

Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Raul de Oliveira Fontoura

**A arquitetura na encruzilhada da sustentabilidade:
considerações à literatura e a experiências existentes**

1 volume

Brasília
2007

Raul de Oliveira Fontoura

A arquitetura na encruzilhada da sustentabilidade:
considerações à literatura e a experiências existentes.

1 volume

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo

Orientador:

Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida

Raul de Oliveira Fontoura

A arquitetura na encruzilhada da sustentabilidade:
considerações à literatura e a experiências existentes

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo
Universidade de Brasília - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Data da aprovação:

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida

Prof. Dr. Antônio Carlos Carpintero

Prof. Dr. Carlos Espíndola

Agradecimentos

A meus pais e minha dinda Lucila, pelo amor inesgotável, pelo exemplo, por me ajudarem a acreditar em minhas próprias pernas e me ensinarem a nunca duvidar da importância do estudo.

A minha querida Patrícia, pelo companheirismo, paciência, incentivo, colaboração e principalmente pela inigualável sensação de, a cada dia, não ver a hora de chegar logo em casa.

A meu orientador, Prof. Jaime, por todo o apoio e principalmente pelo exemplo, por ser uma prova viva de que a ética, a disciplina, a serenidade e o sorriso valem à pena, de que nós podemos fazer de nosso caminho um compromisso com um mundo mais justo.

Aos mestres Cristina Jucá e Frank Svensson, pelo amor à verdade.

Resumo

A sociedade contemporânea defronta-se com uma crise ambiental de escala sem precedentes, que a obriga a repensar o conjunto das suas atividades, entre elas a produção do abrigo. A arquitetura vê-se, nesse contexto, irrevogavelmente impelida a refletir sobre as conseqüências que suas decisões infligem ao meio ambiente e a propor, como resposta, uma revisão das variáveis, critérios e práticas de projeto e de construção. A partir especialmente do início da década de 1990, essa preocupação passa a ser aos poucos incorporada ao discurso de governos, escolas de arquitetura e outras instituições cuja atuação tem uma participação central na conformação das práticas arquitetônicas do cotidiano – processo que pode ser interpretado como a institucionalização da problemática ecológica no campo da arquitetura. O presente trabalho apresenta um quadro panorâmico do debate teórico e das experiências concretas que vêm definindo os rumos desse processo no contexto específico da Europa Ocidental, apontada como a região do mundo onde tal processo se mostra mais dinâmico, ainda que incipiente. Uma prática arquitetônica comprometida com a sustentabilidade em relação aos sistemas naturais deve responder a três variáveis fundamentais: energia, água e materiais. Para alcançar os objetivos estabelecidos na esfera de cada uma dessas variáveis, vem-se estabelecendo uma agenda de projeto que inclui práticas como o equilíbrio do edifício com o clima e a geração de energia não poluente, o aproveitamento de água da chuva e a reciclagem das águas servidas, a reciclagem e a reutilização de materiais e componentes e a ampliação do uso de materiais provenientes de matérias primas renováveis, entre outros. A análise do debate teórico e das experiências concretas em torno dessas propostas deve situá-los no contexto institucional que lhes dá suporte, uma vez que qualquer agenda para uma “arquitetura sustentável” é também uma construção social, portadora, portanto, de uma dada visão de mundo entre muitas outras existentes.

Palavras-chave: Arquitetura, Edifício, Sustentabilidade, Meio Ambiente, União Européia, Brasil.

Abstract

Contemporary society faces an environmental crisis of unprecedented scale, which forces it to rethink its full range of activities, including the production of shelter. In this context, architecture finds itself unrevokably impelled to reflect about the consequences that its decisions inflict upon the environment, and to put forward a reconsideration of the variables, criteria and practices involved in present day design and construction. From the beginning of the 1990's, the issue started to be gradually incorporated into the discourse of governments, architecture schools and other institutions which have an important role in the shaping of mainstream architecture – a process that could be interpreted as the institutionalization of the environmental issue in the field of architecture. This work presents an overview of the theoretical debate and concrete experiences which are defining the directions such a process is taking in Western Europe, the region of the world where it appears to be more dynamic, albeit still in its early stages. The architecture committed to sustainability in relation to the natural systems must respond to three primary variables: energy, water and materials. To reach the goals set out in the domain of each one of them, a design agenda has been established which includes such practices as building in balance with the climate, production of clean renewable energy, rainwater harvesting and wastewater recycling, recycling and reuse of building materials and components, larger use of materials from renewable sources, among others. The institutional frame that supports the theoretical debate and concrete experiences around those proposals must be taken into consideration, since any agenda for a “sustainable architecture” is also a social construct, therefore conveying one given vision of the world among many others existing ones.

Key words: Architecture, Sustainable Building, Sustainability, Environment, European Union, Brazil.

Sumário

	Pág.
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Listas de gráficos, quadros e figuras	vii
Prefácio	xv
Introdução	1
1. A arquitetura frente à problemática	6
1.1 A sustentabilidade como programa de arquitetura	7
1.2 A arquitetura sustentável como política pública	16
Pranchas	29
2 A questão ambiental	39
2.1 O discurso ambientalista	40
2.2 A institucionalização da problemática ambiental	45
3 A questão da energia	56
3.1 A questão da energia	57
3.2 A redução da demanda: eficiência energética	67
3.3 A qualificação da oferta: energias renováveis	80
3.4 Padrões construtivos e certificação	82
Pranchas	85
4. A questão da água	92
4.1 Um novo paradigma para os sistemas hídricos urbanos	93
4.2 Uso racional da água	95
4.3 Aproveitamento da água da chuva	98
4.4 Gestão das águas servidas	103
4.5 Coberturas verdes	108
Pranchas	114
5. A questão dos materiais	122
5.1. A questão dos materiais	123
5.2 Substituição estratégica de materiais	132
5.3 Projeto para a desconstrução e o reaproveitamento de materiais	145
Pranchas	156
Conclusão	174
Referências bibliográficas – textos consultados em versão impressa ..	179
Referências bibliográficas – textos consultados em versão digital ..	182
Fontes das ilustrações	194

Lista de Gráficos

Graf	Descrição	Fonte	Pág
3.1	Consumo bruto percentual de energia por fonte primária. União Européia (EU-15), 1998.	Comissão das Comunidades Europeias, 2001.	57
3.2	Emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes do uso de edifícios.	Baumert <i>et al.</i> , 2005	60
3.3	Consumo de energia nos edifícios europeus, por uso final.	Modificado de Comissão das Comunidades Europeias, 2001b	61
3.4	Demanda média de energia em KW/(m ² /ano). Estoque edificado alemão e francês, normas selecionadas e padrões de edificação <i>Low Energy House, Passivhaus e Energieplus</i> .	Deste autor	83
3.5	Graus-Dias de Calefação (GDC) e Resfriamento (GDR). Países selecionados.	Baumert <i>et al.</i> , 2005	85

Lista de Quadros

Qd.	Descrição	Fonte	Pág
1.1	Matriz <i>Green File</i> .	European Green Building Forum 2, 2001	13
2.1	Problemas ambientais selecionados.	Deste autor.	40
2.2	Tendências do <i>ethos</i> e da <i>praxis</i> do ambientalismo.	Leis, 1998.	42
3.1	Estratégias e táticas de condicionamento ambiental em experiências recentes de arquitetura orientada para a eficiência energética em países europeus selecionados, de clima temperado ou frio.	Deste autor	71
3.2	Dias–Graus de Calefação (GDC). Média. Países europeus selecionados.	Mod. de Greenbuilding, s/d.	85
4.1	<i>Water Soft Path</i> .	Pinkham, 1995.	94
4.2	Uso Racional da Água.	A partir de Brasil, 1999.	92
5.1	Reaproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na União Européia-15.	Symonds, 1999 apud Te Dorsthorst; Kowalczyk, 2002	131
5.2	Ecomateriais para a arquitetura sustentável.	Deste autor	134
5.3	Ecomateriais proprietários.	Deste autor	143
5.4	Princípios e características do edifício IFD	Van der Brand <i>et al.</i> , 2003	153

Lista de Figuras

Fig.	Descrição	Fonte	Pág
Capítulo 1			
1.1	Os três níveis de ação da arquitetura sustentável.	Rovers, 2002.	14
1.2	Arquitetura sustentável sob a ótica do ciclo de vida do edifício.	Peuportier, 1998	15
Prancha 1.1 – Sustentabilidade na arquitetura - perspectivas distintas			
1.3	Foster & Partners. Commerzbank, Frankfurt, Alemanha (1991-1997).	Archiseek, c1996-2006	29
1.4	Werk Group Lahr. Casa Switch, Donaueschingen, Alemanha (1995).	Gauzin-Müller, 2002	29
1.5	Brenda e Robert Vale. Hockerton Housing Project, Hockerton, Reino Unido (1994-1998).	Hockerton Housing Project, s/d.	29
1.6	Peter Vetsch. Nine Houses, Dietikon, Suíça (1993).	Wines, 2000	29
Prancha 1.2 – Projeto <i>Cost Efficient Passive Houses as European Standard</i> (CEPHEUS)			
1.7	Hans Eek. Casas geminadas. Gotemburgo, Suécia.	Cost..., 2001.	30
1.8	P. Grenz. Casas geminadas. Hannover, Alemanha.	Op. cit.	30

