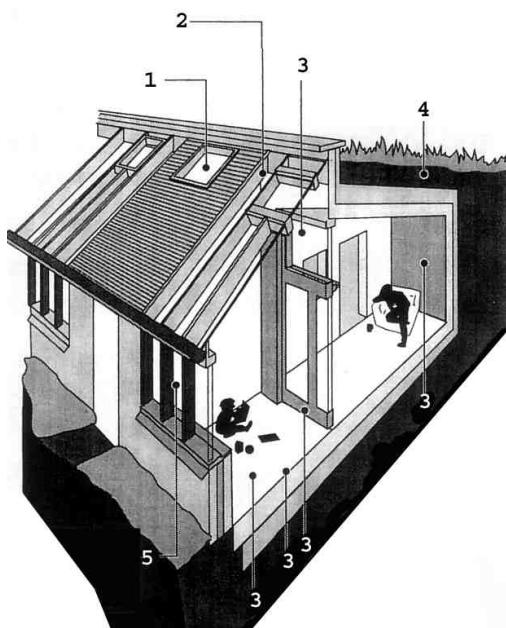


Figura 111 – Corte transversal de uma habitação em Hockerton.

- 1 - As aberturas zenitais permitem ventilação.
- 2 - Os materiais de construção são ecológicos.
- 3 - O sobreaquecimento é evitado pela orientação.
- 4 - A cobertura de 50 cm de solo, a estrutura de betão e o isolamento mantêm as temperaturas estáveis.
- 5 - Os envidraçados são duplos e triplos.

(fonte: Sustainable Housing. Principles and Practices)

A avaliação dos custos a longo prazo, ponderando custos de construção e custos de ocupação, em conjunto com as economias alcançadas com a racionalização da construção permitiu que neste conjunto habitacional se aplicasse já vidro triplo, ainda pouco usual em habitação de custo médio.

A nível tipológico, a modulação contínua e neutra dos compartimentos permitiu uma grande flexibilidade da organização do fogo, favorecendo distribuições variáveis das funções domésticas. Os compartimentos são de dimensões idênticas e as funções podem ser dispostas de acordo com as vivências de cada família.

Os compartimentos modulares estão ligados por um espaço solar polivalente, uma estufa, que confere fluidez interior à habitação e permite que todos os compartimentos beneficiem do solar passivo (Figura 113). Esta estufa está integrada na configuração das habitações de modo a que o Sol de Inverno alcance os compartimentos profundos, sendo protegida durante o Verão por toldos interiores para evitar ganhos excessivos.

Este conjunto habitacional destaca-se pelas seguintes características (Figura 112):

- 90% de poupança energética comparado com a habitação convencional;
- autonomia em água, alcançada com colectores de águas pluviais e tratamento de efluentes com plantas;
- armazenamento térmico proporcionado pela envolvente em terra;
- 70% de recuperação de calor extraído de ar aquecido;
- super-isolamento das paredes (30 cm);
- gerador eólico para redução de dependência energética da rede eléctrica.

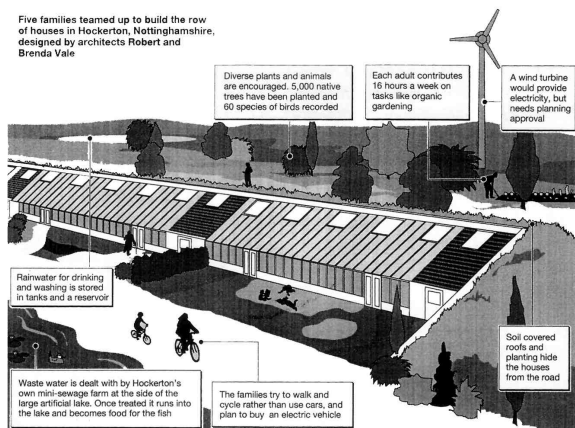


Figura 112 – Conceito global de Hockerton Energy Project.
(fonte: Sustainable housing. principles and practices)

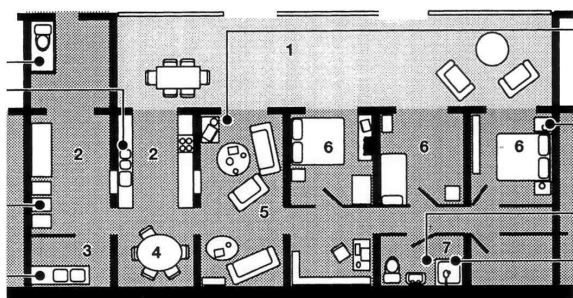


Figura 113 – Idem. Planta ilustrada.

1 - Estufa, 2 - Cozinha e resíduos, 3 - Lavandaria, 4 - Sala de jantar, 5 - Sala de estar, 6 - Quartos, 7 - Casa de banho.



Figura 114 – Habitação em Hockerton. Vista do interior da estufa.

BedZed Factory

Este conjunto constituído por 82 fogos, 1.600 m² de área de trabalho e vários equipamentos comunitários constitui um exemplo emblemático de habitação ecológica experimental que mais do que uma casa ou um conjunto de casas, cria um micro-sistema urbano (Figura 115). Trata-se de um agrupamento de alta densidade inspirado pela *Urban Task Force* de Richard Rogers, onde cada proprietário tem um espaço verde privado e onde a mobilidade urbana dos moradores é um tema tão importante como a edificação, no que respeita ao controlo de contaminação (em particular por gases com efeito de estufa). Dos principais objectivos deste empreendimento destaca-se a utilização de materiais locais (a maioria dos materiais são provenientes de localidades num raio máximo de 35 milhas), reciclados e reutilizados (foi utilizado aço e madeira da demolição de um edifício não muito distante).



Figura 115 – Bed Zed Factory, Beddington Zero Energy Development. (fonte: www.unige.ch/cuepe/idea)

Arq.º Bill Dunster, Hackbridge, Londres (Reino Unido), 2002.

No que respeita ao desempenho energético, as habitações foram dotadas de um isolamento térmico equivalente ao máximo para as habitações *low-energy* no Reino Unido (vidros triplos e 30 cm de isolamento), pelo que as necessidades de aquecimento são 90% inferiores às convencionais. Todas as habitações são servidas por uma central de co-geração, aproveitando localmente o calor residual originado nos processos termodinâmicos de geração de energia eléctrica. Este calor residual pode assim ser convertido em energia útil descarregada para a rede. A energia solar abastece 40 carros eléctricos que estão ao dispor dos moradores.

A conservação de água é conseguida não só pela utilização de casas de banho e máquinas de lavar com sistemas de poupança de água, mas também pela recolha e reciclagem das águas pluviais e residuais. Os resíduos domésticos produzidos pelos habitantes, normalmente destinados a aterro, são reduzidos em 80%. O aluguer dos escritórios integrados no complexo compensa em parte os custos adicionais das opções ecológicas mais dispendiosas.

A concepção e a construção deste empreendimento, garantindo requisitos de qualidade e sustentabilidade ambiental tão elevados, só foram possíveis devido à conjugação de um conjunto de intervenientes disponíveis para explorar um conceito experimental de habitação e devido ao empenho do Arquitecto Bill Dunster, responsável pelo conceito ZED (*zero emissions development*).

5.2.2 Exemplos na Alemanha

Bairro de Kronsberg – Hanôver

O Bairro de Kronsberg foi concebido no âmbito da Expo 2000 em Hanôver sob o tema *Homem, Tecnologia e Ambiente*. Esta intervenção urbana de grande escala criou 6.000 fogos para 15.000 habitantes e 2.500 empregos, tornando-se num projecto de referência²⁴⁷ no que respeita à sustentabilidade ambiental em áreas residenciais (Figura 116).

²⁴⁷ GEOHABITAT – Manual de diseño. La ciudad sostenible, 2002 (Baseado em "The Kronsberg Handbook")
URL: <http://www.sibart.org>.

A intervenção assentou nos seguintes objectivos:

- economizar espaço e solo fértil;
- promover o transporte ambientalmente sustentável;
- permitir a proximidade entre os locais de trabalho e de residência.

A equipa projectista reuniu e aplicou diversos conhecimentos actuais sobre construção ecológica e habitação sustentável, de acordo com o espírito da Agenda 21. No que respeita à promoção, houve uma decisão deliberada de não envolver apenas um grande promotor. As habitações foram construídas por mais de 30 promotores diferentes, que tiveram acesso a consultoria directa do município. Das habitações construídas 10% das habitações são privadas e as restantes 90% são do Estado, alugadas em regime de renda económica.



Figura 116 – Vista aérea do Bairro de Kronsberg.
Kronsberg (Hanôver), 2000.
(fonte: www.sibart.org)

Em termos de desempenho energético pretendeu-se alcançar uma redução de 60% relativamente aos consumos correntes em habitações na Alemanha, recorrendo à co-geração e à construção de habitações de baixo consumo energético. Adicionando a estas medidas a energia solar e a eólica, o objectivo estabelecido era que o desempenho energético do bairro alcançasse 80% de redução dos consumos convencionais estimados. Na realidade, depois da ocupação verificou-se uma redução em 47% dos consumos de energia devido à co-geração e às habitações de baixo consumo energético, e em 74% – contabilizando também o contributo solar e eólico. Esta política energética foi complementada por informação directa e pelo fornecimento de um manual do utilizador e de equipamentos de baixo consumo.

A gestão e reaproveitamento das águas pluviais foram entre os temas principais de estudo ao longo da concepção do bairro de Kronsberg aqueles que tiveram melhores resultados (Figura 17 e Figura 32).

Em Kronsberg a participação dos moradores nas decisões de projecto foi motivada de diversas formas. Foram formados grupos de trabalho para a tomada de decisões relativas ao espaço público integrando habitantes que à data do projecto já esperavam vir a ocupar o bairro.

Foram realizados *workshops* de esclarecimento e foi permitida, projecto a projecto, a aferição personalizada das soluções de arquitectura.

A variedade de tipologias que se encontram no bairro de Kronsberg é grande, abrangendo apartamentos de tipologias T0 a T6. Nas habitações mais experimentais do bairro, denominadas *casas Agenda 21*, a flexibilidade espacial foi um tema central de projecto. Este pequeno edifício residencial tem seis habitações que foram configuradas de forma variável por via de paredes móveis, a partir de uma estrutura metálica modular, permitindo a transformação dos espaços interiores ao longo da vida do edifício.

Um dos edifícios do bairro foi promovido por uma associação de idosos interessados em formas de alojamento que permitissem viver em comunidade com autonomia, reunindo 16 membros entre os 50 e 70 anos em apartamentos independentes, mas com serviços comuns.

Alguns apartamentos no bairro foram desenhados prevendo a possibilidade de adaptação em caso de futuras incapacidades dos moradores.

No âmbito do Projecto HABITAT foi projectado um conjunto residencial que reúne uma grande variedade de tipologias habitacionais, permitindo o alojamento de sub-agregados familiares em relação de vizinhança (Figura 117) e permitindo também que as famílias se mantenham no bairro ao longo das diferentes fases da vida familiar, à medida que o agregado familiar vai aumentando ou reduzindo (Figura 118).



Figura 117 – Projecto HABITAT: Edifício.
(fonte: www.sibart.org)

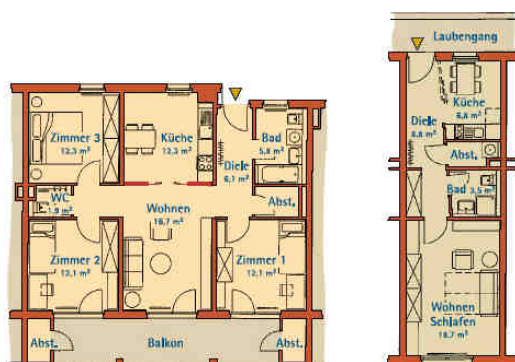


Figura 118 – Projecto HABITAT: Tipologias.
(fonte: www.sibart.org)

Um dos objectivos principais da construção foi evitar as pontes térmicas, pelo que a maior parte dos edifícios têm varandas termicamente separadas do corpo principal. Estas varandas são geralmente constituídas por uma estrutura autónoma de aço, isolada da estrutura principal que é maioritariamente de betão.

Foi elaborada uma "lista negra de materiais", ou seja, uma lista de materiais de construção proibidos. O uso desta lista garantiu que materiais como o PVC não fossem empregues na construção. Foram ainda promovidas várias conferências para divulgar informação e demonstrar que é possível construir casas de baixo consumo energético com os meios correntes, e sem recorrer a materiais ou tecnologias de excepção.

Mas a realização mais inovadora do Bairro de Kronsberg consiste no edifício micro-climático dos Arquitectos Willen Associates, de Wiesbaden, que atinge elevadas poupanças energéticas²⁴⁸. Este bloco habitacional organiza-se em torno de um átrio, ou jardim de Inverno, que fornece aquecimento, ventilação e arrefecimento passivos aos espaços habitáveis adjacentes, de acordo com as necessidades (Figura 119). Isto é possível porque o "átrio-jardim" é coberto de vidro, e contém vegetação e lagos que regulam o clima interior. A cobertura de vidro é coberta por três toldos transparentes onde está impresso um padrão que reflecte a radiação solar incidente (Figura 120). No Verão o toldo do meio é comprimido contra o toldo superior e os padrões encaixam formando uma cobertura que reflecte a totalidade da radiação (Figura 122). No Inverno o toldo do meio desce e sobrepõe-se ao toldo inferior, permitindo a passagem de radiação para que se aqueça o átrio e deixando uma caixa-de-ar que evita o arrefecimento nocturno (Figura 123).

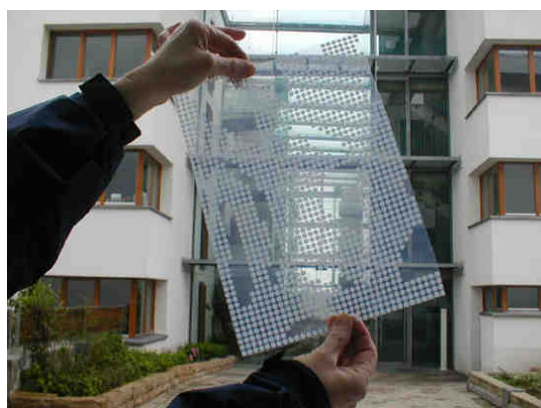


Figura 119 – Edifício com controlo micro climático avançado – Fachadas laterais do bloco.