1.9	Bau Sparrer Heim. Edifício residencial. Kuchl, Áustria.	Optiwin..., 2007	30
1.10	Gerhard Zweier. Edifício residencial. Wohlfurt, Áustria.	Foreningen Bæredyg Byer Og Bygninger, 1996.	30
1.11	Otmar Essl. Edifício residencial. Hallein, Áustria.	Energieinstitut Vorarlberg, 2004.	30
Prancha 1.3 – Projeto <i>Energy and Confort 2000</i> (EC-2000)			
1.12	Alexandros Tombazis. Edifício-sede da Avax SA, Atenas, Grécia.	Comissão das Comunidades Europeias, 1999a	31
1.13	Atelier 9 Architectes et Urbanistes Associés. Maison Méditerranéenne des Sciences Humaines (MMSH) e UFR, Aix en Provence, França.	Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, s/d.	31
1.14	ECD Architects Ltd. Learning Resources Centre, Anglia Polytechnic University (APU), Chelmsford, Reino Unido.	Comissão das Comunidades Europeias, 1999b.	31
1.15	Hans Ruijsenaars. Edifício público de múltiplo uso: prefeitura, biblioteca, teatro, Schiedam, Países Baixos.	Theater..., 1997?	31
1.16	Ruurd Roorda. Tax Office Extension, Enschede, Países Baixos.	Comissão das Comunidades Europeias, 1999c.	31
Prancha 1.4 – Selo <i>Energimærke</i> (Dinamarca)			
1.17	Selo <i>Energimærke</i> . Aplicação ao edifício sede do Ministério das Relações Exteriores da Dinamarca.	Laustsen; Lorenzen, 2003.	32
Prancha 1.5 – Edifícios escolares públicos (França)			
1.18	Isabelle Colas e Fernand Soupey. Liceu Leonardo da Vinci, Calais, França (1995-1998). Vista externa.	Gauzin-Müller, 2002.	33
1.19	Idem. Vista interna	Op. cit.	33
1.20	Maximiliano Fuksas. Liceu Maximilien Perret, Alfortville, França (1994-1997). Vista externa.	Middle Age Massiliano Fuksas, 1997.	33
1.21	Idem. Vista interna.	Op. cit.	33
Prancha 1.6 – Edifícios públicos municipais (Alemanha e Áustria)			
1.22	Mosaik Architekten. Escola Primária Karoline-Kaspar, Freiburg-Vauban, Alemanha (1998-99).	La Maison Passive, 2007.	34
1.23	D'Inka + Scheible, Creche, Stuttgart- Heumaden, Alemanha (1999).	Gauzin-Müller, 2002.	34
1.24	Baumschlager + Eberle, Colégio em Mäder, Áustria 1996-1998.	The Architectural Review, 2000	34
1.25	Peter Hübner. Jardim de Infância, Stuttgart-Heslach, Alemanha (1994). Vista Axonométrica.	Gauzin-Müller, 2002.	34
Prancha 1.7 – Programa <i>Mietwohnungen in Holzsystembauweise</i> (Alemanha)			
1.26	Herbert Meyer-Sternberg. München (concluído em 1995).	Detail, 1997.	35
1.27	Tegnestuen Vandkunsten.Rödental (concluído em 1996).	Op. cit.	35
1.28	Rieß Hubert. Schweinfurt (concluído em 1998).	Proholz Austria, c2002.	35
1.29	Fink+Jocher. Regensburg (concluído em 1996).	Detail, 1997.	35
Prancha 1.8 – Projeto <i>Sustainable Housing in Europe</i> (SHE)			
1.30	Operação Bourgoin-Jullieu, Grenoble, França. Vista externa (maquete eletrônica).	Sustainable..., 2007.	36
1.31	Carlos Coelho Consultores. Conjunto residencial da Ponte da Pedra, Matosinhos. Portugal. Vista da praça interna.	Coelho, 2006.	36
1.32	Idem. Vista externa.	Op. cit.	36
1.33	Herzog + Partner. Aarhus, Dinamarca. Vista externa (maquete eletrônica).	Foreningen Bæredyg Byer Og Bygninger, 1996.	36
Prancha 1.9 – Bairros ecológicos			
1.34	Ecolonia, Alphen-aan-den-Rijn, Países Baixos. Plano geral.	Ruano, 1999.	37
1.35	Idem.Vista a partir do lago interno.	Op. cit	37
1.36	Quartier Vauban, Freiburg, Alemanha. Plano geral.	Gauzin-Müller, 2002.	37
1.37	Idem. Vista interna a um dos quarteirões.	La Maison Passive, 2007	37
1.38	Kronsberg, Hannover, Alemanha. Plano geral.	Sustainability ..., c2000-2001.	37
1.39	Idem. Vista interna a um dos quarteirões.	Oekosiedlungen.De, s/d.	37
Prancha 1.10 – Bairros ecológicos			
1.40	Sonnenfeld, Ulm, Alemanha. Plano geral.	Modellvorhaben..., 2000.	38
1.41	Idem.Vista parcial	Gauzin-Müller, 2002	38
1.42	Viikki, Helsinque, Finlândia. Plano geral.	Op. cit	38

1.43	Idem. Vista parcial.	Viikki, 2006	38
1.44	Västra Hamnen, Malmö, Suécia. Vista aérea parcial.	Västra Hamnen..., s/d.	38
1.45	Idem. Vista parcial.	Ekostaden, c2002-2005.	38
Capítulo 3			
3.1	Abordagem da arquitetura sustentável quanto à questão da energia	Deste autor	64
3.2	Aplanando a curva da temperatura a partir das condições ambientes	Olgyay; Olgyay, 1963	68
3.3	Táticas de condicionamento térmico passivo.	Deste autor.	70
3.4	Arquitetura bioclimática segundo Galli <i>et al.</i>	Campajola <i>et al.</i> , 1983	72
3.5	Padrão <i>Passivhaus</i> , representação anedótica	Passivhaus Institut, s/d	73
Prancha 3.2 – Super-esquadrias e vidros isolantes			
3.6	Modelo de esquadria utilizado no projeto CEPHEUS, subprojeto Hannover – Kronsberg.	Cost..., 2001.	86
3.7	Modelo de esquadria <i>dif[er]en[ç]a</i> (UPVC/alumínio)	Internorm, s/d.	86
3.8	Modelo de esquadria <i>ed[it]ion</i> 4 (madeira/alumínio)	Op. cit	86
3.9	Evolução do desempenho térmico de vidros para a construção civil.	Facteur4...,2006	86
Prancha 3.3 Sistemas de ventilação Natural			
3.10	Bill Dunster Architects. Projeto BedZED, Londres, Reino Unido (1999-2001). Torres de ventilação natural.	Bedzed..., 2004.	87
3.11	Feilden Clegg Architects. BRE, Londres, Reino Unido (1994-96). Torres de ventilação natural.	The New..., s/d.	87
3.12	RH Partnership. Ionica Headquarters, Cambridge, Reino Unido (?-1994). Torres de ventilação natural.	RH Partnership, s/d.	87
3.13	Kaufmann Theilig. Datagroup, Pliezhausen, Alemanha (1993-1995). Tomada de ar.	Gauzin-Müller, 2002	87
3.14	Idem. Saída de ar no piso.	Op. cit.	87
3.15	Idem. Saída de ar no átrio.	Op. cit.	87
Prancha 3.4 Ferramentas de monitoramento do edifício			
3.16	Faktor10. Edifício Wohnen bei St. JaKob, Frankfurt, Alemanha (2001-2002). Fachada sul. Imagem fotográfica.	Peper <i>et al.</i> , 2004.	88
3.17	Idem. Imagem termográfica.	Op. cit.	88
3.18	Teste <i>door blower</i> . Imagem esquemática.		88
3.19	Teste <i>door blower</i> . Equipamento de sucção.	Promotion..., 2005.	88
Prancha 3.5 Energia eólica e co-geração de calor e eletricidade			
3.20	Bill Dunster Architects. Projeto BedZED, Londres, Reino Unido (1999-2001). Central de produção de calor e eletricidade	Antunes..., 2004.	89
3.21	Common & Gies Architekten, Edifício Wohnen und Arbeiten, Freiburg (Alemanha). Gerador de calor e eletricidade.	Passivhaus..., s/d.	89
3.22	ZEDfactory, Edifício Jubilee Wharf, Penryn, Reino Unido (2004-2006). Turbinas eólicas	ZEDFactory, s/d.	89
3.23	Edifício-sede da Haagse Tram Maatschappij, Den Haag, Países Baixos. Turbina eólica (instalada em 2004).	Zonnestroom, 2004.	89
Prancha 3.6 Energia fotovoltaica			
3.24	Françoise-Hélène Jourda, Gilles Perraudin. Centro de formação, Herne-Sodingen (Alemanha). Vista interna	IEA Photovoltaic..., 2006	90
3.25	Idem. Vista aérea.	Op. cit.	90
3.26	Disch, Rolf. Conjunto residencial Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg, Alemanha. fachada sul	Solarsiedlung, 2007.	90
3.27	Idem. Fachada Norte.	Op. cit.	90
3.28	Idem. Vista Aérea	Op. cit.	90
Prancha 3.7 Padrão <i>Passivhaus</i>			
3.29	Bott, Ridder e Westermeyer (arquitetos); Feist, Wolfgang (engenheiro). <i>Passivhaus</i> , Darmstadt,, Alemanha(1991). Fachada Sul.	Passivhaus Institut, s/d	91
3.30	Idem. Vista interna	Op. cit.	91
3.31	Idem. Fachada norte	Op. cit.	91
3.32	Padrão <i>Passivhaus</i> . Desenho esquemático.	Op. cit.	91
Capítulo 4			
4.1	Ilustração para o programa do “tanque abóbora”, Ministério da	Heijnen, 2002.	98

Habitação e do Desenvolvimento Urbano do Sri Lanka.		
4.2	<i>Ilustração para o programa "1 Milhão de Cisternas", Articulação no Semi-Árido (ASA)/ Ministério do Desenvolvimento Social, Brasil.</i>	P1MC, s/d. 98
4.3	Sistema de aproveitamento de águas pluviais, produzido e comercializado pela empresa Wisy (Alemanha)	Gauzin-Müller, 2002. 101
4.4	Sistema <i>RainSava</i> de aproveitamento de águas pluviais, comercializado por <i>Acorn Environmental Systems</i> (Reino Unido).	Acorn, s/d. 101
4.5	Behnisch, Behnisch & Partner. Instituto Alterra, Wageningen, Países Baixos (1993-98). Cobertura verde do tipo extensivo.	Gauzin-Müller, 2002. 110
4.6	Bill Dunster Architects. Conjunto BedZed, Londres, Reino Unido (1999-2001). Cobertura verde do tipo extensivo.	Baptista, 2006. 110
4.7	Olympia Einkaufs Zentrum, Munique, Alemanha. Cobertura verde do tipo extensivo.	Flordepot, s/d. 110
4.8	Sistema <i>Sedum Carpet</i> com Floradrain FD 25®.	Zinco, s/d. 111
Prancha 4.1 Gestão das águas servidas: separação de urina e fezes		
4.9	Modelos de bacia sanitária com separação de urina.	Diversas 114
4.10	Separador <i>Aquatron</i> (Aquatron International AB, Suécia).	Aquatron International AB, s/d 114
4.11	Sistema sanitário <i>Aquatron 4x100</i> (Aquatron International AB, Suécia).	Op. cit. 114
Prancha 4.2 Gestão das águas servidas: manejo das fezes		
4.12	Sistema sanitário COMPUS II (Natsol Ltd, Reino Unido).	England and Wales, 2007. 115
4.13	Sistema sanitário COMPUS TWIN (Natsol Ltd, Reino Unido).	Natsol, 2005. 115
4.14	Sistema sanitário WM-Barrel (Wost Man Ecology AB, Suécia).	Etnier <i>et al</i> apud West, 2001. 115
Prancha 4.3 Sistemas comerciais compactos (Alemanha)		
4.15	Sistema <i>Aquacycle</i> de reaproveitamento de águas servidas.	Aquacycle 900..., s/d. 116
4.16	Sistema <i>WME - 4</i> de reaproveitamento da águas servidas.	GEP Umwelttechnik, s/d 116
Prancha 4.4 Sistema <i>Traiselect</i> (Bélgica)		
4.17	Sistema <i>Traiselect</i> . Ilustração esquemática.	Országh, 2000. 117
4.18	Idem. Exemplo de "bandeja filtrante".	Op. cit. 117
4.19	Idem. Exemplo de "bandeja filtrante". Detalhe.	Op. cit. 117
4.20	Idem. Exemplo de tanque de finalização.:	Op. cit. 117
Prancha 4.5 Edifício Klosterenga (Noruega)		
4.21	Arkitektskap; GASA. Edifício Klosterenga. Oslo, Noruega (2000). Vista aérea durante fase final de construção.	Ecosan Norway, 2003. 118
4.22	Idem. Vista da pérgula do jardim, mostrando à direita parte do talude, na fase final de construção.	Spread Cd Res, 2002. 118
4.23	Idem. Vista da fachada sul do edifício, mostrando o sistema instalado na área de convivência do edifício, no interior do quarteirão.	The Ideas Bank, s/d. 118
4.24	Idem. Detalhe do talude que abriga os biofiltros aeróbicos.	Norske Arkitekters Landsforbund, s/d. 118
Prancha 4.6 Projeto BedZED (Reino Unido)		
4.25	Bill Dunster Architects, Projeto BedZED, Londres (1999-2001). Sistema de manejo de águas servidas. Representação esquemática.	Deste autor. 119
4.26	Idem. Clubhouse. Vista externa.	Itzkan, 2006. 119
4.27	Idem. <i>Living Machine</i> . Vista geral.	ZEDFactory, s/d. 119
4.28	Idem. <i>Living Machine</i> . Representação esquemática.	Antunes, 2004. 119
Prancha 4.7 Edifício Wohnen und Arbeiten (Alemanha)		
4.29	Common & Gies Architekten, Edifício Wohnen und Arbeiten, Freiburg (Alemanha). Sistema de manejo de águas servidas. Representação esquemática.	Deste autor 120
4.30	Idem. Instalações de processamento de material orgânico para a produção de biogás e fertilizante. Representação esquemática.	Hoffmann, 2000. 120
4.31	Idem. Domus do reator de biogás. Vista externa	Delleske; Lange; Müller-Clemm, 2005[?]. 120
4.32	Idem. Domus do reator de biogás. Vista externa	Passivhaus..., s/d. 120
4.33	Idem. Filtro utilizado para a depuração das águas cinzas.	Delleske; Lange; Müller-Clemm, 2005[?]. 120
Prancha 4.8 Edifício Ekoporten (Suécia)		

4.34	Wiberg, Krister; Morling Johan. Edifício Ekoporten, Norrköping, Suécia (reabilitação ecológica, 1994-1996; construção original, 1967). Vista da fachada sul.	Ekoporten..., 1998.	121
4.35	Idem. Equipamento de compostagem.	Wimblad; Simpson-Hébert, 2004.	121
4.36	Idem. Sistema de manejo de águas servidas Representação esquemática.	Deste autor	121
Capítulo 5			
5.1	Ciclo de vida dos materiais, ciclo de vida do edifício e gestão dos resíduos de construção e demolição.	Te Dorsthorst; Kowalczyk, 2002.	124
5.2	Ciclo de vida das edificações, cargas e impactos ambientais.	Kilbert, 2002.	125
5.3	Cenários de vida útil possíveis para o estoque edificado.	Crowter, s/d.	128
5.4	Nível e composição do consumo material doméstico <i>per capita</i> (DMC). União Européia -15 (2000)	Weisz <i>et al.</i> , 2005.	130
5.5	Hierarquia das partes do edifício com base na duração da vida útil.	Brand, 1994 apud Kilbert, 2002	149
5.6	Exemplo de projeto de edifício voltado para a adaptabilidade.	Presig <i>et al.</i> , apud Morgan; Stevenson, 2005.	151
Prancha 5.1 Edifício Ölbündt (Áustria) e Conjunto Residencial Looren (Suíça)			
5.7	Hermann Kaufmann, Edifício Ölbündt, Dornbirn, Áustria (1996-1997). Vista a partir do oeste.	Gauzin-Müller, 2002.	157
5.8	Idem. Montagem dos elementos de fachada pré-fabricados.	Op. cit.	157
5.9	Metron Architektbüro. Conjunto residencial Looren. Affoltern-am-Albis, Suíça (1997-1999). Vista parcial do conjunto a partir do sul.	Op. cit.	157
5.10	Idem. Detalhe. Revestimento de fachada em madeira sem tratamento.	Op. cit.	157
Prancha 5.2 Edifícios ATT Viikki (Finlândia) e Wohnen und Arbeiten (Alemanha)			
5.11	Arrak Architects, Edifício ATT Viikki, Helsinque, Finlândia (1997-2000). Vista parcial da fachada sul, mostrando varandas e passarelas.	Gauzin-Müller, 2002.	158
5.12	Idem. Vista parcial da fachada sul, durante a construção.	Arrak, 2005.	158
5.13	Commons & Gies Architekten. Edifício Wohnen und Arbeiten. Freiburg, Alemanha (1996-1999). Fachada norte.	Gauzin-Müller, 2002.	158
5.14	Idem. Fachada sul durante a construção.	Op. cit.	158
Prancha 5.3 Jardim de Infância em Heumaden (Alemanha) e Instituto Alterra (Países Baixos)			
5.15	Joachim Eble Architektur. Jardim de infância em Heumaden, Stuttgart, Alemanha (1995-1998). Vistas externas.	Gauzin-Müller, 2002.	159
5.16	Idem. Detalhe.	Op. cit.	159
5.17	Idem. Vista do pátio interno.	Op. cit.	159
5.18	Behnisch, Behnisch & Partner. Instituto Alterra, Wageningen, Países Baixos (1993-1998). Vista externa parcial.	Op. cit.	159
5.19	Idem. Vista de um dos átrios.	Op. cit.	159
Prancha 5.4 Produtos proprietários em terra crua e construção mecanizada em taipa			
5.20	Produtos para construção em terra crua produzidos por Claytec (Alemanha). Imagem promocional.	Claytec, s/d.	160
5.21	Tijolo extrudado em terra crua desenvolvido por Wienerberger AG e Lower Austria Green Building Cluster.	Koch; Kunze; Seidl, 2005.	160
5.22	Idem. Seção transversal	Op. cit.	160
5.23	Processo mecanizado de execução de taipa. Lançamento de terra.	Wieckhorst, 2003.	160
5.24	Idem. Compactação da terra	Op. cit.	160
5.25	Idem. Retirada das fôrmas.	Op. cit.	160
Prancha 5.5 Taipa com emprego de técnicas mecanizadas			
5.32	Ablinger, Vedral & Partner. Gráfica, Pielach, Áustria (1999-2000). Vista do corredor superior.	Lehmbau..., s/d.	161
5.33	Idem. Módulos pré-fabricados de taipa durante a construção.	Op. cit.	161
5.34	Idem. Corte longitudinal indicando os elementos de taipa.	Op. cit.	161
5.35	Rudolf Reiterman, Peter Sassenroth. Capela da Reconciliação, Berlim (2000). Vista Externa.	Wieckhorst, 2003.	161
5.36	Idem. Vista interna.	Op. cit.	161
5.37	Idem. Planta Baixa, indicando a estrutura em taipa.	Op. cit.	161

Prancha 5.6 Alvenaria em terra crua			
5.26	Schauer+Volhard. Ateliê. Darmstadt, Alemanha (1995-96).	Earthen..., s/d (a)	162
5.27	Idem. Detalhe de parede externa.	Op. cit.	162
5.28	Kerstin Vogel. Residência. Taubach, Alemanha (1998).	Earthen..., s/d (b)	162
5.29	Idem. Detalhe de parede externa.	Op. cit.	162
5.30	AwerK Günter zur Nieden. Conjunto Blesesahl de habitação de interesse social. Lübeck, Alemanha (1998).	Earthen..., s/d (c)	162
5.31	Idem. Detalhe da caixa de circulação vertical.	Op. cit.	162
Prancha 5.7 Edifício Salvatierra (França) e Projeto <i>Low Cost Earth Brick Construction</i> (Reino Unido).			
5.38	Jean-Yves Barrier. Edifício Salvatierra, Rennes, França (1998-2001). Vista da fachada sul, em adobe.	Gauzin-Müller, 2002.	163
5.39	Idem. Vista da fachada norte, em madeira.	Op. cit.	163
5.40	Idem. Detalhe da parede em adobe.	Op. cit.	163
5.41	Arc Architects. Casa em Kirk Park, Dalguise, Reino Unido (2003-2005)	Morton, 2005.	163
5.42	Idem. Detalhe da planta baixa	Morton <i>et al.</i> , 2005.	163
Prancha 5.8 Edifício Taviel (França), Dundee CAC e BedZED (Reino Unido)			
5.43	Richard Murphy Architects. Centro de Arte Contemporânea de Dundee, Dundee, Reino Unido (1996-99). Vista externa.	Richard..., c1991-2007	164
5.44	Antigo armazém existente no local antes da construção do Centro de Arte Contemporânea de Dundee.	Op. cit.	164
5.45	Ara Architecture. Edifício Taviel, Saint-Omer, França (1997). Projeto de habitação social <i>Rex HQE</i> . Vista externa.	IDEA, s/d.	164
5.46	Antiga prisão existente no local antes da construção do edifício Taviel	Op. cit.	164
5.47	Bill Dunster Architects. Projeto BedZED, Londres (1999-2001).	Ursa, s/d.	164
Prancha 5.9 Casas Recicladadas (Suécia e Noruega)			
5.48	P. Lewis Jonsson, Casa Reciclada, Lund, Suécia (1997).	Thormark, 2000.	165
5.49	HSØ Arkitektkontor. Casa Reciclada, Trondheim, Noruega (2002-3).	HSØ Arkitektkontor,	165
5.50	Idem. Ao fundo, casa construída segundo o mesmo projeto, utilizando materiais convencionais.	Pettersen, 2005	165
5.51	Idem. Detalhe da estrutura em madeira, durante a construção.	Op. cit.	165
Prancha 5.10 Tipos de conexão entre elementos construtivos			
5.52	Tipos de conexão entre elementos construtivos	Durmisevic; Brower, 2002.	166
5.53	Gaia Architects. Sistema BfO de construção em madeira (Noruega).	Berge, 2005.	166
5.54	Sistema MXB-5. Construção em concreto pré-fabricado (Países Baixos).	Van Dijk <i>et al</i> , 2002	166
5.55	Robert Winkel. Sistema <i>Smart House</i> (Países Baixos).	d'Architettura, 2004.	166
5.56	Gaia Architects. Glencoe Visitors Center, Glencoe, Reino Unido (2000-2002). Estrutura em madeira local (carvalho) sem tratamento.	The Welsh School of Architecture, c2004	166
Prancha 5.11 Desconstrução e revitalização de edifícios (Países Baixos)			
5.57	Cooperativa Habitacional de Maasluis. Revitalização do conjunto habitacional Burgemeesterswijk, Maasluis, Países Baixos (1998-2007). Em primeiro plano, edifício nas condições originais. Ao fundo, edifício reformado, acrescido de um pavimento.	Te Dorsthorst; Kowalczyk, 2002.	167
5.58	Idem. Em primeiro plano, estrutura de edifício depois da retirada dos quatro pavimentos superiores. Ao fundo, edifício reformado, acrescido de um pavimento.	Op. cit.	167
5.59	Scala Architecten. Casas geminadas. Projeto de revitalização do conjunto habitacional Burgemeesterswijk, Maasluis, Países Baixos (1998-2007). Perspectiva.	Op. cit.	167
Prancha 5.12 Escola primária De Regenboog (Países Baixos)			
5.60	Escola Primária <i>De Regenboog</i> , Schijndel, Países Baixos (2000). Fachada principal.	Te Dorsthorst; Kowalczyk, 2002.	168
5.61	Idem. Fachada posterior.	Op. cit.	168
5.62	Idem. Vista interna. Apartamento.	Op. cit.	168
5.63	Idem. Vista interna. Sala de aula.	Op. cit.	168
Prancha 5.13 Sistema BfO (Noruega)			
5.64	Gaia Architects. Sistema BfO de construção em madeira, projetado para a desconstrução. Protótipo. Fundações.	BERGE, 2005.	169