Figura 120 – Idem – Padrão dos toldos reguláveis para posição de Inverno ou de Verão.

Figura 121 – Ibdem – Aspectos da fachada principal do conjunto habitacional.

Willen Associates, 1998-2001

²⁴⁸ Consumos de 36 Kw/m²/ano.

O "átrio-jardim" micro-climático tem também uma função social, hierarquizando zonas privadas, zonas comunitárias e zonas públicas. As cozinhas e as caixas de escada para ali comunicam através de vãos e varandas, onde painéis deslizantes asseguram a privacidade. As paredes dos fogos contíguas a esta zona são triplas, com elevado isolamento e providas de elevada massa térmica.

As fachadas exteriores que não dão para o átrio possuem elementos de sombreamento de correr em ripado de madeira, ajustáveis a cada estação do ano, podendo tornar-se opacas no verão, através da rotação do ripado (Figura 121).

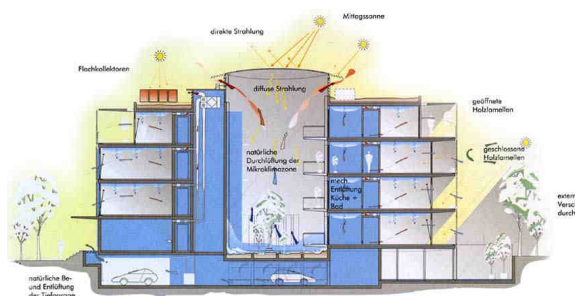


Figura 122 – Edifício com controlo micro-climático avançado – Esquema de Verão.

Willen Associates, 1998-2001.

(fonte: www.unige.ch/idea_buildings)

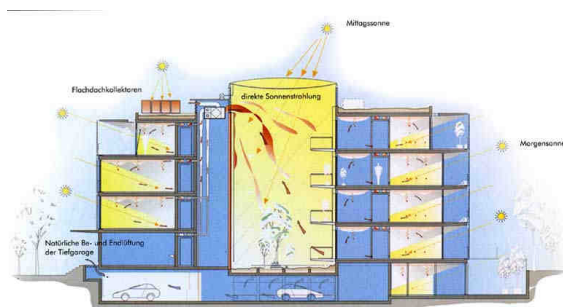


Figura 123 – Edifício com controlo micro-climático avançado – Esquema de Inverno.

Willen Associates, 1998-2001.

(fonte: www.unige.ch/idea_buildings)

Bairro de Vauban – Freiburg

O desenvolvimento deste bairro experimental teve início quando um conjunto de cidadãos com dificuldades em encontrar alojamento ocupou e reabilitou quartéis devolutos numa zona obsoleta da cidade de Freiburg. Este movimento de reabilitação, de génese informal, acabou por ser apoiado pela Expo 2000 e o bairro de Vauban, actualmente com 5.000 habitantes em 42 ha, tornou-se numa referência internacional para a habitação ecológica (Figura 124).

A construção e a evolução do bairro têm sido acompanhadas pelo Fórum Vauban, uma organização não-governamental que defende a participação directa dos cidadãos na definição do ambiente urbano em que vivem²⁴⁹. O Fórum Vauban é constituído por biólogos, físicos, arquitectos, paisagistas e outros profissionais que partilham um conceito específico de "qualidade de vida", baseado na relação com os espaços verdes, na mobilidade sustentável e na redefinição do conceito de progresso. Esta associação constitui o corpo técnico da intervenção em Vauban e permitiu estabelecer uma eficiente articulação entre os moradores e o município.

²⁴⁹ URL: <http://www.forumvauban.de>.



Figura 124 – Vista aérea do Bairro de Vauban.
Vauban (Freiburg), 2002.
(fonte: www.sibart.org)



Figura 125 – Espaço público sem carros.
Bairro Vauban (Freiburg).

A conservação das árvores foi um requisito de base, que o desenho urbano conseguiu cumprir na totalidade. O objectivo de criar um bairro sem carros, privilegiando a mobilidade pedonal e o uso de bicicletas (Figura 125) e retendo os automóveis em dois silos em cada extremo do bairro (Figura 126), muito embora tenha contribuído para a estruturação do bairro, não foi alcançado com pleno sucesso, pois é necessário um controlo social muito rigoroso para que as pessoas cumpram as regras da vivência sem carros que foram acordadas.



Figura 126 – Silos automóveis.
Bairro Vauban (Freiburg).
As garagens automáticas, em que os carros são elevados em plataformas, consomem menos iluminação e menos espaço. No entanto, como o investimento inicial era maior e por haver alguns precedentes de problemas de manutenção, a câmara de Freiburg optou por silos convencionais com acessos por rampas.

O Fórum Vauban provou que, para pessoas que façam menos de 15.000 km por ano, é compensador não ter carro, recorrendo ao *car-sharing* nas situações em que se necessita de um automóvel.

No que respeita às habitações, a principal inovação do bairro foi a incorporação de estratégias passivas para melhoria do desempenho térmico, tanto na reabilitação como na construção nova. Hoje, todas as habitações novas na cidade de Freiburg são obrigadas a ter baixo consumo energético (LEH), com consumos de energia não superiores a 65 kWh/m².ano. Os quartéis tinham inicialmente um consumo de 160 kWh/m².ano, mas depois de reabilitados (com isolamento pelo exterior e na cobertura) atingiram o valor de 60 kWh/m².ano, cumprindo os requisitos alemães actuais para habitações de baixo consumo energético. As habitações passivas atingiram um valor ainda mais baixo, de 15 kWh/m².ano (Figura 127).

De acordo com a experiência de Vauban, o conceito de habitação passiva parece ser um conceito para o futuro, sobretudo no contexto climático da Alemanha. A sua construção só representa 7% de custos acrescidos relativamente à habitação corrente e o período de retorno do investimento é de 20 a 25 anos, e a qualidade ambiental é garantida quando se ocupa uma destas habitações, devido aos grandes vãos, ao ar sempre fresco e seco, e à ausência de problemas de humidade ou de ruídos²⁵⁰.



Figura 127 – Habitações passivas.
Arq.º Rolf Disch, Bairro Vauban (Freiburg).

Durante o desenvolvimento deste bairro, chegou-se à conclusão que nas habitações passivas o uso de energia solar fotovoltaica e o aquecimento solar térmico é mais rentável de forma descentralizada do que recorrendo a um *district-heating* solar (aquecimento central de bairro), devido às perdas energéticas ao longo da rede.

A participação dos moradores ao longo da intervenção baseou-se em grupos de proprietários (cooperativas) que decidem juntos o que querem construir e onde cada futuro morador pode escolher os acabamentos da sua habitação. O edifício multifamiliar passivo, desenhado pelo arquitecto Michael Gies (Figura 100), foi concebido com a participação de uma cooperativa constituída por vários elementos do Fórum Vauban e onde o próprio arquitecto esteve envolvido. Embora tenha sido desenvolvido um plano de pormenor para o Bairro, não foram impostas regras ou regulamentos locais

²⁵⁰ De acordo com Andreas Delleske, membro fundador do Forum-Vauban.

que limitassem o desenvolvimento dos projectos quanto à escolha dos materiais ou às decisões sobre a forma do edifício.

Quanto aos materiais assumiu-se que os arquitectos respeitariam as regras definidas na Alemanha para os materiais ecológicos (normas DIN²⁵¹), e por isso não foi elaborada uma lista negra. Quanto à imagem arquitectónica dos edifícios e do bairro, atingiu-se uma grande variedade formal, mas a definição dos alinhamentos do conjunto edificado assegurou a unidade formal do bairro.

5.2.3 Habitação sustentável apoiada pela União Europeia

A União Europeia tem apoiado vários projectos experimentais para reduzir as emissões de CO₂ de origem doméstica em edifícios novos de habitação, através de programas como *Thermie* (Tabela 14) ou *Cepheus*. Estes programas europeus têm incentivado a utilização de sistemas passivos para obter maior eficiência energética, contribuindo para demonstrar a viabilidade económica da construção de *habitação solar passiva*²⁵². Também no âmbito da habitação social a União Europeia apoiou projectos experimentais de integração da energia solar.

O programa SUNH (*Solar Urban New Housing*)²⁵³, por exemplo, permitiu alcançar reduções de consumo energético da ordem dos 50% através do incentivo a soluções solares, da incorporação de elevado isolamento térmico, do reforço do isolamento dos vãos e da optimização da iluminação natural. Alguns edifícios apoiados pelo SUNH incluíram medidas inovadoras como o uso de isolamento à base de jornais reciclados, a redução dos resíduos da construção, o recurso à micro-geração de electricidade a partir de painéis solares fotovoltaicos, a utilização de vidros triplos, a aplicação de espaços solares/estufas, a orientação entre SE e SO, e o aquecimento solar de água ou o pré-aquecimento do ar de ventilação.

Tabela 14 – Usos de energia previstos pelas intervenções do programa SUNH.

(fonte: Social Housing leads the way in low energy solar design. Brochura sobre o programa SUNH)

P R E D I C T E D E N E R G Y U S E							
Project	Heating energy kWh / m ² / year			Electricity kWh / m ² / year		Area m ²	
	Standard	Thermie	Thermie – Solar	Standard	Thermie Thermie – Solar		
Caen	97	90		47	28	5000	
Mitros	101	59		30	24	109	
Farumsodal	131	94	10	33	33	97.2	
USBL	182	72		35	35	2600	
ATT	123	38	15	53	33	4505	
Sovereign 2	145	70		39	32	2	71
Ealing 1	129	56	15	37	32	76	
Ealing 2	129	84		37	32	76	
Qualitat	145	61	17	45	40	2600	

²⁵¹ DIN 18960, 2007.

²⁵² ECEEE 2003 Summer Study – Time to turn down the energy demand, 2003.

²⁵³ EHEN - SHINE, Solar housing through innovation for the natural environment, 2005.

No domínio das iniciativas europeias de apoio à habitação social é também de destacar o projecto SHE (*Sustainable Housing in Europe*)²⁵⁴, que conta com a participação de diversas organizações de habitação social, provenientes de quatro países diferentes (Dinamarca, França, Itália e Portugal) e que apoiou a construção de um bairro em Portugal, como se descreverá no capítulo seguinte.

O projecto pretende avaliar e demonstrar a viabilidade dos projectos de habitação sustentável através de projectos-piloto onde se integrem os critérios de sustentabilidade e a participação activa dos residentes nas principais etapas do processo de decisão. O projecto SHE tem sido desenvolvido por um consórcio entre organizações ligadas à construção de habitação social (cooperativas ou instituições estatais) e uma equipa de peritos europeus que fornece apoio científico, técnico e institucional para motivar a inovação nos projectos de habitação elaborados no âmbito deste projecto europeu.

5.2.4 Habitação sustentável em Portugal

No meio técnico nacional encontram-se vários projectistas a abordar o tema da sustentabilidade ambiental na arquitectura e construção, alguns dos quais trabalhando especificamente na habitação e áreas residenciais. Estes projectistas defendem que num clima mediterrâneo como o de Portugal é possível construir habitações com adequadas condições de conforto e elevado desempenho energético, aplicando tecnologias solares passivas e recorrendo apenas pontualmente às energias convencionais.

A sustentabilidade é já desde há algumas décadas um tema explícito em alguns edifícios habitacionais unifamiliares em Portugal, existindo vários exemplos de referência que exploram sobretudo o desempenho energético e a integração de sistemas solares passivos. De entre estes exemplos destacam-se as moradias concebidas por arquitectos como Fausto Simões, Carlos Araújo, Günther Ludwig (Figura 128) ou Fernanda Seixas²⁵⁵.



Figura 128 – Vista e secção de casa solar.

Arq.º Günther Ludwig, Porto Santo.

(fonte: Edifícios solares passivos em Portugal)

²⁵⁴ URL: <http://www.she.coop>.

²⁵⁵ Gonçalves – Edifícios solares passivos em Portugal, INETI, 1997.

Nos edifícios de habitação unifamiliar experimental deve também referir-se uma corrente que recentemente tem ganho visibilidade, ligada a materiais naturais e tecnologias tradicionais de construção; um pequeno grupo de profissionais que, um pouco por todo o País, mas sobretudo no Alentejo e no Algarve, redescobrem a construção de terra e outros materiais naturais, estudando técnicas tradicionais e aperfeiçoando-as ao longo das suas experiências.

Os objectivos destes profissionais ao trabalhar com materiais naturais são os de obter uma linguagem construtiva específica, preservar tradições culturais de grande valor e em desaparecimento, e evitar a proliferação de materiais tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente e humano, substituindo-os por materiais naturais²⁵⁶.

Dentro deste grupo podemos também incluir os jovens arquitectos do colectivo Plano B que mais do que defender pressupostos de raiz ecologista, procuram experimentar sistemas construtivos alternativos que complementam materiais naturais com materiais industriais (Figura 129), procurando criar uma arquitectura integrada, durável e de elevada qualidade estética²⁵⁷.

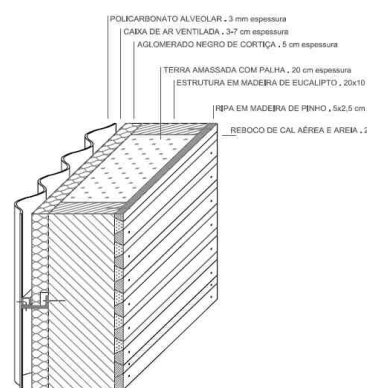


Figura 129 – Vista e secção de parede exterior de casa com sistema construtivo alternativo.

(fonte: www.planob.com)

Arq.^{os} Francisco Freire, Eduardo Carvalho e Luís Gama, Arruda dos Vinhos.