5.65	Idem. Estrutura do primeiro pavimento.	Op. cit.	169
5.66	Idem. Estrutura do edifício.	Op. cit.	169
5.67	Idem. Montagem das paredes externas.	Op. cit.	169
5.68	Gaia Architects. Sistema BfO . Esquema estrutural conforme diferentes configurações arquitetônicas. Corte transversal.	Op. cit.	169
5.69	Idem. Modulação. Perspectiva axonométrica.	Op. cit.	169
Prancha 5.14 Programa IFD <i>Bouwen</i> (Países Baixos)			
5.70	Faro Architecten. 28 casas em Almere, Almere, Países Baixos (2001).	Nijhuis Bouw, s/d.	170
5.71	Hulshof Architecten. Conjunto residencial Terbregse, Rotterdam, Países Baixos (2000-2002).	Hulshof Architecten, 2002	170
5.72	Damen Consultants. Edifício-sede da Damen Consultants, Delft, Países Baixos (1999-2001).	Quah <i>et al.</i> , 2004.	170
5.73	Universidade Técnica de Eindhoven. Sistema <i>IFD Today</i> , Edifício-protótipo. Eindhoven, Países Baixos (2001).	Van Gassel, 2002	170
5.74	Robert Winkel. Sistema <i>Smart House</i> , Projeto de demonstração. Rotterdam, Países Baixos (2002).	Euro-Build..., s/d.	170
Prancha 5.15 Casa IFD - Projeto <i>IFD Building</i> (União Européia)			
5.75	Ipostudio Architetti Associati. Casa IFD. Planta baixa e planta do primeiro pavimento.	d'Architettura, 2004.	171
5.76	Idem. Modelo reduzido. Vista da fachada principal .	Op. cit.	171
5.77	Idem. Modelo reduzido. Vista aérea com a “casca”.	Op. cit.	171
5.78	Idem. Modelo reduzido. Vista aérea sem a “casca”.	Op. cit.	171
5.79	Idem. Modelo reduzido. Vista da fachada posterior.	Op. cit.	171
Prancha 5.16 Sistema <i>Open House</i> (Suécia)			
5.80	Peter Bromberg / Open House Production AB. Sistema <i>Open House</i> , Suécia. Fabricação dos módulos.	Light Steel..., c2006	172
5.81	Idem. Execução das fundações e fixação dos pilares.	Op. cit.	172
5.82	Idem. Transporte dos módulos até o canteiro de obras.	Op. cit.	172
5.83	Idem. Montagem dos módulos sobre a estrutura.	Op. cit.	172
5.84	Peter Bromberg; Open House Production AB. Sistema <i>Open House</i> , Suécia. Aspectos gerais do sistema. Ilustração esquemática.	Åberg, 2006.	172
Prancha 5.17 Bairro Annestad (Suécia)			
5.85	Landskronagruppen e Open House Production. Bairro residencial Annestad, Malmo, Suécia (2003-2006). Vista aérea.	Light Steel..., c2006	173
5.86	Landskronagruppen e Open House Production. Edifício em Annestad, Malmo, Suécia (2003-2006).	Op. cit.	173
5.87	Idem.	Åberg, 2006.	173
5.88	Idem	Case Study..., 2007	173
5.89	Open House Production. Projeto Risdkolan, Helsingborg, Suécia.	Bergsten, 2005	173
Prancha 5.18 <i>Bauteilnetz Schweiz</i> (Suíça)			
5.90	<i>Bauteilnetz Schweiz</i> (Suíça). Produtos à venda, provenientes de canteiros de obra ou demolição. Piso parquê.	Bauteilnetz Schweiz, s/d.	174
5.91	Idem. Tijolos cerâmicos	Op. cit.	174
5.92	Idem. Caixilharia com vidro	Op. cit.	174
5.93	Idem. Madeira para construção	Op. cit.	174

Eu faço parte de uma geração que cresceu acompanhando pela televisão, com tristeza e terror, relatos dramáticos da destruição da Mata Atlântica, da extinção iminente do mico-leão-dourado, do boto cor-de-rosa, do peixe-boi; da caça aos bebês-foca no pólo norte, das crianças natimortas de Cubatão, da morte do rio Tietê, da descoberta do buraco na camada de ozônio, da ameaça do efeito estufa. Essa foi a geração que cresceu com medo de uma guerra nuclear que poderia ser deflagrada a qualquer instante, uma geração, portanto, em geral consciente da ameaça que a humanidade representa para inúmeras formas de vida, para o equilíbrio da natureza e para sua própria existência. Essa mesma geração, no entanto, e a grande maioria das pessoas que se dizem a favor da “ecologia”, ainda não conseguiu operar uma conexão entre a consciência da necessidade de proteger o equilíbrio do meio-ambiente e as práticas e escolhas efetivas do cotidiano. Isso parece ser válido tanto para os indivíduos, quanto para as instituições e para a sociedade em conjunto.

Eu cursei Arquitetura e Urbanismo na segunda metade dos anos 1990, uma década durante a qual a questão ecológica foi trazida, de forma especialmente intensa, para o debate político e econômico internacional, conduzindo a reavaliações, experiências e inovações em um amplo conjunto de atividades, incluindo de processos industriais a operações do mercado financeiro e políticas governamentais. Ainda assim, no curso Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, considerado em seu conjunto em seu conjunto, a “dimensão ecológica” da arquitetura não comparecia senão como um tema paralelo, abordado em algumas cadeiras da área de tecnologia, e praticamente ausente das cadeiras de Projeto de Teoria e História.

No último ano do curso, eu escolhi como tema do projeto de diplomação a re-ocupação de um terreno desocupado no centro histórico de Belém do Pará, definindo, como problemas centrais de projeto, o imperativo ecológico, por um lado, e a relação entre o(s) novo(s) edifício e o entorno existente, por outro. Com essa experiência, surgiu a inquietação: qual a natureza, a extensão e as possibilidades de enfrentamento dos conflitos e contradições entre as táticas da arquitetura que se pretende menos agressiva ao meio ambiente e os preceitos de

nossa arquitetura erudita? O primeiro esboço de projeto de pesquisa de mestrado que posteriormente conduziu a este trabalho propunha investigar aqueles conflitos e contradições. Mas já em seus primeiros movimentos viu-se obrigado a reter-se no primeiro termo da equação e dedicar-se a uma questão de base: o que define uma arquitetura como menos agressiva ao meio ambiente? O que outorga a uma prática construtiva o caráter de “arquitetura ecológica”, ou “arquitetura sustentável” ?

Em um primeiro momento, parecia-me que essas questões encontrariam respostas sólidas, de contornos bem definidos, na objetividade das ciências naturais, em especial da física e da biologia. Foi surpreendente, portanto, descobrir que as respostas mais convincentes, de certa forma, são difusas e imprecisas, que se trata de um problema fundamentalmente dialético.

Esse trabalho acabou por definir-se como uma exploração teórica da relação entre a questão ecológica e a arquitetura. Trata-se de um recorte excessivamente abrangente para um trabalho de envergadura tão limitada. Talvez, em decorrência disso, tenha se admitido também uma metodologia que pode parecer pouco rigorosa, podendo o trabalho ser definido como um conjunto de constatações e de reflexões a partir de uma base bibliográfica diversificada.

Apesar de todas as limitações, eu acredito que este estudo pode contribuir para a problematização da relação entre a questão ambiental e a arquitetura. Embora muito pouco sensibilizada para o problema, a cultura arquitetônica em nosso país, eu acredito, não poderá esquivar-se por muito tempo de enfrentá-lo. E para que o faça com inteligência, será necessária uma base teórica sólida que apóie os desenvolvimentos do projeto e construção.

Introdução

Entre o final da segunda guerra mundial (1945) e a primeira crise do petróleo (1973), os países industrializados desenvolvidos viveram um período de crescimento econômico e prosperidade material sem precedentes em qualquer intervalo de tempo de igual duração na história da humanidade. Nas economias de mercado industriais, o crescimento econômico e o desenvolvimento tecnológico estabeleceram um ritmo acelerado de transformação da vida cotidiana em direção a cada vez mais conforto, mais segurança, mais amenidades. Educação universitária, emprego garantido, férias anuais na praia, geladeira, televisão e aparelho de som são alguns dos elementos que passaram a fazer parte do quadro de vida da maior parte de sua população. Algumas dessas conquistas, até o começo da segunda guerra mundial, eram privilégios de poucas famílias abastadas; outras, como a televisão, nem se podia imaginar que viriam a existir. Concomitantemente, avanços tecnológicos e científicos como a invenção e a produção em escala industrial de novos materiais (entre eles o plástico), as viagens espaciais, os desenvolvimentos na medicina e nas telecomunicações e a revolução na agricultura reforçavam a confiança na ciência e a certeza no progresso contínuo da humanidade. E, se foi essencialmente para os países capitalistas desenvolvidos que esse padrão de produção e de consumo tornou-se realidade, para os demais, um patamar semelhante de desenvolvimento tornou-se a meta, o objetivo incontestado.

No entanto, o outro lado dessa sociedade, cada vez mais certa de seu poder de controlar a natureza e superar as limitações do passado, o outro lado de um cotidiano cada vez mais regalado de amenidades e novidades tecnológicas, é um mundo dependente de quantidades cada vez maiores de recursos naturais que ameaçam escassear-se, um mundo com dificuldades cada vez maiores de administrar o volume crescente de lixo e de rejeitos tóxicos por ele próprio produzidos. A afluência e o progresso material conquistados especialmente na segunda metade do século XX, combinados com a explosão demográfica ocorrida no período, aumentaram exponencialmente a carga da atividade humana sobre os sistemas naturais, em termos tanto do volume de recursos retirados da natureza, do volume e da

toxicidade dos refulgos lançados na natureza, como da expansão das áreas antropizadas sobre os ecossistemas naturais. Esse processo de degradação ambiental atingiu uma magnitude tal que ameaça conduzir à ruptura dos equilíbrios ecossistêmicos em escala global, com conseqüências de gravidade e extensão impossíveis de se prever. Não há muita dissensão, portanto, sobre o fato de que esse estado de coisas impõe a necessidade de mudanças no modo como a sociedade se relaciona com o meio ambiente, tanto simbólica quanto materialmente.

A arquitetura não está isenta de responsabilidades nesse processo. As atividades de construção absorvem anualmente cerca de 100 milhões de toneladas de material, aproximadamente metade (em peso) do influxo anual de materiais apropriados pela sociedade. A produção de materiais de construção, a construção e a operação dos edifícios consomem, em conjunto, 16% da água disponível anualmente para consumo humano. Calcula-se também que cerca de 13% do lixo sólido produzido mundialmente correspondem a entulhos de construção e demolição. Os edifícios são responsáveis indiretamente por 50%, e diretamente por 30% do consumo mundial de energia, sendo que ao seu consumo direto de energia estão associados 15% das emissões globais de gases de efeito estufa. Acrescenta-se ainda que os processos industriais e o transporte de matérias primas e mercadorias envolvidos na obtenção de materiais e componentes de construção estão também associados a uma série de impactos negativos sobre os ecossistemas locais. Daí, já se haver afirmado que os edifícios modernos rivalizam com os carros e com a indústria como fonte de danos ao meio ambiente e contribuem substancialmente para o desflorestamento, o risco de aquecimento global, o uso excessivo de água e a chuva ácida.

A carga ecológica das atividades envolvidas na construção, na manutenção, na renovação, no uso e na demolição dos edifícios decorre em parte do *modus operandi* de processos industriais que não têm relação operacional direta com a construção, em parte do padrão de ocupação do território e da configuração das cidades, mas em parte, também, do modo como os edifícios são projetados e construídos. A responsabilidade da arquitetura frente ao meio ambiente impõe, portanto, o desafio de projetar e construir edifícios que consumam menos materiais, água e energia que os atuais, edifícios que resultem em uma carga menor sobre os

ecossistemas naturais, em termos tanto de retirada de matérias-primas quanto de produção de rejeitos e destruição de *habitats* naturais.

Não obstante a importância do tema, esse debate encontra-se ainda muito incipiente no Brasil. Embora eventualmente abordado pela mídia, e objeto de um volume crescente de trabalho acadêmico e científico, o tema da sustentabilidade ambiental na arquitetura parece completamente ausente das políticas públicas, e praticamente ausente da formação de arquitetos e urbanistas. Contribui talvez para esse quadro, o fato de que, na literatura à disposição, considerada em conjunto, os termos “arquitetura sustentável”, “arquitetura ecológica” e equivalentes são utilizados, com grande liberalidade, para designar propostas e agendas muito distintas, e que o volume crescente de informação disponível ainda não conseguiu desvincular a “arquitetura sustentável” da imagem de uma prática marginal, e demonstrar o diálogo não só possível, mas necessário, de seus preceitos, no domínio das ciências naturais, com o legado histórico da arquitetura, enquanto fenômeno cultural, e com as estruturas econômicas, políticas, ideológicas e tecnológicas que conformam a produção concreta, cotidiana, do ambiente construído.

O objetivo do presente trabalho é contribuir para esse debate, buscando identificar com mais clareza o escopo da “arquitetura sustentável”, enquanto proposta de transformação efetiva das práticas convencionais. Trata-se, portanto, de um esforço fundamentalmente de prospecção e mapeamento de um tema ainda conceitualmente pouco estruturado. A discurso e a prática da arquitetura orientada pelos temas da sustentabilidade ambiental, assim como a própria questão do meio-ambiente, têm elementos de universalidade e de particularidade local, o que recomendou estabelecer um recorte geográfico para o objeto de estudo. Optou-se por concentrar o estudo na Europa Ocidental, em especial no grupo de países situados em um arco que se estende da Áustria e Suíça, ao sul, até a Escandinávia, ao norte, abrangendo também a Alemanha, Dinamarca, Países Baixos e Reino Unido. Trata-se da região do mundo onde o início de um processo de transformação das práticas arquitetônicas e construtivas, sob o discurso da sustentabilidade, parece mais consolidado, o que se expressa no nível de mobilização da população e das instituições, na alocação de recursos, nas alterações na legislação, na disseminação de novas tecnologias. Cabe uma ressalva quanto ao caráter

mundializado do debate teórico, que não aconselha descartar contribuições vindas de outras partes do mundo.

Estabelecer tal recorte implica riscos. Enquanto cenário para o desenvolvimento e a disseminação de uma prática arquitetônica sustentável, os países europeus e o Brasil são contextos extremamente distintos, as diferenças incluindo o clima, os recursos naturais disponíveis e o nível de pressão sobre os ecossistemas e o território, os padrões de produção e de consumo e o nível de governança, entre tantas outras. É importante deixar claro, portanto, que não se trata de ignorar as fronteiras que separam esses dois mundos, ou de tomar o outro como modelo, mas de reconhecer sua autenticidade e descrevê-lo. Assim, objetivo deste trabalho é identificar, dentro de uma estrutura conceitual mínima, os temas e as práticas de projeto que caracterizam a arquitetura sustentável europeia. Será visto que a estrutura conceitual básica, ainda que sujeito a aperfeiçoamentos futuros, pode ser aplicada de forma generalizada à questão da sustentabilidade ambiental em sua relação com o projeto de arquitetura. No mais, espera-se que este trabalho – de cunho preponderantemente descritivo – possa contribuir para outros, que avancem mais em uma crítica consistente e necessária.

No Capítulo 1 é examinado o conteúdo programático que define operacionalmente a arquitetura sustentável. Desse estudo, impôs-se a necessidade de outros dois recortes no objeto de estudo. Primeiramente, descartaram-se, de um lado, as propostas de arquitetura sustentável que pressupõem uma transformação radical nos valores e nas estruturas econômicas hegemônicas no mundo, e, de outro, aquelas que exigem uma mobilização de recursos e tecnologias muito além do alcance das práticas arquitetônicas do cotidiano. Em segundo lugar, reconheceu-se, como núcleo da arquitetura sustentável, a tríade energia-água-materiais, ou seja, as variáveis de projeto pertinentes à relação com os sistemas naturais propriamente ditos.

O Capítulo 2 procura contextualizar o movimento de inovação ecológica da arquitetura em relação à questão ambiental como um todo. São abordados a diversidade de discursos do movimento ambientalista e o processo de institucionalização da questão ecológica. Esse

estudo visa agregar elementos para que se possa situar com mais propriedade os diferentes discursos conflitantes da arquitetura sustentável.

Os Capítulos 3 trata da questão da energia e procura caracterizar o problema em nível geral, e em suas implicações para o projeto de arquitetura, identificando, como principais temas de projeto, a redução do consumo de energia com base no aumento da eficiência energética por meio de medidas tanto passivas quanto ativas, e a qualificação da oferta energética, por meio da micro-geração de energia renovável, no edifício ou na vizinhança. Com o mesmo enfoque, o Capítulo 4 trata da questão da água, comentando a emergência de um novo paradigma para os sistemas hídricos urbanos, o qual se manifesta, no âmbito do projeto de arquitetura, em medidas de racionalização do uso, aproveitamento das águas pluviais, gestão das águas servidas e utilização de coberturas vegetais. Finalmente, o Capítulo 6 dedica-se à questão dos materiais, mais complexa sob o ponto de vista do enquadramento conceitual, e que coloca, como temas de projeto, a substituição estratégica de materiais, e o projeto para a desconstrução e o reaproveitamento de materiais.

Capítulo 1

A arquitetura frente à problemática ambiental

1.1 A sustentabilidade como programa de arquitetura

A problemática ambiental reivindica uma renovação tanto da teoria da arquitetura quanto da prática projetual. Mas em certa medida, essa renovação envolve elementos até então estranhos ao campo de reflexão da arquitetura dominante. Montaner (1997, p. 196-197) afirma que

Se a beleza, a utilidade e a solidez foram historicamente as pulsões básicas da arquitetura – às quais foram integrados critérios contemporâneos como a disciplina da cultura urbanística, o caráter especial ou a busca do mínimo irreduzível - atualmente, os condicionantes meio ambientais se transformaram em outra demanda básica que a arquitetura deve integrar e resolver.

Os condicionantes ambientais constituem uma nova categoria dentro do programa de projeto, não se fazendo coincidir com os aspectos formais, funcionais, construtivos. Frente à questão ecológica contemporânea, a própria definição do problema da arquitetura requer uma ampliação de perspectiva para escalas outras que a do edifício ou de seu entorno imediato e, mais importante ainda, para outros campos do conhecimento.

O programa de projeto em arquitetura pode ser compreendido como a objetivação do conjunto de exigências e expectativas que recaem sobre o projeto (ALEXANDER, 1970). Portanto, por *conteúdo programático da arquitetura sustentável* compreende-se a expressão daquilo que se espera da arquitetura em relação à sustentabilidade, ou melhor, dos atributos que a prática arquitetônica deve possuir para considerar-se sustentável.

O problema tem recebido inúmeras respostas. Sob a alcunha de *arquitetura sustentável*, ou de seus termos homólogos, inscrevem-se manifestações arquitetônicas tão díspares entre si quanto o edifício sede do Commerzbank (1991-1997), de Foster & Partners em Frankfurt (Alemanha), “o primeiro de uma nova geração de arranha céus [que não depende] de climatização completa para prover o maior conforto possível...” (BEHLING; BEHLING apud GUY, 1997, p. 3) e onde “graças à tecnologia inteligente, cada funcionário pode manter o nível de iluminação e a temperatura exatamente como quiser” (COMMERZBANK, 2005, p. 29); as “Nove Casas” (1993), de Peter Vetsch, em Dietikon (Suíça), que têm na natureza a única fonte de idéias por traz do uso de formas convolutas (WINES, 2000, p. 90); a Casa

Switch (1995), do Werk Group Lahr, em Donaueschingen (Alemanha), projetada para pessoas alérgicas; o projeto residencial Hockerton (1994-1998), de Brenda e Robert Vale, em Hockerton (Reino Unido), cujos moradores “vivem um estilo de vida holístico em harmonia com a natureza (...) geram sua própria energia limpa, coletam sua própria água e reciclam refugos sem causar poluição ou emissões de dióxido de carbono” (HOCKERTON HOUSING PROJECT, s/d); ou o projeto de habitação social Gerlitz-Gründe (1978-1983), de Eilkifred Huth, em Graz-Puntigam (Áustria), desenvolvido com a participação das famílias de forma a obter “variedade dentro de estrutura regular” (VALE; VALE, 1991 apud GUY, 1997).¹

Diante desse quadro de diversidade de práticas e de discursos, Farmer (1996, apud GUY, 1997, p. 6) argumenta que não existe uma definição conclusiva de *arquitetura sustentável* além de um leque de abordagens inovadoras de projeto as quais “explicita ou subliminarmente referenciam a si mesmas em relação à natureza”. Nesse sentido, GUY (1997, p. 6) sugere que se abandone “a busca por uma definição verdadeira ou inconteste de edifício ecológico”, e que se trate o conceito em um sentido relativo, ao invés de absoluto. O autor propõe, assim, que se considere o conceito de *edifício ecológico* como uma *construção social* e identifica, na diversidade de discursos, cinco temas estruturadores dos programas manifestos da *arquitetura sustentável*: ecologia, mercado, conforto, comunidade e estética.

Os conteúdos programáticos derivados do tema “ecologia” partem da conexão que se estabelece entre o “superdesenvolvimento” das cidades e fenômenos tais como o desmatamento das florestas, a chuva ácida e a mutação climática global. Sob este ponto de vista, os edifícios são considerados enquanto poluidores e consumidores de recursos naturais, de forma que o programa da *arquitetura sustentável* é construído com vistas a reduzir a “pegada ecológica”² da edificação.

¹ Ver prancha 1.1

² A “Pegada ecológica” é um indicador de sustentabilidade desenvolvido em 1992 por William Rees. O termo descreve a quantidade de superfície terrestre e de superfície de água que uma dada população hipoteticamente necessita para prover os recursos requeridos e absorver seus dejetos, dado o nível prevacente de tecnologia.

Os conteúdos associados ao tema “mercado” interpretam a economia de recursos naturais como oportunidade de auferir vantagens no mercado competitivo, procurando traduzir para o programa do projeto de arquitetura o objetivo de maximizar a eficiência do edifício, especialmente em termos de espaço e de energia.

Os conteúdos associados ao “conforto” partem da percepção dos edifícios como ambientes potencialmente hostis, nos quais as pessoas estão cotidianamente expostas a riscos contra a saúde, provocados pela exposição a produtos tóxicos e substâncias patogênicas de diversos tipos, e pelo confinamento em ambientes isolados do meio externo, submetidos a condições de iluminação e temperatura invariáveis ao longo do dia e dos ciclos sazonais, entre outros fatores com impacto potencial sobre a saúde humana. Em relação ao conforto, o programa de arquitetura sustentável contempla, por exemplo, o uso de técnicas de ventilação e de iluminação natural, de materiais não tóxicos e a possibilidade, aos ocupantes, de maior controle sobre as condições do ambiente interno.

Os elementos programáticos relacionados ao tema “comunidade”, por sua vez, partem da percepção dos edifícios como instrumentos potenciais de construção de identidades, de comunidades orgânicas e, portanto, envolvem em primeiro lugar a participação dos futuros usuários no processo de projeto e construção.

Os conteúdos programáticos associados à dimensão estética da arquitetura, no sentido apresentado por GUY (1997), partem da premissa de que, sendo os edifícios símbolos de valores sociais, uma questão emblemática da *arquitetura sustentável* é o modo como *representar* um novo milênio, a ser assentado sobre o pensamento ecológico e sobre a busca de uma relação com a natureza baseada no equilíbrio e na harmonia.

De acordo com GUY (1997), os elementos que compõem os programas de *arquitetura sustentável* remetem, portanto, a cinco enfoques distintos: sistemas naturais, lucro, conforto humano, coesão social e cultura. Diferentes atores vêm estabelecendo diferentes hierarquias entre estes cinco enfoques. O processo específico de inovação ecológica da arquitetura objeto de análise deste trabalho trata em sua agenda, sobretudo da questão dos sistemas naturais e

do conforto humano, preterindo, em especial, uma componente estética especificamente “ecológica”.

Um dos elementos característicos desse processo é o desenvolvimento de sistemas de avaliação ambiental dos edifícios. A maior parte dos países europeus, além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão, Hong Kong – dispõem de pelo menos um desses sistemas, em sua maioria desenvolvidos com vistas a uma fácil incorporação ao processo de projeto, e a recompensar, tal como um certificado de qualidade, os esforços do mercado para aprimorar o desempenho ambiental do projeto, da construção e da operação dos edifícios (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003). Os sistemas de avaliação ambiental dos edifícios constituem também um instrumento de balizamento das políticas públicas de fomento à *ecologização* da arquitetura. Apesar do viés pragmático, esses sistemas pressupõem uma teoria a respeito do que define a *arquitetura sustentável*, manifesta nos critérios considerados e na ponderação adotada.