Na habitação multifamiliar os exemplos de edifícios sustentáveis em Portugal são mais escassos e os poucos que se podem identificar limitam-se a integrar estratégias para melhoria do desempenho energético e, em casos excepcionais, tecnologias de infra-estruturação eco-eficiente a nível de bairro, como no Parque das Nações, em Lisboa²⁵⁸. Entre os exemplos de habitação ecológica nacionais mais citados, encontram-se a Torre Verde e a Torre Sul, da autoria do gabinete Tirone Nunes. Estas duas torres tiveram grande divulgação e foram frequentemente apresentadas como os exemplos portugueses da sustentabilidade ambiental em edifícios; contudo abordam apenas os temas da energia e são pouco inovadoras no que respeita à integração na arquitectura das tecnologias solares

²⁵⁶ Elyzabeth; Adams – Alternative construction: contemporary natural building methods, 2000.

²⁵⁷ URL: <http://planob-arruda.blogspot.com>.

²⁵⁸ Fernandes (et. al) – Energy and environment in cities - A global strategy for Expo'98 Lisbon, Principles and Tools, 1997.

passivas. Pode argumentar-se que estes edifícios resultam de um processo de promoção imobiliária convencional, onde as "credenciais ecológicas" são utilizadas como factores de posicionamento num mercado cada vez mais competitivo.

O conjunto habitacional para Gondifelos, em Vila Nova de Famalicão, da autoria dos Arquitectos José Gigante e João Álvaro Rocha é outro exemplo de habitação multifamiliar que se pode considerar "mais sustentável" do que a habitação convencional. Trata-se de um edifício de habitação a custo controlado cuja arquitectura integrou profundamente as preocupações energéticas, alcançando soluções inovadoras e de grande economia. Este projecto foi premiado em concurso de arquitectura no âmbito do PLEA (Passive and Low Energy Architecture) de 1988.

A distribuição dos espaços no interior é feita para que todos os quartos e salas se localizem a Sul, estando os restantes espaços expostos a Norte, onde funcionam como uma zona tampão e de protecção. Os vãos orientados a Sul permitem ganhos solares no período de Inverno e proporcionam o aquecimento passivo do edifício. Estes vãos são protegidos por uma pala exterior com lâminas que permitem a passagem da radiação solar no Inverno e a bloqueiam no Verão (Figura 130). O isolamento deste edifício é um sistema ETICS: as paredes exteriores são isoladas pelo exterior com poliestireno expandido o que, em conjunto com a orientação e organização espácio-funcional, permite alcançar de forma económica um elevado desempenho térmico, com necessidades nominais de energia muito inferiores àquelas então aceites pelo RCCTE em vigor à data da construção²⁵⁹.



Figura 130 – Conjunto habitacional em Gondifelos.
Arq.^{os} José Gigante e João Álvaro Rocha, Vila Nova de Famalicão, 1997.

Note-se que num dia de Inverno a sombra das palas não chega a obstruir os vãos.

(fonte: Isabel Plácido)

Pelos exemplos apresentados podemos concluir que, embora a viabilidade dos bairros ecológicos tenha sido demonstrada por exemplos de sucesso no estrangeiro, as elevadas exigências técnicas que a aplicação deste conceito coloca (desde o planeamento urbano até aos acabamentos) não têm permitido que este se vulgarize em território português.

O Bairro de Ponte da Pedra²⁶⁰, projectado pelo Arquitecto António Carlos Coelho é o terceiro e mais recente exemplo que podemos referir (Figura 131). Concluído em 2006, este bairro é relevante devido aos vários apoios institucionais (Sustainable Housing Europe; Faculdade de Engenharia da

²⁵⁹ Gonçalves – Edifícios solares passivos em Portugal, INETI, 1997.

²⁶⁰ Coimbra – Ambiente e construção sustentável numa promoção cooperativa na Ponte da Pedra, Matosinhos, 2007.

Universidade do Porto; Federação Nacional de Cooperativas de Habitação Económica) – que permitiram incentivar o investimento em soluções com benefícios significativos no que respeita aos consumos energéticos – e também devido ao facto de se tratar de habitação a custo controlado.

O modelo de gestão do Bairro seguiu as normas de qualidade NP EN ISO 9001:2000.

O tema mais forte do projecto residencial é a água mas as medidas aplicadas no âmbito do projecto SHE de Ponte da Pedra são mais abrangentes, seguindo os critérios do Sistema "LíderA"²⁶¹, designadamente:

- **Local e integração:** Foi elaborado um levantamento prévio das especificidades do local, com especial ênfase na gestão de águas locais e na conservação e valorização das funções ecológicas do solo. Como o empreendimento se localiza numa antiga zona industrial, considera-se que foi recuperada uma zona degradada. Existem também nas proximidades várias amenidades (farmácia, banco, lojas de comida, etc.) e acesso a transportes públicos, o que favorece a integração e complementa a função residencial.
- **Recursos energéticos:** A adequada gestão energética passou pela utilização de medidas solares passivas, melhorando o desempenho energético passivo do edifício, e activas que permitirão reduzir o consumo de electricidade e de gás, aproveitando energia solar para AQS, ou seja, recorrendo a formas de energia renovável.
- **Recursos hídricos:** A adequada gestão da água no interior das habitações inclui chuveiros com válvulas termostáticas para controlo de temperatura, autoclismos com dupla descarga de 3 e 6 litros, aproveitamento de águas pluviais para a sanita, contribuindo para a redução do consumo de água para abastecimento doméstico. No exterior dos apartamentos foram também aplicadas medidas para reduzir os consumos de água em espaços comuns e exteriores, nomeadamente através do aproveitamento de águas recuperadas dos edifícios para rega da totalidade dos jardins da urbanização e da introdução de sensores de humidade que permitem detectar a necessidade de rega. O facto de se ter implementado um sistema de recolha e armazenamento das águas pluviais, de escorrência superficial na área do empreendimento e de infiltração nas garagens, depois utilizadas nas sanitas e rega de jardins, integrado com a recolha de água de minas preexistentes no local, contribui efectivamente para a gestão de águas localmente.
- **Materiais:** Verificou-se uma preocupação na utilização de materiais locais preferencialmente localizados na zona centro norte, num raio de aproximadamente 100 km, e com certificados de qualidade.
- **Ambiente Interior:** As medidas para a redução de ruído consistiram no reforço do isolamento acústico, quer nas paredes exteriores, quer nas zonas interiores mais sensíveis (quartos). A adequada ventilação natural das habitações, associada à ausência de aparelhos de ar condicionado, permitiu estabelecer padrões adequados de qualidade do ar interior. As medidas

²⁶¹ O Instituto Superior Técnico, sob a orientação do Professor Manuel Pinheiro e ao abrigo do Sistema Líder A (Sistema Ambiental de Reconhecimento da construção sustentável), desenvolveu a avaliação ambiental do Empreendimento da Ponte da Pedra 2ª Fase, promovido pela NORBICETA – União de Cooperativas de Habitação, U.C.R.L.

aplicadas para reforçar o isolamento térmico, bem como as medidas solares passivas e activas referidas, permitem obter níveis de conforto térmico adequados no interior das habitações. Os níveis de iluminação natural são elevados devido ao elevado aproveitamento deste tipo de iluminação permitido pelo dimensionamento dos vãos.

- **Gestão Ambiental e inovação:** A sensibilização dos futuros moradores foi assegurada por encontros com o promotor, construtor, projectista e autarquia. A edição do Manual do Cooperador Proprietário de Uso e de Manutenção do Imóvel, distribuído na entrega das habitações divulga informação ambiental relevante sobre o edifício e sua adequada utilização. Com vista a acompanhar e controlar o desempenho, os edifícios são objecto de uma monitorização energética, ambiental, social e económica.



Figura 131 – Conjunto habitacional de Ponte da Pedra.

Arq.º António Carlos Coelho, Matosinhos, 2006.

(fonte: António Baptista Coelho)

Note-se que nos edifícios de habitação em que foram integradas preocupações de sustentabilidade ambiental, aqui tomados como exemplos, não foi reinterpretada a arquitectura nem o urbanismo habitacional, tendo sido apenas aplicadas determinadas tecnologias ou materiais. Num futuro próximo a produção de habitação integrando preocupações de sustentabilidade ambiental talvez possa ser mais inovadora em virtude das potencialidades do clima, da crescente formação dos técnicos e da valorização atribuída pela opinião pública às questões ambientais.

A generalização de edifícios e áreas residenciais mais sustentáveis depende de uma eficaz articulação entre as políticas de ambiente e outras políticas sectoriais, incluindo as que dizem respeito ao ordenamento do território e à qualidade arquitectónica.

5.3 Eco-tecnologia

A arquitectura contemporânea tem acompanhado a evolução tecnológica. Mas o que começou por ser integração de processos racionalizados da indústria na construção de edifícios, transformou-se numa tendência mais diversificada e complexa, em grande parte relacionada com a evolução da tecnologia digital e dos novos materiais.

Em vez de glorificada, a tecnologia é agora explorada de forma selectiva para atingir determinados fins, enfatizando-se que o benefício tecnológico carece de valor se não for aplicado em nome do

benefício ambiental, social e humano. A arquitectura *eco-tech* é aquela que procura conciliar os imperativos tecnológicos com as preocupações de carácter humano e ambiental, desenvolvendo uma simbiose entre tradição e tecnologia, entre o local e o universal, entre natureza e edificado com vista a alcançar a sustentabilidade.

A abordagem eco-tecnológica assenta numa interacção multi-disciplinar, incluindo a engenharia de estruturas, de materiais, a informática e as ciências da ecologia. Esta abordagem, por incluir uma gama muito diversificada de experiências, consegue acompanhar as necessidades da sociedade contemporânea. A eco-tecnologia representa um optimismo em relação à forma como a arquitectura, a engenharia e a tecnologia podem aprender umas com as outras. C. Slessor defende que este optimismo tecnológico se reflecte na arquitectura contemporânea em três tendências²⁶²:

- expressão estrutural: arquitectura no limiar da engenharia;
- expressão lumínica: arquitectura transparente;
- gestão de energia: arquitectura como filtro inteligente para a eficiência energética.

Na primeira tendência a simbiose entre arquitectura e tecnologia, assente na racionalização do emprego dos materiais e recursos necessários para o equilíbrio estrutural e para a qualidade espacial, pode ser também uma simbiose ecológica. A concepção estrutural torna-se então parte integrante da concepção arquitectónica e são eliminadas as componentes supérfluas, reduzindo a forma à essência. A arquitectura resultante deste processo coloca-se no limiar da engenharia, sendo muitas vezes produzida por arquitectos-engenheiros de entre os quais se deve destacar Frei Otto²⁶³, que defendia que *"uma simples orquídea contém uma muitíssima maior variedade e subtilidade de processos estruturais do que qualquer dos edifícios mais marcantes da História da arquitectura"*²⁶⁴.

Na segunda tendência, a arquitectura transparente visa colocar a tecnologia ao serviço da desmaterialização da construção. Esta tendência, de que a *Maison de Verre* de Pierre Chareau (Figura 132) é precursora, tem-se acentuado na arquitectura contemporânea. A crescente sofisticação do vidro e dos materiais plásticos leves e transparentes contribui para este fascínio pelo etéreo e imaterial. À imagem da cúpula invisível de Buckminster Fuller (Figura 133), o que poderia ser mais ecológico do que um arquitectura etérea, invisível, inócua? A transparência na construção parece resultar de um desejo de não marcar o território, de quebrar fronteiras entre o artificial e o natural, de eliminar barreiras entre o exterior e o interior, e de transformar a luz em espaço.

²⁶² Slessor - Eco-Tech: Sustainable architecture and high technology, 1997.

²⁶³ Ainda nos anos 50 o arquitecto e engenheiro Frei Otto recorre ao cálculo estrutural em modelos para simular o processo em que uma estrutura encontra a sua melhor forma, baseando-se no conhecimento dos organismos que habitam a natureza.

²⁶⁴ Frei Otto, citado em Slessor – Eco-Tech: Sustainable architecture and high technology, 1997.



Figura 132 – Maison de Verre.

Arq.º Pierre Chareau, 1932.

Figura 133 – Cúpula na Expo de Montreal.

Arq.º Buckminster Fuller, 1967.

(fonte: www.archinform.com)

Finalmente, na terceira tendência de integração da tecnologia na arquitectura, os edifícios tornam-se filtros ambientais inteligentes e geradores de energia. Desde a crise petrolífera da década de 70 do séc. XX que a tecnologia e a arquitectura procuram alternativas energéticas e que as envolventes arquitectónicas exploram múltiplas funções ambientais, reinventando o *mur neutralisant* que já Le Corbusier concebera em nome do conforto térmico nos edifícios²⁶⁵.

Para além destas tendências principais, a expressão arquitectónica do controlo ambiental em edifícios tem assumido formas muito diversificadas ao longo das últimas décadas²⁶⁶, como demonstram edifícios da autoria de Luis Kahn, Renzo Piano ou Richard Rogers que constituem símbolos da gestão ambiental integrada em edifícios²⁶⁷.

Hoje, são inúmeros os arquitectos que têm desenvolvido projectos que estudam a integração arquitectónica dos sistemas de controlo ambiental em edifícios. Contudo, enquanto no início da gestão e controlo ambiental era dado ênfase aos sistemas tecnológicos de ar condicionado, actualmente são mais valorizados e enfatizados os meios passivos de controlo ambiental.

No museu Menil em Houston, de Renzo Piano (desenvolvido com a colaboração de Ove Arup) é também o controlo dos ganhos solares e de iluminação natural que influencia a expressão arquitectónica do edifício (Figura 134), enquanto os sistemas de ar condicionado são integrados discretamente nos pavimentos. O desenho dos tectos permitiu uma redução significativa da iluminação natural directa, permitindo a contemplação das obras de arte com luz natural indirecta e difusa. O controlo lumínico não foi previsto de forma estática, tendo sido prevista a deslocação de painéis que cobrem o envidraçado da cobertura nos pontos desejados, tornando a regulação da luz adaptável a diversas necessidades.

²⁶⁵ Porteous – The new Eco-architecture, alternatives from the modern movement, 2002.

²⁶⁶ Baird – The architectural expression of Environmental Control Systems, 2001.

²⁶⁷ Vejam-se os seguintes edifícios de cada um destes arquitectos: Kimbell Art Museum (1972), o Centro Pompidou (1977) e o Edifício Lloyds (1978). Nestes edifícios o controlo ambiental é expresso pela forma arquitectónica de modos distintos; no primeiro a gestão ambiental é subtilmente integrada, no segundo é projectada para a imagem do edifício, e no terceiro representa uma actualização transformadora de grande impacte num edifício preexistente.



Figura 134 – Museu Menil.
Arq.º Renzo Piano, 1986.

(fonte: greatbuildings.com)

O Instituto do Mundo Árabe em Paris, de Jean Nouvel, representa o máximo da expressão formal do controlo ambiental, demonstrando que a fronteira entre sistemas passivos e activos é ténue. Neste edifício é a fachada Sul que incorpora o sistema de controlo ambiental, centrado na regulação da iluminação natural. 250 diafragmas constituídos por várias lâminas de aço, reguladas por células fotovoltaicas, estão programados para reagir às variações de incidência solar, fazendo actuar mecanicamente um conjunto de discos e pistões (Figura 135).

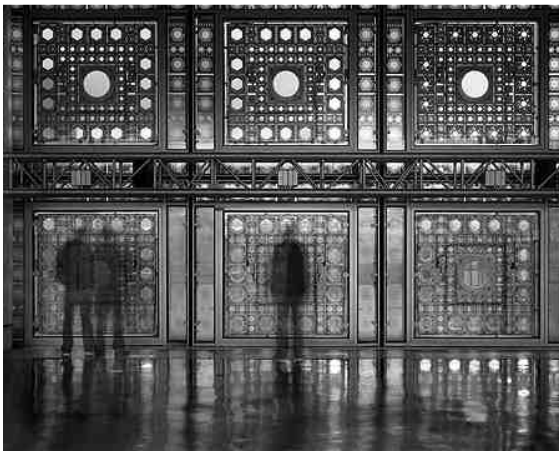


Figura 135 – Diafragmas de controlo de iluminação e sombreamento.

Arq.º Jean Nouvel, Instituto do Mundo Árabe (Paris), 1987.

(fonte: Matthew Pillsbury)

Mais recentemente um edifício em Berlim da autoria dos Arquitectos Sauerbruch e Hutton destaca-se pela integração do controlo ambiental em edifícios, conseguida através de um sistema de painéis que protegem uma grande fachada envidraçada com uma exposição a Poente (Figura 136). O edifício controla com eficiência os ganhos solares excessivos tanto no Inverno como no Verão.

As fachadas e coberturas inteligentes começam a tornar-se em elementos principais da construção e as envolventes ganham um novo papel na arquitectura ao concentrar as funções vitais do edifício. Contudo, os edifícios inteligentes levantam ainda questões por resolver: Como reagem os habitantes? Aceitam o controlo por outrem das condições do seu *habitat*? Qual o custo destes sistemas? Os custos de manutenção descem realmente? A energia economizada compensa os custos iniciais? Quais os períodos de retorno do investimento?

Novas energias

Perante a previsão de que durante a segunda metade do século XXI as reservas acessíveis de combustíveis fósseis se esgotarão, ao ser ultrapassado o "pico do petróleo"²⁶⁸, muitos cientistas têm esperança no uso comercial da fusão nuclear, mas outros alertam para o impacto socioeconómico que poderá trazer a mudança de um mundo inteiramente baseado no mercado do carbono, para um mundo utilizador do hidrogénio.

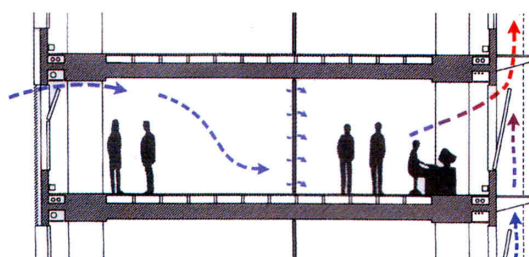


Figura 136 – Escritórios GSW.

Arq.ºs Sauerbruch & Hutton, Berlim 1999.

(fonte: Intelligent Skins)

É difícil imaginar as implicações práticas do "vazio" energético que surgirá depois do fim das reservas fósseis acessíveis e a destabilização do mercado da energia que se instalará na sociedade global. Paradoxalmente, hoje em vez de um verdadeiro optimismo relativo às energias renováveis – que poderiam ser a solução para uma transição progressiva entre estas duas economias (carbono-hidrogénio) – há uma ansiedade generalizada pela permissão da proliferação da tecnologia nuclear, onde se espera que se encontre a fórmula para subitamente se "começar de novo" com energia limpa e ilimitada.

O problema do abastecimento eléctrico far-se-á sentir muito em breve, pois por trás do crescente consumo de combustíveis fósseis e do esgotamento das suas reservas, estão as crescentes necessidades de electricidade. Hoje há já no mundo 2 mil milhões de pessoas que vivem sem electricidade. Em 2050, se não houver profundas alterações no sistema de distribuição de energia

²⁶⁸ Kunstler, O Fim do Petróleo - O Grande Desafio do Séc. XXI, 2004.

O Pico de petróleo corresponde ao momento em que, devido à profundidade das reservas disponíveis, para extrair um barril de petróleo se tem de gastar energia equivalente a um barril de petróleo.

eléctrica haverá 5 mil milhões de pessoas a viver nestas condições. A resposta a este problema parece residir não só na criação de redes locais, mais pequenas e dispersas, mas sobretudo no investimento em massa no desenvolvimento das tecnologias de energia renovável. Num futuro próximo, a maior parte da nossa electricidade provirá de turbinas eólicas, de painéis solares e de pilhas de combustível a hidrogénio que constituirão uma extensa rede de pontos de micro-geração. Células solares à base de cristais transparentes de óxido de titânio poderão ser integradas no vidro com elevada eficiência e os envidraçados poderão ser, na sua totalidade, painéis solares transparentes²⁶⁹.

Outra tendência de ponta na energia solar é o recurso a processos orgânicos, em vez dos processos electroquímicos utilizados nas células mais convencionais, procurando reproduzir a fotossíntese. Neste campo, o silício negro é o campo de investigação mais avançado no domínio das células fotovoltaicas, sendo um material que, depois de exposto a raios laser de altíssimo brilho, pode absorver mais de 90% da radiação solar, prometendo níveis de rendimento energético muito superiores aos da tecnologia actual²⁷⁰. Por enquanto, a tecnologia solar está dependente de soluções para o armazenamento de energia, onde reside o potencial salto quantitativo da sua eficiência e o objectivo a perseguir para um futuro mais próximo.

A tecnologia de armazenamento de electricidade deverá dar um grande salto na década de 2020 com o desenvolvimento de supercondutores de alta temperatura que permitem a circulação de electricidade sem perdas de energia, até ao momento em que é utilizada. Estes supercondutores serão ideais para armazenar energia de fontes renováveis intermitentes e podem alterar radicalmente o *status* de fontes de energia hoje subaproveitadas como, por exemplo, a das marés.

O sistema de geração e distribuição de energia já está a sofrer uma transformação e o ultimato à indústria de geração de energia convencional (hoje a maior fonte de emissões de CO₂) chegará quando as pilhas de combustível a hidrogénio forem disponibilizadas em larga escala. Em Portugal, a EFACEC criou um conversor para aplicar a tecnologia de pilhas de combustível às telecomunicações de forma mista, ou seja, utilizando a rede pública de abastecimento energético mas eliminando a bateria dos sistemas a hidrogénio que constitui o componente mais poluente desta tecnologia.

De acordo com alguns autores, na idade energética baseada no hidrogénio serão minimizadas as preocupações com o esgotamento dos combustíveis fósseis e com o aquecimento global, porque esta é uma fonte energética limpa. Embora a produção de hidrogénio tenha ainda custos elevados, com os avanços tecnológicos esperados, o hidrogénio poderá vir a basear energeticamente uma economia com impactes menores, sendo possível que o seu baixo custo venha a suplantar e a reduzir de novo o uso das renováveis convencionais (solar, eólica, biomassa). Levantam-se, assim, algumas questões pertinentes: o que acontecerá então ao investimento feito nestas energias? Os painéis solares e geradores eólicos manter-se-ão? Serão então obsoletos os edifícios concebidos para a energia renovável? O facto de vivermos numa época de rápidas transições alerta para a necessidade de

²⁶⁹ Smith – Sustainability in the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.

²⁷⁰ Idem.

planear e construir habitats adaptáveis que de forma económica consigam perdurar no tempo ou ser facilmente substituídos.

Novos materiais

Associados às tecnologias do futuro encontram-se "materiais inteligentes" que poderão vir a revolucionar o conceito que temos da construção de um edifício. São materiais não constantes, capazes de desempenhar funções que convencionalmente não eram desempenhadas pelos materiais, mas por equipamentos ou por habitantes.

Os materiais inteligentes mais comuns no mercado são os vidros termocrómios ou electrocrómios, onde um gel transparente entre dois vidros altera as suas propriedades, de cor ou opacidade, de acordo com determinados *inputs* térmicos ou eléctricos. Estes vidros podem dispensar os dispositivos arquitectónicos ou mecânicos de sombreamento e permitem um controlo individual optimizado. Estes vidros fazem parte dos denominados materiais inteligentes (*smart materials*), onde a inovação mais empolgante está nos materiais inteligentes activos, ou seja, aqueles que têm capacidade de aprendizagem e de reacção. Dentro desta classe de materiais inteligentes estão os *shape memory alloys* (SMAS) – também chamados *solid state phase transformations* – materiais que depois de uma deformação têm a capacidade de regressar à forma inicial. Em geral, os sistemas inteligentes dependem de sensores e de actores, mas no caso dos SMAS a função de diagnóstico e de reacção podem coincidir no mesmo material. Os sensores podem, por exemplo, detectar calor numa fonte renovável e servir, simultaneamente, como condutores para o transportar. A grande vantagem é que estes são sistemas unos, sem partes amovíveis e de baixo custo, sendo geralmente usados na conversão de calor em acção mecânica²⁷¹.

Tal como nos materiais sólidos, a ciência tem investido no uso tecnológico de fluidos inteligentes. Ao introduzir um campo eléctrico forte, determinados fluidos podem aproximar-se do estado sólido. Quando combinados com sensores que detectam movimentos, podem ter capacidade de reacção inteligente. Estes fluidos, que têm em geral o potencial de substituir amortecedores e eliminar vibrações mecânicas, têm aplicações prometedoras no campo da construção anti-sísmica, uma vez que podem estar incorporados nas fundações no estado sólido, para que quando sujeitos a vibrações passem para o estado líquido e absorvam os movimentos do solo. Em Tóquio e Osaka estão já a ser feitas experiências para aplicações anti-sísmicas destes materiais. Provavelmente, o que veremos num futuro próximo serão estruturas inteligentes equipadas com fibras ópticas que detectarão o estado da própria estrutura para a informar e a fazer activar dispositivos anti-catástrofe.

No que respeita aos novos materiais há ainda a referir a tecnologia ao serviço da iluminação, que tem dado grandes passos devido aos materiais fotónicos emissores de luz. Os *Light Emitting Diodes* (LEDs) são baseados na energia produzida pelos electrões de um átomo. Os LEDs são produtos da tecnologia dos semi-condutores, que conseguem ser muito mais eficientes energeticamente e muito

²⁷¹ Mitchell – Dimensions of sustainability, Dematerialization, demobilization and adaptation in Scott – Dimensions of sustainability: architecture form technology environment culture. New York: Routledge, 1998.

mais compactos, ocupando menos espaço e sendo mais resistentes e duradouras do que as lâmpadas convencionais. Embora a tecnologia LED para a luz branca seja ainda dispendiosa, a progressiva vulgarização desta tecnologia poderá aumentar a eficiência energética dos edifícios.

Para além da iluminação existem outras interessantes frentes de investigação de aplicação da tecnologia fotónica no domínio da transmissão e do processamento de informação. Estamos já na era em que a informação é transmitida por impulsos de luz em vez de fios metálicos, e em que as partículas de luz podem carregar muito mais informação do que os fios, a uma velocidade muito superior. "*Na tecnologia da fibra óptica o único limite é a velocidade da luz*"²⁷². As altas velocidades de comunicação decorrentes desta tecnologia poderão contribuir para a generalização do tele-trabalho e para a alteração dos padrões de mobilidade e de uso do solo urbano. No futuro, os escritórios tenderão a diminuir de volume e de concentração uma vez que os profissionais podem estar em plena interacção mesmo estando fisicamente em locais diferentes. Hoje as fibras ópticas servem apenas para transmissão de informação e necessitam de dispositivos electrónicos para o seu processamento, mas o grande objectivo da investigação de ponta é criar circuitos fotónicos livres da mediação electrónica, o que originará computadores mais rápidos e de uma arquitectura absolutamente diferente²⁷³.

Desmaterialização

As tecnologias da informação transformaram o mundo e o espaço físico foi alargado por um infinito espaço virtual. Os objectos foram substituídos por imagens, a mobilidade foi desdobrada em inúmeras formas de transferência de informação e, sem que tenhamos de dar um passo, o planeta foi colocado ao alcance dos nossos dedos. Perante esta desmaterialização e desmobilização estaremos a aproximar-nos da sustentabilidade ambiental? Poderá o domínio da virtualidade reduzir impactes físicos produzidos sobre a Terra²⁷⁴?

Por enquanto tal não se verifica e ao consultarmos as estatísticas do Banco Mundial constatamos que o crescente uso da internet não está associado a menores emissões de CO₂, um dos principais indicadores de impacto ambiental utilizado a nível mundial²⁷⁵.