A iniciativa pioneira, nesse sentido, foi o desenvolvimento do *BRE Environmental Assessment Method* (BREEAM), lançado em 1990 pelo *Building Research Establishment* (BRE), agência britânica de pesquisa e consultoria sobre o ambiente construído. O BREEAM avalia a performance dos edifícios em relação a 9 temas: gestão do empreendimento, uso de energia, saúde e bem estar, poluição, transporte, uso do solo, ecologia, materiais e água. São também exemplos de sistemas de avaliação do desempenho ambiental voltados para a arquitetura, entre diversos outros: LEED (Estados Unidos), DCBA (Países Baixos), Pinwag (Finlândia), CASBEE (Japão), HQE (França) e GBC (internacional), brevemente comentados a seguir.

O *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) (Estados Unidos) foi desenvolvido pela organização não-governamental norte-americana US Green Building Council. O método estabelece 6 categorias de critérios de sustentabilidade: sustentabilidade do sítio, eficiência no uso da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno e inovação e processo de projeto. De acordo com a pontuação obtida, são definidas quatro possíveis classificações para o edifício (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2002).

O DCBA-methode (Países Baixos) foi desenvolvido pela BOOM, empresa neerlandesa de consultoria sobre arquitetura sustentável, e também estabelece quatro “níveis de sustentabilidade” a serem atribuídos independentemente para cada variável examinada, sendo “D” o menos favorável (situação convencional, onde não há preocupação com a questão ambiental) e “A” o mais favorável (a melhor situação possível). O DCBA contém parâmetros quantitativos precisos e contempla 9 variáveis: energia, água, vegetação, materiais de construção, ambiente interno e segurança, lixo doméstico, flexibilidade e adaptabilidade, entulhos de obra e demolição, e informação. (EUROPEAN GREEN CITIES NETWORK, s/d; BOOM, s/d)

O *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE) (Japão) foi desenvolvido pelo *Japan Sustainable Building Consortium* (JSBC), um consórcio formado por representantes do governo, da indústria e da academia. O método, baseado no conceito de eficiência ambiental, procura expressar matematicamente a “qualidade ambiental” do edifício como o equilíbrio entre seu “desempenho ambiental” em relação aos usuários e seu “desempenho ambiental” em relação aos ecossistemas, considerando uma gradação de escala que abrange do entorno imediato do edifício à ecosfera (JAPAN SUSTAINABLE BUILDING CONSORTIUM, 2005)

O procedimento *Haute Qualité Environnementale – HQE* (França), foi desenvolvido por uma associação formada por institutos de pesquisa, governos locais, empresas e profissionais do setor da construção civil (*Association-HQE*). O procedimento HQE define 14 “alvos”, divididos em 4 temas: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde. Para um dado projeto, de acordo com as especificidades do programa, deve ser estabelecida uma hierarquia de prioridades entre esses “alvos” pré-definidos, de forma que três ou quatro deles atinjam uma performance ótima, pelo menos outros quatro atinjam performance acima do padrão e todos as demais atinjam ao menos a performance mínima estabelecida pelas normas ou pelas boas práticas correntes. É interessante notar ainda que o sistema de certificação HQE tem por objeto não o edifício em si, mas a gestão do projeto (AGENCE DE L’ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L’ENERGIE, 2004).

O *Green Building Challenge* (GBC) é um consórcio internacional financiado em seu desenvolvimento inicial pelo governo canadense e coordenado pela organização não-governamental *International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iiSBE), sediada no Canadá. O GBC reúne pesquisadores de 24 países (incluindo o Brasil), trabalhando de forma independente, mas coordenada, no desenvolvimento de um protocolo de avaliação ambiental de edifícios adaptável a distintos contextos nacionais e locais.³ A metodologia do GBC é orientada ao desempenho, constituindo uma exceção frente à quase totalidade dos sistemas existentes, em sua maioria orientados a dispositivos, ou seja, baseados em listas de checagem, a partir das quais são atribuídos créditos pela aplicação de determinadas estratégias ou especificações de projeto (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

Em seu 5º Programa-Quadro de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, a Comissão Européia, por meio da Direcção-Geral da Energia e dos Transportes financiou o projeto *The European Green Building Forum 2* (EGBF 2), cujo principal objetivo era responder à necessidade de coordenação em nível europeu a respeito do tema.

Um dos produtos estabelecidos como meta do projeto era a elaboração de um documento de referência com abrangência européia, constando de um levantamento dos sistemas e critérios utilizados na Europa para a avaliação ambiental do projeto, da construção e da reforma de edifícios. Esse documento cumpriria o papel de uma abordagem européia de base (*core european approach*) e foi publicado em 2001 com o título *Green File*. A equipe do projeto analisou 23 métodos de avaliação, utilizados em 9 países europeus além de Canadá e Estados Unidos. A partir dessa análise, foi construída uma matriz que sistematiza as convergências entre aquelas diferentes abordagens. A matriz do *Green File* pode, portanto, ser considerada como uma síntese consolidada da visão oficial corrente sobre os temas e objetivos que definem o campo programático da arquitetura sustentável.

O *Green File* adota 6 categorias de critérios de sustentabilidade: recursos, qualidade do ambiente interno, cargas ambientais, qualidade de serviço, aspectos sociais e econômicos. A

³ A participação do Brasil no Green Building Challenge (GBC) é coordenada pela UNICAMP, sendo os trabalhos de pesquisa institucionalizados por meio do Programa Nacional de Avaliação de Impactos Ambientais de Edifícios (BRAiE).

tabela 1.1 apresenta a descrição, os temas e alguns subtemas inclusos em cada uma dessas categorias.

Categoria	Descrição	Temas (subtemas selecionados)
Recursos	Considera os recursos usados nos elementos construtivos e na construção, uso e manutenção dos edifícios. Não considera, no entanto, os impactos ambientais decorrentes do uso desses recursos	Energia Materiais Terra Água
Qualidade do ambiente interno	Avalia os aspectos de salubridade, conforto e qualidade do ar no interior dos edifícios	Qualidade do ar interno Saúde dos usuários Conforto
Cargas ambientais	As cargas ambientais incluem os impactos ambientais e as emissões de poluentes na atmosfera, no solo e na água, considerados em relação ao “nível espacial” no qual se verifica o impacto, se global ou local	Impacto global (Gases de efeito estufa, emissões de CO ₂ , chuva ácida) Impacto local (Resíduos sólidos, entulho de construção, <i>run off</i> ...)
Qualidade de serviços	Reúne algumas questões importantes que não contempladas pelas áreas ambiental, social ou econômica, mas que pode refletir aspectos de uma ou mais delas.	Nível do edifício (Adaptabilidade, Controlabilidade, infraestrutura para ciclistas e pedestres) Nível da gleba (equipamentos urbanos, acessibilidade ...) Nível da Cidade (vitalidade do centro urbano, mobilidade integrada)
Aspectos Sociais	Inclui as questões relacionadas à sociedade ainda não incluídas nas demais categorias	Saúde Educação Questões comunitárias
Aspectos Econômicos	Considera custos iniciais, de manutenção e relacionados aos impactos ambientais, benefícios e outros aspectos como geração de empregos e oportunidades de negócios.	Benefícios Custos Negócios

Quadro 1.1 – Matriz *Green File*. Fonte: EUROPEAN GREEN BUILDING FORUM 2, 2001, tradução nossa.

Na diversidade do conjunto de conteúdos programáticos da *arquitetura sustentável*, Rovers (2002) identifica três ordens de ação: a primeira diz respeito ao uso equilibrado de recursos naturais em escala global (energia, materiais, água, terra); a segunda, às necessidades e aspirações humanas (salubridade, conforto, conformidade da arquitetura com a “percepções das pessoas sobre o que é a vida, com suas necessidades e desejos”); e a terceira, ao contexto político, tendo a economia como sistema regulador e às vezes a religião como arcabouço estruturador. Essas três escalas são às vezes denominadas “ecológica”, “sociológica” e “econômica”, ou, mais coloquialmente, “planeta”, “pessoas”, e “lucro”, respectivamente. Embora essa classificação possa sugerir o mesmo nível de importância para as três escalas, é

preciso estabelecer uma ordem de prevalência, que coloca o “planeta” em primeiro lugar, seguido das “pessoas” e do “lucro” (figura 1.1). Essa hierarquia se justifica na medida em que os recursos naturais (energia, materiais, água pura, ar puro, terra) estabelecem a base material sobre a qual as pessoas podem criar o seu bem-estar, ao passo que o sistema econômico (com o lucro como parte dele) deve facilitar esse processo, não sendo um objetivo em si mesmo (ROVERS, 2002).

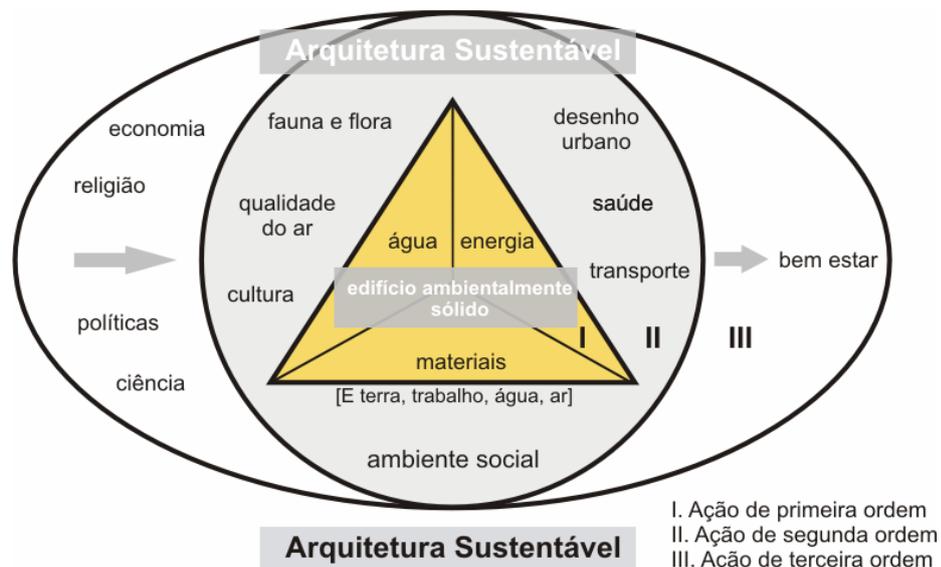


Figura 1.1 Os três níveis de ação da arquitetura sustentável. Fonte: ROVERS, 2002, tradução nossa.

As variáveis “materiais”, “água” e “energia” formam o núcleo do problema da relação da arquitetura com os sistemas naturais em escala global e constituem, portanto, o fulcro da agenda da *arquitetura ecológica*. Estes são também, ao lado da salubridade e do conforto, os conteúdos mais recorrentes na literatura como definidores da *arquitetura sustentável* (figura 1.2). (AGENDA 21..., 1999; GAUZIN-MÜLLER, 2002; UNEP INDUSTRY AND ENVIRONMENT; 2003; PEUPORTIER *et al.*, 1998).