Hoje a maior parte das abordagens ao problema da sustentabilidade estão abertas aos novos horizontes trazidos pela tecnologia da informação, pois a partir do momento que podemos substituir átomos por *bytes* podemos também começar a pensar satisfizer necessidades humanas sem construir. O jornal electrónico, por exemplo, não só economiza no consumo de recursos como diminui os resíduos produzidos e a poluição resultante da impressão, pois "*um byte usado não é um poluente*"

²⁷² Smith – Sustainability in the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings, 2003.

²⁷³ Mitchell – Dimensions of sustainability, Dematerialization, demobilization and adaptation, in Scott – Dimensions of Sustainability: Architecture Form Technology Environment Culture, 1998.

²⁷⁴ Para Mitchell (op. cit) as formas de pensar a sustentabilidade ambiental e as respectivas respostas arquitectónicas não são ainda suficientemente radicais por não considerarem a via da revolução digital.

²⁷⁵ World Development Indicators, 2003 – Informação disponível e visualizável em animação de gráficos em URL: www.gapminder.org.

²⁷⁶. As consultas médicas disponibilizadas por vídeo-conferência são económicas e poupam infra-estruturas e custos de mobilidade desnecessários²⁷⁷. Na realidade, para além da via de desmaterialização, o futuro do ambiente construído poderá ainda beneficiar significativamente com o advento da "desmobilização". Nas cidades os habitantes deslocam-se no seu quotidiano provocando custos em combustíveis, poluição, ocupação do solo, infra-estruturação, manutenção de veículos e desperdício de tempo. Estes problemas foram exacerbados por zonamentos mono-funcionais que distanciaram as várias funções do quotidiano do habitante da cidade. Mas hoje, quando o acesso a serviços e ao trabalho individual é feito em parte electronicamente, abrem-se possibilidades para a redução significativa de custos e impactes, ao substituir deslocações por telecomunicações digitais de alta velocidade.

É inevitável pensar no futuro do nosso parque habitacional quando se observam os progressos e a generalização do uso da Internet, e quando se pensa na tendência de integração do espaço doméstico e do espaço de trabalho. Esta transformação corresponderá a áreas maiores, maior eficiência na separação de actividades no interior do fogo, ou definição de zonas de trabalho centralizadas nas áreas residenciais? Porá o tele-trabalho em causa a qualidade e diversidade das redes sociais em que cada indivíduo se encontra inserido? Os bairros tenderão a ganhar outra vivência e outras qualidades, uma vez que se tornam o sítio onde as pessoas passam a maior parte do seu tempo? O que tornará um bairro mais atractivo quando a importância dos requisitos tradicionais de acessibilidade for reduzida devido às telecomunicações? A liberdade de localização permitida pela portabilidade da informação provocará que transformações? Estas são várias questões a colocar numa reflexão sobre padrões de urbanização mais sustentáveis para a sociedade da informação do futuro.

Para além da desmaterialização e da desmobilização, William J. Mitchell aborda ainda o conceito de *adaptação inteligente*, que corresponde a uma redução ao estritamente necessário. Retomando o exemplo do jornal, este pode consumir apenas o papel necessário, se for personalizado, restringindo a informação fornecida aos temas que interessam ao utilizador²⁷⁸. Esta adaptação inteligente do produto às necessidades exactas do utente é naturalmente apenas possível com o recurso a computadores, mas os seus efeitos podem ser benéficos a várias escalas, muito para além da redução do desperdício de papel de jornal. No uso de edifícios, em conjugação com sensores, a adaptação inteligente pode reduzir consumos de energia ou de água. Na sua construção a adaptação inteligente pode permitir a geração de estruturas super-eficientes, e no projecto de habitação, a adaptação inteligente pode maximizar a adequação aos modos de vida individuais²⁷⁹.

²⁷⁶ Mitchell – Dimensions of sustainability, Dematerialization, demobilization and adaptation, in Scott – Dimensions of Sustainability: Architecture Form Technology Environment Culture, 1998.

²⁷⁷ Talks Cameron Sinclair (Architecture for Humanity) TED Prize wish: Open-source architecture to house the world, 2006 in TED – ideas worth spreading URL: www.ted.com.

²⁷⁸ Mitchell – Dimensions of sustainability, Dematerialization, demobilization and adaptation, em Scott Andrew – Dimensions of Sustainability: Architecture Form Technology Environment Culture, 1998.

²⁷⁹ A adaptação inteligente tem potencial de sustentabilidade nas *Things that think*, tecnologia que permite conferir a sistemas um pensamento sustentável. Os sistemas desenvolvidos no MIT permitem conceber casas que combinam variáveis (house_n) e tomam decisões sustentáveis, sendo ensinadas para o fazer.

Em síntese, a revolução digital oferece possibilidades para a gestão e satisfação das necessidades dos utentes da cidade e da habitação, minimizando consumos de recursos e reduzindo a emissão de resíduos e poluentes, pelo que – desde que controlados os seus custos energéticos – representa uma via relevante para uma maior sustentabilidade ambiental. Contudo, também continuará a ser preciso encontrar formas não tecnológicas de alterar comportamentos, motivando a responsabilidade ambiental em cada indivíduo.

5.4 Eco-reabilitação

A reabilitação dos tecidos urbanos consolidados tornou-se uma prioridade por constituir uma alternativa à nova urbanização e ao consumo de recursos não renováveis. Esta tendência foi motivada pelo facto de, nas últimas décadas, os edifícios existentes se terem tornado progressivamente desadequados aos modos de vida, pouco apropriados para a integração de novas tecnologias e pouco eficientes perante as exigências de racionalização dos consumos de energia.

Os princípios adoptados para a construção nova podem ser aplicados, na sua maioria, às intervenções da reabilitação, embora se deva ter em conta as condicionantes impostas pelas características dos edifícios existentes. As intervenções de "eco-reabilitação" de um edifício podem não implicar uma alteração de programa (*retrofitting*) mas atingem maior complexidade quando requerem a transformação dos usos (*refurbishment*). A reabilitação de um edifício que mantém o seu programa, tendo em vista a melhoria dos seus níveis de conforto e de desempenho ambiental, implica geralmente a transformação do seu invólucro e a integração de sistemas de gestão de recursos e resíduos. A reabilitação com alteração do programa aproxima-se dos processos da construção nova, pois envolve um conjunto alargado de intervenções para a transformação dos espaços. Em ambas as situações, as intervenções de reabilitação de edifícios devem visar a melhoria do desempenho energético, a melhoria da gestão da água, dos resíduos e o reaproveitamento dos próprios materiais de construção²⁸⁰.

Reabilitação e desempenho energético

Reabilitar o parque habitacional é uma forma de promover a eficiência energética na habitação com benefícios ambientais, sociais e económicos significativos²⁸¹. Contudo, a aceitação da eco-reabilitação de edifícios de habitação como tema prioritário está dependente das políticas energéticas, dos compromissos de redução da contaminação, da consciencialização ambiental e da promoção de objectivos de saúde no *habitat*²⁸².

²⁸⁰ A presença do amianto, por exemplo, originou intervenções de reabilitação para substituição total deste material nocivo, ou mesmo de demolição.

²⁸¹ Smith – Eco-Refurbishment: A practical guide to creating an energy efficient home, 2003.

²⁸² Harland – Eco-renovation: the ecological home improvement guide, 1999.

Podem-se identificar duas tendências complementares da eco-reabilitação para a eficiência energética: as que visam a redução dos consumos e as vocacionadas para a substituição das fontes de energia por fontes renováveis.

A Inglaterra destaca-se pelas numerosas intervenções de melhoria das condições térmicas do parque habitacional existente, provavelmente devido à conjugação da idade avançada de muitas das suas habitações com as exigências climáticas do país (Figura 137 e Figura 138). A experiência inglesa diz-nos que, para se conseguirem níveis de aquecimento aceitáveis, uma casa dos anos 30 do séc. XX é responsável, em média, por 4,3 toneladas de CO₂ por ano, enquanto uma casa construída segundo as melhores práticas correntes de eficiência energética, apenas emite, em média, 0,6 toneladas anuais²⁸³. Esta situação, para além de contribuir para as alterações climáticas, tem grandes implicações sociais, sobretudo ao nível da saúde. Estima-se que em Inglaterra se gaste 1 milhar de milhão de libras no tratamento de doenças decorrentes do frio e da humidade nas habitações²⁸⁴. Não há estimativas equivalentes para Portugal, mas é referido frequentemente que os níveis de conforto térmico são muito baixos, não só devido ao desadequado isolamento térmico, mas também devido ao reduzido aquecimento praticado no interior das habitações.

A eco-reabilitação de habitação deve considerar não só os aspectos da gestão de energia mas também os aspectos da saúde, podendo evitar doenças relacionadas com problemas de ventilação, humidade e temperaturas extremas (ex., reumáticas, respiratórias, etc.). Deste modo, podem-se apontar os seguintes objectivos mínimos da eco-reabilitação habitacional:

- melhoria dos níveis de isolamento térmico;
- garantia de um adequado nível de estanquidade ao ar;
- aplicação de vidros duplos de baixa emitividade;
- instalação ou conversão de sistemas de aquecimento central (preferencialmente a gás);
- instalação de sistemas de ventilação com recuperação de calor.

A melhoria dos níveis de isolamento térmico, do ponto de vista arquitectónico, representa a estratégia de reabilitação com maiores implicações. Esta estratégia pode ser conseguida pela aplicação de material isolante de três formas: sobre a superfície externa das envolventes; por preenchimento de cavidades interiores, como caixas-de-ar em paredes duplas; ou sobre a superfície interna das envolventes²⁸⁵.

O isolamento aplicado sobre a superfície exterior das fachadas pode ter implicações sobre elementos existentes, como os vãos, as coberturas e tubos de queda que poderão ter de ser ajustados em posição ou dimensionamento. Em diversas situações pode não ser adequada a aplicação de isolamento pelo exterior, nomeadamente por razões estéticas, de conservação da identidade do

²⁸³ Smith – Architecture in a climate of change: A guide to sustainable design, 2001.

²⁸⁴ Idem.

²⁸⁵ No Reino Unido existem experiências bem sucedidas de actualização de conjuntos habitacionais, como a RoundWood Estate Housing Association, onde se conseguiu que cada apartamento poupasse, em média, 1,5 toneladas de CO₂ por ano, devido ao enchimento de paredes exteriores duplas com isolamento injectável.

edifício e de integração urbana. Nestes casos a alternativa usual é reforçar o isolamento pelo interior, o que se traduz contudo numa redução da área útil.

Podem ainda adoptar-se soluções mistas que conjugam as duas opções anteriores, por exemplo, nas traseiras aplica-se um revestimento exterior e na fachada principal mantém-se o revestimento exterior original e aplica-se um forro pelo interior.



Figura 137 – Edifício reabilitado ao abrigo do Projecto INTEGER.

Aspecto exterior.

Figura 138 – Idem. Dispositivo de ventilação.

Cole Thompson Associates,
Webminster.

(fonte: Sara Eloy)

Reabilitação e energia solar

Uma forma de contribuir para a actualização do desempenho energético de edifícios com resultados a curto prazo é recorrer à energia solar. As soluções solares passivas são as mais recomendadas, a par da introdução do solar térmico, embora esta tecnologia de relativo baixo custo seja mais económica na habitação nova do que no parque habitacional existente, onde implica a adaptação das instalações de águas sanitárias e aquecimento²⁸⁶.

Vários programas europeus, como o programa SHINE – *Solar Housing through Innovation for the Natural Environment*, apoiaram no final da década de 90 soluções inovadoras para a conservação e eficiência energética em edifícios habitacionais existentes. As intervenções financiadas recorreram à iluminação e ventilação naturais, à massa e isolamento térmicos, ao arrefecimento nocturno e sombreamento solar e às tecnologias solares passivas e activas, e geralmente consistem em aplicações “cirúrgicas” de componentes sobre o edifício existente. As operações de reabilitação no âmbito deste programa vocacionadas para a habitação apoiada, conseguiram uma redução média de 60% dos consumos de energia, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade de vida e da saúde dos utentes da habitação social na Europa²⁸⁷.

A introdução de sistemas solares térmicos para aquecimento de água e o reforço do isolamento térmico foram os principais domínios do programa SHINE (Tabela 15), mas este incluiu também a

²⁸⁶ Gonçalves, Joyce, Silva (eds.) – Fórum energia renováveis em Portugal, uma contribuição para os objectivos de Política energética e ambiental, 2002.

²⁸⁷ EHEN - SHINE, Solar housing through innovation for the natural environment, 2005.

transformação das infra-estruturas para reciclagem local de águas cinzentas, ou a renovação integral de fachadas renovando a imagem do edifício e melhorando os parâmetros de conforto térmico e espacial. No redesenho das fachadas as estruturas metálicas leves têm sido adicionadas como segundo invólucro do edifício, com a função de eliminar pontes térmicas e criar estufas com área habitável adicional.

Tabela 15 – Usos de energia previstos depois das intervenções de reabilitação do programa SHINE.

(fonte: Social Housing leads the way in low energy solar design)

P R E D I C T E D E N E R G Y U S E						
Project	Heating energy kWh / m ² / year			Electricity kWh / m ² / year		Area m ²
	Before	After	Thermie – Solar	Before	After	
BIG Heimbau	204	77	11	40	35	58
Patrimonium 1	161	53	13	33	33	28890
Patrimonium 2	161	70	13	33	33	28890
Reading	442	89	15	40	35	58
Gardsten	270	162	16	53	46	18900
Opale	242	94	0	40	35	6450
Hyde 1	183	65	21	38	34	113.7
Hyde 2	408	72	18	35	36	111
Hyde 3	228	56	21	24	23	57
Hyde 4	475	136	12	38	38	128

A reabilitação de habitação social ao abrigo de programas como este permitiu aliar requisitos de conforto, de sustentabilidade e de economia, sendo uma área de importância crescente em toda a Europa. Contudo, a pressão da indústria da construção, a falta de mão-de-obra disponível, o relativo baixo preço da energia fóssil, e o reduzido interesse dos governos locais em investir no acompanhamento técnico destas intervenções, constituem barreiras à aplicação e generalização de programas de apoio deste tipo em toda a Europa.

5.5 Eco-habitação

No século XXI a globalização, o crescimento da população, as alterações ambientais e o progresso tecnológico serão os factores mais determinantes do rumo da evolução da habitação e do ambiente construído em geral, tanto nos países em vias desenvolvimento como nos países desenvolvidos.

Se compararmos a evolução das telecomunicações com a evolução da habitação, durante as últimas décadas, é evidente o conservadorismo das respostas habitacionais e a sua lenta capacidade de reacção. Durante as últimas década a sociedade transformou-se e a degradação ambiental acentuou-se; contudo a arquitectura e construção de habitação sofreram poucas alterações, e estas deram-se sobretudo ao nível da quantidade do luxo e, marginalmente, ao nível da eficiência energética mínima.

Embora a habitação constitua um sector conservador da construção de edifícios, que privilegiou durante muitos anos a quantidade em detrimento da sustentabilidade, alguns conjuntos habitacionais recentes, excepção que confirma a regra, integraram soluções energéticas, ambientais, tecnológicas e

sociais de alta eficiência, visando uma maior sustentabilidade e começando a introduzir pequenas alterações nos processos de planeamento, projecto, construção e gestão que poderão vir a ter repercussões positivas nas próximas décadas.

Pessoas ou tecnologia?

Para alcançar qualidade e sustentabilidade será necessário promover a melhoria geral da **qualidade dos projectos** de arquitectura habitacional, o que implicará, para além de um alargamento disciplinar, a elaboração de levantamentos físicos e sociais, a definição de bons programas de base, a escolha exigente dos projectistas e a elaboração de projectos completos e revistos nas diversas fases. No desenvolvimento de projectos de habitação sustentável que assegurem a qualidade social, económica e ambiental, será necessário focar temas actualmente pouco aprofundadas pelos projectos de arquitectura correntes, nomeadamente:

- *Ambiente e materiais* – avaliação e minimização do impacte ambiental do ciclo de vida do edifício; monitorização de desempenhos; avaliação do ciclo de vida dos materiais; aplicação de listas de materiais prioritários; certificação ambiental.
- *Tipologias, acessibilidade e adequabilidade* – concepção da habitação para sectores sociais específicos; flexibilização do fogo e do edifício; previsão da acessibilidade na habitação; escolha de organizações espaciais de bom desempenho energético passivo.
- *Térmica e iluminação* – comportamento térmico adequado ao microclima de cada local de implantação de uma zona residencial (em parte garantido pela aplicação do novo RCCTE); controlo da iluminação natural, investindo na luz como qualificadora do espaço arquitectónico habitacional.
- *Incorporação de tecnologias de informação* – controlo inteligente de consumos e condições de conforto; monitorização dos níveis de satisfação ou de saúde; habitação interactiva para maior eficiência e desmaterialização na satisfação de necessidades.

Na **fase de planeamento urbano** (na definição de localizações e índices de ocupação do solo, na definição de morfologias urbanas, etc.) deve privilegiar-se a implantação de conjuntos habitacionais com características que favoreçam a sustentabilidade das opções do desenho urbano, nomeadamente no que respeita a orientação, acesso solar, impermeabilização dos solos, entre outros parâmetros. Deve ser garantida a vitalização dos espaços públicos e o seu adequado nível de urbanidade, e assegurar a acessibilidade, segurança, convivialidade e presença de equipamentos multi-serviços²⁸⁸. Cabe também ao planeamento urbano controlar o fenómeno da dispersão habitacional de baixa densidade que tem consequências negativas para a conservação do solo e para a coesão social que se pretende atingir a longo prazo²⁸⁹.

²⁸⁸ Cabrita (et al.) – A futura habitação apoiada, 2000.

²⁸⁹ Idem.

A **tecnologia construtiva** terá igualmente um papel na sustentabilidade habitacional, pois é também através de um criterioso desenho da construção que se pode responder aos requisitos de sustentabilidade ambiental, dentro das seguintes temáticas:

- massa e profundidade do edifício de habitação – controlo climático passivo;
- abertura, transparência e visibilidade para o exterior – gestão térmica e conforto;
- verticalidade – segurança, ventilação e arrefecimento;
- fachada dupla, invólucro complexo e inteligente – controlo climático activo;
- pisos e condutas técnicas – manutenção e controlo.

As crescentes **exigências de conforto** serão traduzidas em melhores condições de habitabilidade e segurança, que implicarão maiores gastos em materiais e energias com potenciais impactes ambientais negativos. Por outro lado, factores como o ruído, a poluição e as alterações climáticas constituirão problemas cada vez mais graves, que contribuirão para aumentar a consciência e sensibilidade ambientais da população.

O controlo ambiental será uma preocupação crescente, já não apenas como uma preocupação higienista, focada na criação de condições de ventilação e insolação do espaço central das unidades residenciais, mas de controlo aerodinâmico, de humidade, de iluminação, de personalização do conforto e de gestão de recursos. Por outro lado, as condições climáticas envolventes serão tendencialmente cada vez mais extremadas, podendo esperar-se as seguintes consequências²⁹⁰:

- o aumento generalizado da temperatura ambiente estimulará o uso das tecnologias de aproveitamento do vento e das brisas, ajudando a amenizar os microclimas extremados;
- uma vez que haverá picos de calor mais frequentes, a incorporação de tecnologias solares passivas terá de ser mais cuidadosa, sobretudo no que respeita aos envidraçados;
- a ventilação mecânica ambientalmente eficiente tenderá a ser uma necessidade em todos os edifícios, e o uso do arrefecimento pelo solo será generalizado;
- o arrefecimento dos Invernos tornar-se-á incompatível com a subida de preços dos combustíveis fósseis, e os níveis de isolamento de edifícios serão significativamente aumentados e o aquecimento solar com armazenamento sazonal será uma prioridade;
- no Sul da Europa as secas serão mais frequentes, exigindo maior conservação de água e formas mais eficientes de tratamento e reutilização das águas residuais, e;
- a subida do nível das águas do mar e a maior ocorrência de chuvas torrenciais terão impacto na localização dos edifícios residenciais, ao nível da construção, reabilitação e protecção para eventuais cheias.

Para novos problemas será necessário conceber **novas soluções arquitectónicas**. As soluções experimentais devem ser cuidadosamente testadas e não devem descurar os aspectos de qualidade residencial e de satisfação dos utentes. A satisfação dos utentes estará muito ligada à qualidade ambiental no sentido amplo, pela presença de elementos vegetais e de zonas de solo livre, pela

²⁹⁰ Smith – Architecture in a climate of change: A guide to sustainable design, 2001.

qualidade do ar, pela qualidade do estacionamento e pela pedonalização com segurança. Os principais vectores de inovação habitacional a ter em conta serão principalmente os seguintes:

- integração urbana;
- atractividade da imagem urbana;
- introdução de novos equipamentos e serviços de vizinhança;
- reforço da capacidade de estacionamento;
- garantia de condições de conforto ambiental;
- equilíbrio entre comunicabilidade e privacidade;
- apropriação e flexibilidade em todos os níveis físicos.

A análise de propostas recentes indica que os modelos de referência do Movimento Moderno irão permanecer no *habitat* residencial europeu, mas prevê-se que se continuarão a afirmar cada vez mais soluções morfológicas de menor escala e mais fechadas, tais como quarteirões com aberturas variáveis²⁹¹. A função predominante do quarteirão será a habitação, deixando os pisos térreos flexibilizados para a instalação de diversos serviços. Surgirão novas tipologias habitacionais que permitam a adequação aos novos agregados familiares e ao seu modo de vida, favorecendo a relação com o exterior, o trabalho profissional em casa, o ambiente e conforto interiores e a ergonomia, nomeadamente por via da acessibilidade universal.

As visões de futuro da habitação estão geralmente associadas a soluções tecnológicas. Mas, se pensarmos na habitação para o futuro próximo, será na tecnologia ou nos comportamentos que reside a solução para os problemas do ambiente? E se a solução está na tecnologia então porque não utilizamos as soluções tecnológicas já disponíveis²⁹²? Não há milagres tecnológicos para resolver os problemas ambientais, por isso cada um de nós, bem como as instituições responsáveis, devem assumir o seu papel na melhoria do desempenho do *habitat*, para além do que a tecnologia continuar a facilitar na resolução dos problemas ambientais.

A **gestão eficiente da habitação e áreas residenciais**, por muito que possa ser auxiliada por sistemas informáticos inteligentes, terá de partir da iniciativa e motivação humana para essa gestão. A gestão do consumo de energia, da água potável, das águas residuais, dos resíduos e sua reciclagem, a manutenção de espaços públicos, a produção alimentar local e os transportes e tráfego de cada área residencial podem ser feitos a diversos níveis e por diversos intervenientes. A responsabilidade e o compromisso têm que ser assumidos por habitantes, projectistas, promotores e governos locais. Uns podem integrar e prever a gestão ambiental; outros deverão efectuar-la. É, contudo, discutível quem deverá ser o responsável pela gestão que mantenha o conjunto habitacional operacional. Serão as

²⁹¹ Cabrita (et al.) – A futura habitação apoiada, 2000.

²⁹² O investigador dinamarquês Morten Elle, em 1993 estabeleceu quatro cenários possíveis, tendo em vista o ano de 2010. Esta previsão, embora feita há uma década pode-nos ajudar a visualizar hipóteses concretas para a acção dos vários grupos envolvidos na ecologia urbana de um futuro próximo.

administrações locais, os agregados familiares ou alguma outra entidade? Para abordar esta questão podem-se apontar os seguintes cenários possíveis para a gestão da habitação durante a ocupação²⁹³:

- *Tecnologia individual* – as tecnologias permitem a solução de problemas ambientais de cada morador autonomamente, por via de equipamentos capazes de facilitar, por exemplo, a triagem de resíduos e a compostagem, e desempenham um papel fundamental de auxílio do morador. O controlo de consumos é individualizado, tal como a responsabilização pelos impactes e falhas. Não há necessidade de controlo local, pois cada indivíduo é responsável por si e pelo seu *habitat*.
- *Cooperação local entre residentes* – os residentes conjugam esforços. Neste cenário os habitantes das áreas residenciais estão activamente envolvidos na resolução de muitos dos problemas ambientais e na gestão comum do *habitat*. A tecnologia de apoio a este sector colectivo desempenha um papel fundamental, mas o elemento mais importante é a cooperação entre os utentes. O controlo das administrações locais está presente e os residentes activamente envolvidos discutem e resolvem os problemas ambientais.
- *Gestão centralizada* – as administrações locais resolvem as questões. Neste cenário as soluções tecnológicas a nível da administração local desempenham o papel principal. A tecnologia é crucial, mas é aplicada fora da habitação e da área residencial. O controlo é um factor importante.

Arquitectura

Desde sempre que a arquitectura procurou ser eficiente e otimizar recursos. No início do século XX, a racionalidade era já uma forma de sustentabilidade e no seio da arquitectura de vanguarda as considerações climáticas e energéticas eram temas tratados com profundidade²⁹⁴. Um século depois, a generalização da consciência da necessidade de sustentabilidade global e de diversidade local surgiu a par do encurtar das distâncias entre os lugares do Planeta. Numa realidade espacialmente cada vez mais una, as intervenções no ambiente construído respondem simultaneamente a contextos regionais e locais, bem como a preocupações globais. Um dos factores mais internacionalizantes da arquitectura é hoje a sua capacidade de dar resposta à conservação do ambiente global. Este objectivo comum não significa, porém, que a arquitectura sustentável se torne genérica; muito pelo contrário, implica que a arquitectura, na procura de melhorar a eficiência ambiental dos edifícios, procure soluções locais e únicas.

Este é um dos muitos pontos de vista que demonstra que não existe uma linguagem arquitectónica que caracteriza a arquitectura nem a habitação sustentável. Os edifícios só podem ser considerados ecológicos, ou ambientalmente sustentáveis, com base no seu desempenho ambiental. Este é o critério objectivo que pode distinguir edifícios que são sustentáveis dos que não o são. E mesmo os elementos que, em geral, contribuem para alcançar elevado desempenho ambiental, e que poderiam caracterizar a arquitectura ecológica²⁹⁵ – materiais naturais locais duráveis, reciclados ou elementos

²⁹³ Elle - A Ecologia urbana do Futuro, 1994.

²⁹⁴ Porteous – The new Eco-architecture, alternatives from the modern movement, 2002.

²⁹⁵ Montaner – A modernidade superada, arquitectura, arte e pensamento do século XX, 2001.

para controlo ambiental passivo ou activo – não implicam uma expressão formal similar quando concebidos como parte integrante da solução arquitectónica.

A ideia de uma expressão específica da arquitectura ecológica nasce a par do conceito "arquitectura sustentável", fortemente influenciado por pressões subjacentes à produção de arquitectura habitacional como um bem de consumo. Na realidade, o que começou por ser uma vanguarda alimentada por uma ética emergente, tornou-se numa moda que invadiu o mercado imobiliário, condenando a sustentabilidade ambiental a abordagens superficiais, com benefícios ambientais por vezes irrisórios.

É provável que, em breve, toda a arquitectura se torne mais sustentável, pois é inerente à arquitectura ser eficiente e adequada a um determinado momento. Já existem numerosos exemplos de arquitectura habitacional que se destacam pela sua qualidade ao aplicarem soluções de eficiência energética, ao utilizarem materiais de bom desempenho ambiental ou ao procurarem uma relação com a natureza reconhecendo que a envolvente natural tem um papel essencial no nosso bem-estar.