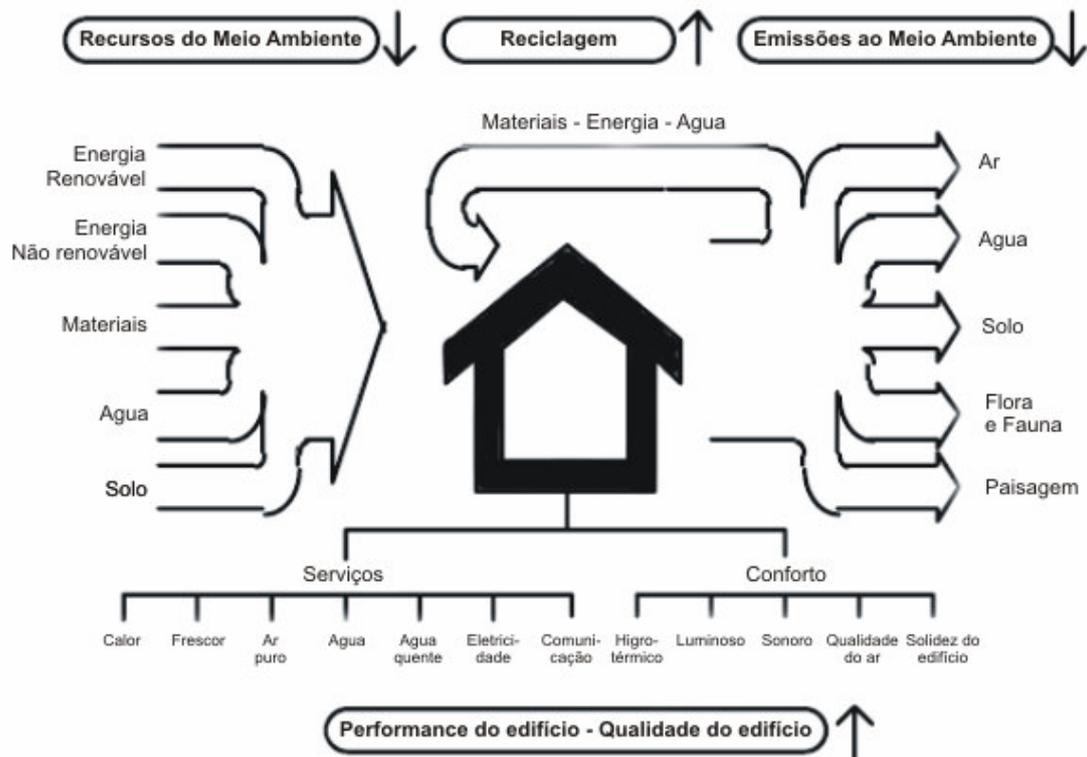


Figura 1.2 A “arquitetura sustentável” sob o ponto de vista do ciclo de vida do edifício. Fonte: PEUPORTIER *et al.*, 1998, tradução nossa.

Antes de avançar, cabe algumas considerações sobre a *arquitetura sustentável* no que diz respeito a sua dimensão estética. Conforme comentado acima, GUY (1997) identifica uma linha de pensamento dentro do movimento de “ecologização” da arquitetura, considerado em sentido abrangente, que advoga a necessidade de uma nova ordem estética capaz de *representar* a relação orgânica de harmonia que a humanidade pretende estabelecer com a natureza. A inovação tecnológica, por si só, não seria capaz de responder ao desafio imposto pela situação de crise que a humanidade está enfrentando, a qual demandaria uma nova filosofia, uma nova cosmologia - e a partir delas uma nova iconografia - capazes de reverter as prioridades estabelecidas por uma era devotada à máquina e à indústria. Em outras palavras, a arquitetura encontra-se no processo de “descobrir a dívida da humanidade para com a natureza e de converter essa consciência em uma nova iconografia” (WINES, 2003, p. 23). Se no início da era da máquina, nas primeiras décadas do século XX, forjaram-se novos paradigmas arquitetônicos a partir dos mecanismos da produção industrial, no início do século XXI, é a partir das idéias encontradas na natureza que deveriam ser construídos os paradigmas arquitetônicos do início de uma era da ecologia e da informação.

No entanto, o processo dominante de inovação ecológica da arquitetura não parece compartilhar da opinião de que é necessário a uma arquitetura *sustentável* uma iconografia outra que a herdada da modernidade:

[...] o emprego de materiais extraídos diretamente da natureza (brutos), que ajudam a economizar energia, apresenta o perigo de um retorno a modelos diretamente inspirados na construção tradicional e a clichês tradicionalistas, freqüentemente incongruentes com seu entorno natural ou construído. O futuro está no uso heterogêneo dos materiais, que integre a *proteção ao meio ambiente sem renunciar à modernidade*. (GAUZIN-MÜLLER, 2002, p. 18, grifo nosso).

O desafio atual consiste em demonstrar que a arquitetura ecológica, além de ser necessária globalmente e correta socialmente pode ser muito atraente desde o ponto de vista estético, conceitual e cultural. Tudo isso implica a superação do clichê de que tal arquitetura sempre vai ser ligada a formas ecléticas, pitorescas, marginais e testemunhais. (MONTANER, 2002, p. 196).

Essa perspectiva se confirma nos exemplos de *arquitetura sustentável* apresentados ao longo deste trabalho. De fato, o discurso dominante da inovação ecológica da arquitetura considera meritória a capacidade de responder a um programa arquitetônico voltado para a sustentabilidade ambiental sem exigir mudanças radicais de comportamento ou de gosto.

1.2 A arquitetura sustentável como política pública

A Europa ocidental é a região do mundo onde a institucionalização da questão da *arquitetura sustentável* mais tem avançado. Isso é especialmente válido para um grupo de países da Europa Central e do Norte ⁴, com destaque para a Alemanha. ⁵ O avanço da *arquitetura sustentável*, no entanto, deve ser compreendido como uma das manifestações de um fenômeno mais amplo, o movimento da sociedade como um todo em direção a um padrão menos agressivo de relação com o meio ambiente:

No centro e no norte de Europa, a ecologia constitui um fenômeno cultural que alcançou verdadeiro poder político e econômico. A construção de edifícios, sob a pressão pública muito sensível à qualidade de seu entorno e com o apoio de um espírito cívico alentado desde a infância, segue uma filosofia que situa o homem e sua relação com a natureza no centro de suas inquietudes. (GAUZIN-MÜLLER, 2002, p. 19).

⁴ Áustria, Suíça e Alemanha, Países Baixos, Dinamarca, Suécia, Noruega e Finlândia.

⁵ A ascensão política do Partido Verde na Alemanha, a partir da década de 1980, é uma razão que explica o pioneirismo do país na inovação ecológica da arquitetura (GAUZIN-MÜLLER, 2002).

Pode-se citar, como indicadores desse processo de institucionalização, a legislação dedicada ao assunto, a opinião pública, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a incorporação do tema na formação profissional de arquitetos e engenheiros, a assimilação das novas práticas pela indústria da construção civil, a incorporação de critérios ambientais aos mecanismos de financiamento imobiliário, entre outros. Trata-se de um fenômeno que envolve a sociedade como um todo. Não obstante, o papel de principal indutor do processo, parece, tem cabido à esfera governamental. De fato, a inovação ecológica da arquitetura se converteu em objeto de política pública na Europa, do nível local ao supranacional. A esse respeito, seriam pertinentes duas considerações: primeiramente, a questão da energia tem servido como ponta-de-lança nesse processo, desde a década de 1970, pois além de suas implicações ambientais, tornou-se um problema estratégico para as economias industriais; em segundo lugar, a atuação da União Europeia - UE tem sido importante para a inovação ecológica da arquitetura na região (GAUZIN-MÜLLER, 2002; LEWIS, 2000), por meio tanto de seu apoio financeiro a programas e projetos específicos, quanto de sua atuação legiferante, esta última apoiada na autoridade da UE para formular orientações e estabelecer metas e procedimentos normativos que são mandatórios para os países membros.

A política energética da União Europeia tem ocupado um papel primordial no avanço das práticas de inovação ecológica da arquitetura nos países membros. Isso acontece desde a década de 1970, em resposta à crise energética que então se sucedeu à elevação do patamar do preço do petróleo no mercado internacional. Desde o final da década de 1980, a utilização extensiva de combustíveis fósseis (80 % da energia primária consumida na Europa) assumiu um significado ecológico ainda mais dramático a partir dos trabalhos do *Intergovernmental Panel on Climatic Change* (IPCC) ⁶ e seu alerta sobre o efeito estufa e os riscos de mudanças climáticas globais. Em 1997, a assinatura do Protocolo de Kioto, estabelecendo metas de redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) para um grupo de países industrializados conferiu importância política ainda maior à questão da conservação de energia.

⁶ O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) foi criado em 1988 pela World Meteorological Organization (WMO) e pelo Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) com o objetivo de monitorar informações científicas, técnicas e sócio-econômicas relevantes para a compreensão dos riscos e dos impactos potenciais de uma mudança climática global induzida pelo ser humano, e as opções de mitigação do fenômeno e de adaptação a suas conseqüências.

Em 2002, a União Européia publicou o seu *Sexto Programa de Acção em Matéria de Ambiente*, para o período 2001- 2010, que incorporou o compromisso estabelecido em Kioto de redução de 8% das emissões de CO₂ em relação ao valor de 1990. O documento previa que, mesmo modesto, este objetivo exigiria “um grande esforço nos diversos setores econômicos responsáveis pelas emissões” (União Européia, 2002), mensagem certamente importante para a indústria da construção civil, responsável por mais de 40% das emissões de CO₂ da União Européia (THE ENERGY PERFORMANCE..., c2003). O *Programa de Acção* também estabelece como meta para os países-membros a ampliação até 2010 da participação das energias renováveis e da produção combinada de calor e eletricidade (CHP) para, respectivamente, 12% e 18% da eletricidade total gerada, outra deliberação com impacto sobre a prática arquitetônica. Não parece coincidência, portanto, que no mesmo ano, a UE lançou também uma diretiva⁷ sobre a performance energética das edificações, estabelecendo uma metodologia para o cálculo integrado da performance energética dos edifícios e requerimentos mínimos para edifícios novos ou para reforma de edifícios existentes de grande porte, e exigindo a emissão de certificados de performance energética para edificações, além de inspeções regulares dos sistemas de calefação e ar condicionado (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2003; THE ENERGY PERFORMANCE..., c2003).

As diretivas da União Européia desdobram-se em ações internas aos países membros. Em relação à questão energética, o governo britânico, por exemplo, publicou em 2003 o *Energy White Paper* e em 2004 o *Action Plan for Energy Efficiency*, afirmando, em ambos os documentos, que melhorias significativas nos códigos de edificação seriam fundamentais para que o país conseguisse cumprir suas metas para 2010 de redução das emissões de CO₂. No mesmo ano as alterações propostas foram submetidas a debate público (REINO UNIDO, 2004), tendo sido posteriormente incorporadas à legislação.

⁷ Diretiva é um ato legislativo coletivo da União Européia que estabelece objetivos a serem alcançados pelos países membros sem, no entanto, ditar os meios específicos para tanto. Uma diretiva, por tanto, demanda medidas posteriores por parte dos países membros e permite a adoção de estratégias específicas aos distintos contextos nacionais.

A atuação legiferante da União Europeia estende-se também sobre a questão dos materiais. O *Sexto Programa de Acção em Matéria de Ambiente*, por exemplo, reconhece que a Comunidade Europeia “carece de uma política econômica coerente centrada na obtenção de uma dissociação global entre a utilização de recursos e o crescimento econômico” (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2002). Nesse sentido, as estratégias apresentadas pelo documento são o aumento significativo da eficiência, a desmaterialização da economia e a prevenção dos resíduos, fazendo posteriormente uma referência específica aos resíduos de construção e demolição. Essa abordagem é reforçada na *Estratégia Temática Sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais*, que estabelece como objetivo geral para os países europeus “reduzir os impactos ambientais negativos decorrentes da utilização dos recursos naturais numa economia em crescimento”, conceito designado pelo termo “dissociação”, ou seja, dissociação entre crescimento econômico e crescimento do consumo de recursos naturais. (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005, p. 4).