Mas ao mesmo tempo que os temas ecológicos estão mais representados nos media, no que toca à arquitectura, instala-se uma tendência para a diminuição do debate profissional sobre estes temas, promovendo-se a desinformação e abrindo espaço à invasão da publicidade e do *marketing*. Os modelos habitacionais com uma marcada expressão de sustentabilidade ganharam mesmo um valor acrescentado devido não à eficiência, mas ao estatuto que conferem, contribuindo para a distinção dos moradores e associando-os a uma identidade "verde". Esta arquitectura "verde" está ligada ao conceito de "qualidade de vida". Contudo, este conceito, como hoje o entendemos, é ainda um ideal insustentável, pois pretendemos alcançá-lo sem considerar os custos externos e sem assumir que podemos estar a comprometer o nosso próprio futuro.

Cidade

É na cidade que a aplicação do conceito de sustentabilidade é mais complexa, mas também mais necessária para qualificar o ambiente construído, e onde poderá dar um novo sentido ao urbano. Existe uma forte dicotomia entre cidade consolidada, geralmente central e histórica, e urbanização de expansão recente, geralmente periférica, com défices de qualidade e onde os custos ambientais são elevados²⁹⁶.

A dicotomia entre cidade consolidada e cidade em expansão tem associados fenómenos que comprometem a sustentabilidade urbana, nomeadamente, a deslocação da função residencial dos centros urbanos para as periferias, a concentração terciária nas áreas centrais e a especulação imobiliária assente em valores de centralidade alimentados pelas dificuldades de acesso ao centro a partir das zonas periféricas²⁹⁷. Para atenuar esta dicotomia é necessário combinar estratégias de urbanismo visando a coesão funcional e a recharacterização da paisagem urbana. Esta proposta terá

²⁹⁶ Domingues (et al.) – Políticas Urbanas, 2004.

²⁹⁷ Pinho – A propósito da qualidade do ambiente urbano: contributos para a crítica do livro verde da UE, Inforgo, 1995.

como consequência a emergência da metrópole polinucleada e um esbatimento do tradicional gradiente centro-periferia nos preços do mercado imobiliário²⁹⁸.

É previsível que nas cidades maduras, onde a quantidade de serviços é suficiente mas onde falta resolver problemas de qualidade, eficiência, flexibilidade e multi-funcionalidade, a habitação terá um papel decisivo na formação da cidade e na recharacterização dos ambientes urbanos²⁹⁹.

Em Portugal, nas cidades em expansão, o papel da habitação na transformação dos territórios urbanos tem sido determinante pela negativa, configurando “bolhas” de cidade-habitação cuja dispersão e mono-funcionalidade comprometem o uso do território. Esta cidade-habitação periférica, em vez de reorganizar e recharacterizar os ambientes urbanos, negligencia a relação com a envolvente, com o centro e com o espaço público, rejeitando quaisquer compromissos de sustentabilidade, individuais e colectivos, locais e globais, para com o meio físico e social.

²⁹⁸ Idem.

²⁹⁹ Hall; Pfeiffer – URBAN FUTURE 21, a global agenda for twenty-first century cities, 2000.

6. Considerações finais

No presente relatório foram apresentados dados sobre o desempenho ambiental de edifícios habitacionais que evidenciam a sua importância para a sustentabilidade do *habitat* humano e o seu potencial contributo para minorar a crise ambiental global. Espera-se que esta informação possa servir de apoio ao projecto de edifícios e áreas residenciais com elevado desempenho ambiental, bem como basear investigações mais aprofundadas sobre o tema.

Após a caracterização da problemática situação actual, foi abordada a reacção política que legitimou e tornou globais os objectivos de sustentabilidade. Tais objectivos, porém, só poderão ser alcançados com conhecimento do suporte biofísico e cultural das nossas cidades e edifícios, e dos problemas associados a cada recurso que o desenvolvimento convencional está a pôr em risco. Para o efeito foi apresentada uma caracterização geral dos recursos ambientais e das principais escalas de acção sobre o território, bem como uma visão aprofundada do que poderá ser o *habitat* urbano sustentável, incluindo a escala urbana como suporte da habitação e das áreas residenciais. Esta introdução constituiu um diagnóstico dos problemas e um levantamento das soluções para avançar em direcção a uma maior sustentabilidade na produção de edifícios e áreas residenciais.

Para que, a partir do diagnóstico, se pudessem prescrever terapêuticas, foram apresentados princípios orientadores para a habitação sustentável, integrando a gestão dos diversos recursos ambientais ao longo das etapas do processo da produção e gestão da habitação. Estes princípios orientadores do planeamento e projecto visam a gestão dos recursos ambientais e a satisfação das exigências dos habitantes. De entre estes dois evidenciaram-se como preponderantes na produção de habitação de bom desempenho ambiental a eficiência energética, e a gestão e selecção de materiais de construção. Foram assim descritas e analisadas soluções integradas em edifícios para a questão energética e para a ecologia dos materiais e soluções construtivas.

Para ilustrar como se podem aplicar na prática as medidas "terapêuticas", foram também apresentados diversos empreendimentos e edifícios de habitação. Por último, foram resumidas as tendências emergentes, que ilustram a evolução expectável das soluções e dos próprios princípios de sustentabilidade.

Após a realização deste *estado da arte* ficou claro que encontrar soluções habitacionais de qualidade sem aumentar as ameaças ambientais do presente constitui um desafio e um estímulo para o planeamento e a arquitectura residencial. Mas este desafio não é apenas técnico, é também político, pois obriga a mudanças na forma como se tem urbanizado o território e obriga a estabelecer limites para a transformação da natureza inerente à construção do *habitat* humano.

Para o contexto português, consideram-se prioritárias as seguintes linhas de investigação futura:

Instrumentos para a promoção da sustentabilidade ambiental das áreas residenciais

Embora seja consensual a necessidade de melhorar o desempenho ambiental das novas áreas residenciais, em Portugal persiste a construção segundo o modelo tradicional. Vários factores justificam o facto, tais como a inércia do sector da construção, o conservadorismo da procura habitacional, as limitações administrativas e regulamentares, a falta de incentivos do Estado e a ausência de penalizações por desempenho ambiental negativo. Deste modo, é importante prosseguir uma linha de investigação que evidencie a insustentabilidade ambiental das áreas residenciais recentes, estude soluções de sustentabilidade ambiental adequadas à realidade nacional, produza informação técnica de apoio ao projecto de soluções mais sustentáveis e crie instrumentos que facilitem a análise e avaliação do desempenho ambiental de áreas residenciais.

Reabilitação de edifícios e sustentabilidade ambiental

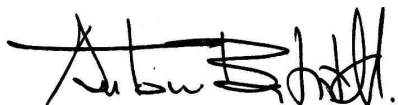
É também consensual que o ritmo de construção de nova habitação em Portugal deverá abrandar nos próximos anos, e que a prioridade passará a ser a reabilitação do extenso parque habitacional existente, bem como a requalificação dos territórios onde este se insere. As intervenções de reabilitação constituem uma oportunidade para dotar o parque habitacional existente de um melhor desempenho ambiental. Para apoiar estas intervenções de reabilitação é importante prosseguir uma linha de investigação que transponha os princípios de sustentabilidade ambiental em edifícios novos para o sector da reabilitação de edifícios de habitação.

Os autores agradecem reconhecidos o acompanhamento e as sugestões de aperfeiçoamento do documento, facultadas por diversos especialistas e colegas, nomeadamente, Dr. António Santos, Arq.^a Isabel Plácido, Eng.º João Farinha, Eng.º José Vasconcelos Paiva, Arq.^a Livia Tirone, Arq.º Luís Morgado, Dr.^a Maria João Freitas, Arq.º Miguel Amado, Eng.º Pina dos Santos, Arq.º Pinto Duarte, Arq.º Reis Cabrita e Arq.^a Sara Eloy.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Julho de 2010

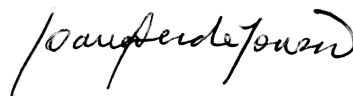
Visto

O chefe do Núcleo de Arquitectura e
Urbanismo



António Baptista Coelho

Autorias



Joana Mourão
Arquitecta, Bolseira de Investigação

O Director do Departamento de Edifícios



Carlos Pina



João Branco Pedro
Arquitecto, Investigador Auxiliar

Bibliografia

Monografias

- ANDERSON, Jane; HOWARD, N. – The green guide to housing specification. London: BRE Electronic Publishers, 2000.
- ANINK, David; BOONSTRA Chiel; MARK, John – Handbook of Sustainable building. An environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment. London: James & James, 1996.
- BAIRD, George – The architectural expression of environmental control systems. London: Spon Press, 2001.
- BAKER, Nick; STEEMERS, Koen – Daylight design of buildings. London: James & James, 2002.
- BARTON, Hugh; DAVIS, Geoff; GUISE, Richard – Sustainable settlements: A guide for planners, designers, and developers. Bristol: University of the West of England and the Local Government Management Board, 1995.
- BARTON, Hugh; GRANT, Marcus; GUISE, Richard – Shaping neighbourhoods. A guide for health, sustainability and vitality. Londres: Spon Press, 2003.
- BAUMOL, W.; OATES, W. – The theory of environmental policy. Cambridge: University Press, 1988.
- CABRITA, A. Reis (et al.) – A futura habitação apoiada. Lisboa: LNEC, 2000.
- CAMAGNI, Roberto; GIBELLI, Maria; RIGAMONTI, Paolo – I Costi collettivi della città dispersa. Florença Alinea Editrice, 2002.
- CANNATÀ, Michele; FERNANDES, Fátima – Casa inteligente. Protótipo de casa contemporânea. Porto: Ed. Asa, 2002.
- COELHO, Helder – Será que pode haver inteligência nos edifícios?. Lisboa: LNEC, 1989.
- COFAIGH, Eoin – Climatic dwelling: an introduction to climate-responsive residential architecture. Londres: James and James, 1996.
- DANIELS, Klaus – Low tech, light tech, high tech: building in the information age. Basileia: Birkhäuser Publishers, 1998.
- DETHIER, Jean – Arquitecturas de terra. Ou o futuro de uma tradição milenar. Europa. Terceiro Mundo. Estados Unidos. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.
- DUARTE, José Pinto – Tipo e módulo. Abordagem ao processo de produção de habitação. Lisboa: LNEC, 1995.

- EDWARDS, Brian; HYETT, Paul – Guía básica de la sostenibilidad. Barcelona: Gustavo Gili 2004.
- EDWARDS, Brian; TURRENT, David – Sustainable housing. Principles and practices. Londres: E & FN SPON, 2000.
- ELIZABETH, Lynne; ADAMS, Cassandra – Alternative construction: Contemporary natural building methods. New York: Wiley, 2000.
- ELLE, Morten – A ecologia urbana do futuro. Tradução adaptada por Rob Bilderbeek, Apeldoorn: TNO Centre for Technology & Policy, 1993.
- FERNANDES, Eduardo de Oliveira; ALMEIDA, Francisco; CARDOSO, Paulo – Energy and environment in cities A global strategy for Expo'98 Lisbon, Principles and Tools. Lisboa: Parque Expo 98, S.A. 1997.
- FORBES, K., MOITA, R. SANTOS, F. D. (ed.) – Mudança climática em portugal cenários, impactes e medidas de adaptação – SIAM. Sumário Executivo e Conclusões. Lisboa: FCT/Gradiva, 2001.
- GAUZIN-MÜLLER, Dominique – Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos. Barcelona, Gustavo Gili, 2002.
- GIDDENS, Anthony – Modernidade e identidade pessoal. Oeiras: Celta, 1994.
- GONÇALVES, Hélder (et al.) – Ambiente construído clima urbano utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa. Lisboa: INETI/FCT, 2004.
- GONÇALVES, Hélder (et al.) – Edifícios solares passivos em Portugal. Lisboa: INETI, 1997.
- GONÇALVES, Hélder, JOYCE, António, SILVA, Luís (editores) – Fórum energias renováveis em Portugal, uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental. Lisboa: ADENE/INETI, 2002.
- HALL, Peter; PFEIFFER, Ulrich – URBAN FUTURE 21, a global agenda for twenty-first century cities. London: E&FN Spon, 2000.
- HARLAND, Edward – Eco-renovation: the ecological home improvement guide. White River Junction: Chelsea Green Publishing Company, 1999.
- HERZOG, Thomas – Solar Energy in architecture and urban planning. Munique, Londres: Prestel, 1998.
- IZEMBART, Hélène; BOUDEC, Bertrand – Waterscapes. El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales. Barcelona: Gustavo Gili, 2003.
- JONES, David Lloyd – Architecture and the environment: Bioclimatic building design. Woodstock, NY: Overlook Press, 1998.
- JOY, Rick – Desert works. Graham Foundation/Pinceton Architectural Press, 2002.

- KANDEL, Robert – A evolução dos climas. Editora Terramar, 1990.
- KUNSTLER, James Howard – O Fim do Petróleo - O Grande Desafio do Séc. XXI. Bizâncio: Lisboa, 2006
- LAWRENCE, Roderick J. – Housing, dwellings and homes: Design theory, research and practice. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- LOMBORG, Bjorn – The skeptickal environmentalist. Cambridge: University Press, 2001.
- LOVELOCK, James – A vingança de Gaia. Lisboa: Gradiva, 2007.
- MAINI, Valentina (Coordenação) – ¿qué? Construcción ecológica: Criterios. ayudas. materiales. energías. agua. Proyecto de cooperación Transnacional Innovatur. Alicante: Font i Prat Ass, 2001.
- MOITA, Francisco – Energia solar passiva 1. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 1987.
- MONTANER, Josep Maria – A modernidade superada, arquitectura arte e pensamento do século XX. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.
- MORGADO, Luís – Habitação para o futuro. Tipos emergentes de habitação. Lisboa: LNEC, 2005 (policopiado).
- MOSTAEDI, Arian; CHUECA, Pilar – Facades. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones, 2002.
- NUNES CORREIA, F. – Ambiente e ambientalismos. Portugal Hoje, 1995.
- OLGAY, Victor – Arquitectura y clima: manual de disenõ bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- PASCHICH – Mainstreaming sustainable architecture: Casa de paja: A demonstration. Corrales, NM: High Desert Press, 2001.
- PEDRO, João Branco – Programa habitacional – Edifício. Lisboa: LNEC, 1999. (Informação técnica Arquitectura 7).
- PEDRO, João Branco – Programa habitacional – Vizinhança Próxima. Lisboa: LNEC, 1999. (Informação técnica Arquitectura 7).
- PORTAS, Nuno – Funções e exigências de áreas da habitação. Lisboa: LNEC, 1969.
- PORTAS, Nuno (et al.) – European 7: Portugal. Intensidade e diversidade residencial – o desafio das periferias. Lisboa: 2004. (Catálogo dos projectos premiados).
- PORTEOUS, Colin – The new eco-architecture: Alternatives from the modern movement. Londres: Spon Press, 2002.
- ROGERS, Richard (Department of the Environment, Transport and the Regions) – Towards an urban renaissance. Londres: E&FN Spon, 2002

- RUANO, Miguel – Ecourbanismo, entornos humanos sostenibles: 60 proyectos. Barcelona: Gustavo Gili SA, 1999.
- SCHITTICH, Christian – in DETAIL Solar Architecture, Strategies, visions, concepts. Munique, Basileia: Birkhäuser, 2003.
- SCOTT, Andrew (ed.) – Dimensions of sustainability: architecture form technology environment culture. New York: Routledge, 1998.
- SLESSOR, Catherine. – Eco-Tech: Sustainable architecture and high technology. New York: Thames and Hudson, 1997.
- SMITH, Peter – Architectural in a climate of change: A guide to sustainable design. Oxford (etc.): Architectural Press, 2001.
- SMITH, Peter – Eco-Refurbishment: A practical guide to creating an energy efficient home. Oxford (etc.): Architectural Press, 2003.
- SMITH, Peter – Sustainability at the cutting edge: Emerging technologies for low energy buildings. Oxford (etc.): Architectural Press, 2003.
- SOUSA SANTOS, Boaventura – Democracia e participação: O caso do orçamento participativo de Porto Alegre. Porto: Afrontamento, 2002.
- FONSECA, Susana – SHE Sustainable housing in europe: State of the art report Portugal. 2003. URL: <http://www.she.coop/uploadedfiles/WP%201a%20-%20Portugal.pdf>
- SPIEGEL, R.; MEADOWS, D. – Green building materials, a guide to product selection and specification. Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- VALE, Brenda; VALE, Robert – The new autonomous house: Design and planning for sustainability. New York: Thames & Hudson, 2000.
- VALE, Brenda; VALE, Robert – Green architecture. Design for a sustainable future. Singapura, Thames and Hudson, 1991.
- VIEGAS, João Carlos – Ventilação natural de edifícios de habitação. Lisboa: LNEC, 1995.
- WACKERNAGEL, Mathis; REES, William – Our ecological footprint: reducing human impact on the earth. Gabriola Island: The new catalyst, 1994.
- WIGGINTON, Michael; HARRIS, Jude – Intelligent skins. Oxford (etc.): Architectural Press, 2002.
- WINES, James – Green architecture. Colónia (etc.): Taschen, 1992.
- YANNAS, Simos – Solar energy and housing design: Principles, objectives, guidelines. Londres: Architectural Association Publications, 1994.
- YEANG, Ken – El rascacielos ecológico. Barcelona: Gustavo Gili SA, 2001.

Relatórios científicos e técnicos

- AAVV – Portugal hoje. Lisboa: Instituto Nacional de Administração, 1995.
- AAVV – Sustainable urban design. Comissão Europeia – Projecto Energie, 2000.
- ADENE, Agência para a Energia (et al.) – Linhas de apoio fiscais e financeiras à energia solar térmica. 2003. URL: http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/2/Linhas_de_Apoio_AQS.pdf
- ADENE, Agência para a Energia – Água quente solar. Caracterização do solar térmico em Portugal 2006. Relatório síntese. 2007. URL: [http://www.aguaquentesolar.com/_fich/18/Caract_ST_Pt_\(rs\)_2006.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/_fich/18/Caract_ST_Pt_(rs)_2006.pdf)
- ARCHITECTS' COUNCIL OF EUROPE (ACE); ENERGY RESEARCH GROUP (ERG); SUOMEN ARKKITEILLITTO (SAFA); SOFTECH – A green vitruvius: Princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável. Lisboa: Ordem dos arquitectos, 2001.
- BCSD Portugal, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável – Construção sustentável: Os principais desafios em Portugal. BCSD Portugal n.º 6, Março 2006.
- BCSD Portugal, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável - Normas corporativas de transparência e contabilização – BCSD /WBSD, 2006.
- BRE – Recycled costing for zero waste house, 2000.
- DIRECÇÃO GERAL DE GEOLOGIA E ENERGIA (DGCE) – Utilização de colectores solares para aquecimento de água no sector doméstico. Lisboa: DGCE/IP-AQSpP, 2004. URL: <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf>
- COMITÉ INTERNATIONAL DU BÂTIMENT (CIB) – Agenda 21 on sustainable construction. CIB Report Publication 237. 1999.
- COMISSÃO EUROPEIA (CE) – Bioclimatic architecture. The demonstration component of the Joule – Thermie Programme, 2000.
- COMISSÃO EUROPEIA (CE) – Melhores edifícios, nova legislação europeia para economizar energia nos edifícios, 2003. URL: <http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/4F686BA0-0BE0-438C-8C0E-1E52EDA12494/58/BetBuiPT.pdf>
- CONSELHO DOS ARQUITECTOS DA EUROPA (CAE) – A Europa e a arquitectura amanhã. Livro branco: Propostas para o ordenamento para o quadro construído da Europa. Bruxelas: Ed. DGOTDU, 1995. URL: <http://www.acecae.org/Public/Downloadcae/whitebook/WRPOR.pdf>
- EHEN (European housing ecology network) - SHINE, Solar housing through innovation for the natural environment, brochure *Social housing leads the way in low energy solar design*, 2005.
- ECEEE 2003 Summer Study – Time to turn down the energy demand. ICE – International Consulting on Energy, Paris, 2003.

- GEOHABITAT – Manual de diseño. La ciudad sostenible. Madrid: Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2002 (Baseado em "The Kronsberg Handbook").
- INSTITUTO DO AMBIENTE – Relatório do estado do ambiente 2001. Lisboa, 2002.
- INSTITUTO DO AMBIENTE – Terceira comunicação nacional sobre alterações climáticas. 2003.
- INSTITUTO DO AMBIENTE – Portuguese initial report under the Kyoto Protocol. Amadora, 2006.
URL:
http://unfccc.int/files/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/application/pdf/pt_initialreportkp.pdf
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) – Report of the world commission on environment and development: Our common future. 1987. URL: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): CONFERENCE ON HUMAN SETTLEMENTS – Istanbul declaration on human settlements. Istambul: Organização das Nações Unidas, 1996
URL: <http://www.unhabitat.org/unchsh/english/hagenda/ist-dec.htm>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): DIVISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – Agenda 21. (S.I.): Organização das Nações Unidas, 2000 URL:
<http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21text.htm>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): EARTH SUMMIT 1992 – Rio declaration on environment and development. Rio de Janeiro: 1992 URL:
<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): EARTH SUMMIT 1992 – United Nations framework convention on climate change. Rio de Janeiro: Organização das Nações Unidas, 1992
URL: <http://www.iisd.org/rio+5/agenda/riodocs.html>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): EARTH SUMMIT 2002 – Johannesburg Declaration on sustainable development. From our origins to the future. Johannesburg: Organização das Nações Unidas, 2002 URL:
<http://www.iisd.ca/linkages/2002/wssd/WSSDecl.pdf>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGES – Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate changes. Quioto: Organização das Nações Unidas, 1997. URL:
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) – Relatório do desenvolvimento humano 2003. Lisboa: Mensagem, 2003 (publicado para o Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD).

- REDEFINING PROGRESS, THE NATURE OF ECONOMICS – Sustainability indicators program, 2005. URL: <http://www.ecologicalfootprint.org>
- SUBCOMISSÃO PARA A REVISÃO DO REGULAMENTO GERAL DAS EDIFICAÇÕES URBANAS – Regime geral das edificações: Projecto de Decreto-Lei. Versão de Janeiro de 2007.
- UNIÃO EUROPEIA (UE) – Carta das cidades europeias para a sustentabilidade. Aalborg: European Communities, 1994 URL: http://www.sustainable-cities.org/aal_por.html
- UNIÃO EUROPEIA (UE) – Para um perfil da sustentabilidade local - Indicadores comuns europeus. Relatório Técnico. (S.l.): European Communities, 2000.
- UNIÃO EUROPEIA (UE) – Hanover Call of European municipal leaders at the turn of the 21st century. Hanôver: European Communities, 2000. URL: http://europa.eu.int/comm/environment/urban/hancall_en.pdf
- UNIÃO EUROPEIA (UE) – Working group on sustainable construction, Final report. (09-09-2004) URL: http://www.europa.eu.int/comm/environment/urban/sustainable_urban_construction.htm
- UNIÃO EUROPEIA (UE) – Working group on sustainable urban design, Final report. (09-09-2004) URL: http://www.europa.eu.int/comm/environment/urban/sustainable_urban_design.htm

Documentos legislativos

- PORTUGAL – Decreto-Lei n.º 38 382. Diário de Republica (7 de Agosto de 1951). [Regulamento geral das edificações urbanas].
- PORTUGAL – Decreto-Lei n.º 78/2006. Diário de Republica Série I-A. n.º 67 (4 de Abril de 2006). [Sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios].
- PORTUGAL – Decreto-Lei n.º 79/2006. Diário de Republica Série I-A. n.º 67 (4 de Abril de 2006). [Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios].
- PORTUGAL – Decreto-Lei n.º 80/2006. Diário de Republica Série I-A. n.º 67 (4 de Abril de 2006). [Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios].
- UNIÃO EUROPEIA (UE) – Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial da União (04-02-2003).

Teses e dissertações

- AMADO, Miguel P. – O processo do planeamento urbano sustentável. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2002. Tese de doutoramento.

- CADIMA, Paula – Transitional spaces: the potencial of semi-outdoor spaces as a mean for environmental control with special reference to Portugal. Londres: Architectural Association Graduate School of Londres, 2000. Tese de doutoramento.
- COELHO, António Baptista – Qualidade arquitectónica residencial: Rumos e factores de análise. Lisboa: LNEC, 2000. (Col. Informação técnica arquitectura n.º 8) Edição pelo LNEC de tese de doutoramento.
- FREITAS, Maria João – Habitação e cidadania: No trilho da complexidade de processos racionais generativos. Lisboa: Instituto Superior das Ciências do Trabalho e da Empresa, 2001. Tese de doutoramento.
- PAIVA, Alexandra – Habitação flexível: Análise de conceitos e soluções. Lisboa: Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, 2002. Dissertação de mestrado.
- PEDRO, João Branco – Definição e avaliação da qualidade arquitectónica habitacional. Porto: Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2000. Tese de doutoramento.
- SANTOS, António – Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "IN SITU". Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2001. Dissertação de mestrado.
- SUSTELO, Michel Diogo – A participação do cidadão na Reabilitação dos centros históricos. Estudo comparativo Alemanha-Portugal. Lisboa: Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, 2003.

Artigos e comunicações científicas

- ALMEIDA VIEIRA, Pedro – Autarcas pouco atentos ao ambiente. Diário de Notícias, 12 Julho 2004.
- AZEVEDO, Virgílio – Os devoradores de energia. Expresso: Única, n.º 1653 (3 Julho 2004).
- BRE – Greenwich Millenium Village development exceeds waste reductions. Construction Technology in Europe. Garston: ENBRI, n.º 25 (Março 2004).
- COIMBRA, José – Ambiente e construção sustentável numa promoção cooperativa na Ponte da Pedra, Matosinhos. URL: <http://www.infohabitar.blogspot.com>, 2007.
- GOMES, João Ferreira – Sistemas de caixilharia em PVC: Um contributo para uma arquitectura sustentável. In Arquitectura e vida n.º 51, Julho/Agosto 2004 (Secção de publicidade redigida).
- LÉGER, Jean Michel – Modos de habitar a arquitectura: as respostas francesas. Cidades, Comunidades e territórios. Lisboa: CET, N.º 3 (2001).

- MITCHELL, William, J. – Dimensions of sustainability, Dematerialization, demobilization and adaptation, in Scott Andrew – Dimensions of Sustainability: Architecture Form Technology Environment Culture, Londres: E & FN Spon 1998
- MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Arquitectura e sustentabilidade ecológica. Arquitectura e vida. Ano IV, n.º 48, Abril 2004, p. 28-31 (4).
- NAVES, Filomena – Maioria na Grande Lisboa quer uma vida melhor, Diário de Notícias, 12 Julho 2004.
- PINHO, Paulo – A propósito da qualidade do ambiente urbano: contributos para a crítica do livro verde da UE, Inforgeo Ambiente e território (9 de Outubro de 1995).
- RODRIGUES, Paulina – Compatibilidade entre as paredes e respectivos revestimentos, II Seminário "Arquitectura em terra em Portugal: Investigação, produção, construção e legislação, Lisboa, Setembro 2004.
- TODD, John (et al.) – Comprehensive water and nutrient planning for sustainable design. L. Bragança et al. (Eds.) – SB07: Sustainable Construction Materials and Practices, Amsterdam: IOS Press, 2007.
- VIEIRA, Pedro Almeida – Autarcas pouco atentos ao ambiente, Diário de Notícias (12 Julho 2004).

Outros suportes

- ANDERSEN, Teresa – Aula de Mestrado em Planeamento e Projecto do Ambiente Urbano. FEUP, 2004.
- CUCHÍ, Albert – Curso "impacto ambiental da arquitectura", Universidade Politécnica da Catalunha, 2007.
- DELLESKE, Andreas – Entrevista dos autores a membro do Forum-Vauban, 2004.
- ENGELKE, Karin – Entrevista dos autores a habitante do bairro de Kronsberg (Hanôver), 2004.
- Wohnen in Bayern – Arbeitsblätt zum Wohnungsbau, 2003 –
URL:<http://www.wohnen.bayern.de/exwobau>.