Além da promoção do debate público e do estabelecimento de diretrizes e normas de procedimento, outra forma de atuação da União Europeia no processo de ecologização da arquitetura é no financiamento da produção de conhecimento científico e no desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias. As atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico dispõem de estatuto de política comunitária desde a instituição da Comunidade Econômica Europeia (CEE) e da Comunidade Europeia da Energia Atômica (Euratom), em 1957. Em 1984 foi instituído o 1º Programa-Quadro de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, sendo que o 4º Programa-Quadro (1994-1998) foi o primeiro a abranger todas as atividades de P&DT⁸ financiadas pela Comissão Europeia, estratégia de gestão que vem sendo mantida deste então (UNIÃO EUROPEIA, s/d).

As pesquisas da Comunidade Europeia (CE) sobre energia, assim como sobre outros temas sócio-econômicos, estão canalizadas para a promoção da competitividade econômica da União Europeia, de forma que a maior parte dos recursos é direcionada para pesquisa e desenvolvimento aplicados, demonstração tecnológica ou projetos-piloto em detrimento das

⁸ Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico

áreas de pesquisa básica e desenvolvimento tecnológico de longo-prazo (RUNCI, 1999).⁹ Essa tendência tem se reforçado, e mesmo na área de energias renováveis os recursos de P&DT da Comissão Européia têm se concentrado em projetos voltados para o aperfeiçoamento e a comercialização das tecnologias já mais amadurecidas.

Na interface entre a eficiência energética, as energias renováveis e os edifícios, Lewis (2000) destaca um conjunto de programas e projetos implementados com o objetivo de, por um lado, desenvolver e aprimorar técnicas, materiais, componentes e sistemas construtivos propriamente ditos e, por outro, desenvolver instrumentos de apoio e ferramentas de projeto e de avaliação destinadas aos arquitetos, estudantes de arquitetura e engenheiros.

Um exemplo do tipo de atuação da CE no âmbito dos programas-quadro de investigação e desenvolvimento tecnológico é a seqüência de projetos voltados para sistemas solares passivos - PASSYS, COMPASS e PASLINK – iniciada em meados da década de 1980. O projeto PASSYS foi formulado com os objetivos de aumentar a confiabilidade das ferramentas de projeto e dos modelos de simulação para arquitetura solar passiva, de desenvolver procedimentos de ensaio para componentes solares passivos e de aprofundar a compreensão dos fenômenos que determinam sua performance. Para tanto, foram criados centros de ensaio em doze países-membros e especificados procedimentos e metodologias comuns de ensaio e validação. O COMPASS, projeto subsequente, incluiu o desenvolvimento de procedimentos confiáveis e acessíveis de simulação e ensaio de componentes em superfície horizontal e de componentes mistos de teto e parede, além da consolidação de bases de dados de alta qualidade, entre outros produtos. O projeto PASLINK, por sua vez, estabeleceu conexões entre os centros de ensaio criados pelo PASSYS e converteu os resultados obtidos pelos centros em formatos adequados a aplicativos orientados para a prática na indústria da construção civil (LEWIS, 2000).

Em uma linha de atuação semelhante, o projeto PASCOOL (1992-1995), dedicado ao problema do resfriamento passivo, foi estruturado em 4 módulos: testes ambientais, desenvolvimento de modelos, clima e orientações para o projeto, contemplando configurações de ventilação natural, massa térmica, elementos de controle solar, conforto

⁹ Com exceção para as pesquisas na área de fusão nuclear

térmico e a performance geral dos edifícios. Como produtos finais do projeto, foram produzidos um conjunto de softwares, o livro *PASCOOL Handbook* sobre resfriamento passivo de edifícios (destinado a arquitetos e engenheiros) e um *Atlas for Natural Cooling Techniques*, com informações sobre o potencial de técnicas específicas de resfriamento passivo de edifícios em diferentes localidades europeias, entre outros itens (LEWIS, 2000).

O autor menciona ainda projetos de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de iluminação natural, ventilação natural, qualidade do ar, materiais para fechamento de janelas e energias renováveis, que resultaram em produtos como procedimentos e metodologias padronizados de ensaio e avaliação, ferramentas computacionais e orientações técnicas para o projeto de arquitetura. É interessante notar, concomitantemente à produção de conhecimento técnico e científico propriamente dito, são objetivos estratégicos da política de P&DT da Comunidade Europeia conectar pesquisadores e indústria e integrar as comunidades de pesquisadores dos diversos países membros.

A Comunidade Europeia distingue em sua estrutura de P&DT os programas de pesquisa e desenvolvimento, propriamente ditos, e os programas de demonstração. THERMIE é um amplo programa de demonstração de tecnologia na área de energia, que foi instituído em 1989 e operou independente até 1994, quando passou a integrar a estrutura do 4º Programa-quadro de D&PT. O programa THERMIE abrigou em seus projetos uma grande quantidade de temas específicos, entre os quais a eficiência energética nas edificações.

O projeto *Cost Efficient Passive Houses as European Standards* (CEPHEUS), no âmbito do Programa THERMIE, foi elaborado com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica e econômica do padrão *Passivhaus*, um padrão de construção baseado em uma metodologia de projeto que possibilita a redução da demanda de energia das edificações a um nível mínimo. No âmbito do projeto CEPHEUS foram construídas, entre 1999 e 2001, 250 unidades habitacionais em 14 localidades de cinco países europeus (França, Suíça, Áustria, Alemanha e Suécia), incluindo casas unifamiliares, casas geminadas e edifícios residenciais.¹⁰ O relatório final do projeto registra a obtenção de um consumo médio de energia abaixo de 23

¹⁰ Ver prancha 1.2

KWh/m²a,¹¹ inferior a um décimo da média de consumo do estoque edificado alemão ou francês (COST..., 2001).

Também no âmbito do programa THERMIE, o projeto Energy Comfort – 2000 fomentou a construção de sete edifícios não residenciais em cinco países (Reino Unido, França, Portugal, Grécia e Países Baixos), com base nos seguintes objetivos de projeto: consumo de energia pelo menos 50% inferior ao de projetos convencionais, redução das emissões de CO₂ em até 70%, condições adequadas de conforto para os ocupantes, uso mínimo ou supressão do uso de ar condicionado, entre outros (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1999a).¹²

Em âmbito nacional e local, além da subvenção financeira direta a atividades de pesquisa e desenvolvimento e a projetos específicos, nos moldes adotados pela UE, é possível identificar um conjunto amplo e diverso de outras iniciativas governamentais internas aos países europeus, de fomento à *arquitetura sustentável*, especialmente no que diz respeito à conservação de energia. São exemplos o desenvolvimento ou o reconhecimento de sistemas de avaliação e certificação ambiental de edifícios, a inovação *ecológica* nas obras públicas, o estímulo a práticas de *arquitetura sustentável* por meio de exigências ou incentivos positivos incorporados à legislação edilícia e a promoção de “bairros ecológicos” com exigências ambientais mais rigorosas que o padrão vigente para as edificações. A seguir são comentados alguns exemplos.

Os sistemas de avaliação e certificação ambiental de edifícios, em sua maioria, se baseiam em listas de checagem que enumeram os requisitos de projeto que qualificam o edifício quanto a seu desempenho ambiental. Além do procedimento HQE (França) e do *Pinwag* (Finlândia), já mencionados neste trabalho, são exemplos de métodos de avaliação ambiental de edifícios, desenvolvidos por agências governamentais ou sob sua coordenação: Beat 2000 (Dinamarca), E 2000 (Suíça), Ecoeffect (Suécia), MMG (Países Baixos), Equer (França), LEGEP (Alemanha), EcoProfile (Noruega). Por meio de uma lei de 1996, o governo dinamarquês instituiu a obrigatoriedade da emissão do selo *Energimærke*, que classifica o edifício em relação ao

¹¹O KWh/m²a (Kilowatt-hora por metro quadrado ao ano) indica a quantidade de energia consumida no edifício em um ano, por cada m² de piso tratado. É um indicador de eficiência energética da edificação.

¹² Ver prancha 1.3

consumo de calefação, eletricidade e água e à produção associada de CO₂ (LAUSTSEN; LORENZEN, 2003).¹³ Outra iniciativa governamental relativa a sistemas de avaliação ambiental de edifícios é o selo *Minergie*, desenvolvido pelo governo federal suíço e que certifica edifícios em relação à eficiência energética.

Em economias de mercado, nas quais a atuação do Estado em relação à indústria da construção civil é preponderantemente regulatória, as obras públicas se constituem em um campo privilegiado para a aplicação de políticas governamentais de estímulo ao desenvolvimento da *arquitectura sustentável*. Essas possibilidades vêm sendo crescentemente empregadas em países europeus, em todos os níveis de governo e para uma grande variedade de programas, incluindo edifícios de escritórios, escolas, ginásios de esporte, piscinas cobertas, universidades e centros de pesquisa, entre outros. Na França, por exemplo, os Conselhos Regionais de Ile-de-France, Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Alpes e Limousin adotaram o procedimento HQE nos projetos de expansão da rede pública de ensino médio. No âmbito dessa política, foram contemplados liceus nas cidades de Alfortville, Calais, Caudry e Limoges, entre outras.¹⁴

Em nível local, a literatura registra a experiência de cidades com uma postura já consolidada de empenho para a redução de sua “pegada ecológica”, o que acaba por influenciar a concepção de seus edifícios públicos. É o caso, por exemplo, das municipalidades de Mäder (Austria), Freiburg e Stuttgart (ambas na Alemanha).

Mäder (3 mil habitantes) é um município rural, localizado na região do Vorarlberg, no oeste da Áustria. Com um histórico de atenção para as questões ambientais desde a década de 1970, a municipalidade construiu recentemente um novo centro comunitário, que abriga uma sala polivalente, um ginásio, um colégio¹⁵ e um edifício que acolhe o jardim de infância, a creche e a biblioteca municipal. Foram utilizadas no conjunto estratégias de iluminação e climatização natural, redução do consumo de energia, painéis fotovoltaicos e cobertura ajardinada (GAUZIN-MÜLLER, 2002).

¹³ Ver prancha 1.4

¹⁴ Ver prancha 1.5

¹⁵ Ver prancha 1.6, figura 1.24

Stuttgart (580 mil habitantes) é a capital do *land* de Baden-Württemberg, no sudoeste da Alemanha, uma das regiões mais industrializadas e prósperas do país, e a primeira a eleger deputados do Partido Verde, ainda na década de 1980. O movimento ambientalista, desde então, tem sido muito atuante na vida política da cidade e da região, o que está associado a seu pioneirismo em práticas como a coleta seletiva de lixo e a obrigatoriedade de ajardinamento da cobertura dos edifícios (GAUZIN-MÜLLER, 2002). Em Stuttgart, encontra-se consolidada a prática de uma arquitetura comprometida com a questão ecológica na execução dos edifícios da municipalidade, como escolas e instalações desportivas públicas. Seu programa de *arquitetura sustentável* pública contempla a racionalização do uso de energia, o aproveitamento das águas da chuva e o emprego de materiais naturais como a madeira, o ladrilho, o linóleo e tintas sem solventes.¹⁶

Freiburg (204 mil habitantes), também localizada no *land* de Baden-Württemberg, no sudoeste da Alemanha, é considerada a “capital europeia da ecologia” (GAUZIN-MÜLLER, 2002). Para os equipamentos públicos construídos pela municipalidade, que mantém uma tradição de concursos públicos de arquitetura para seus edifícios, já se consolidou a prática de incorporar critérios ecológicos de projeto, como iluminação e ventilação natural, ajardinamento de coberturas, aproveitamento das águas pluviais, baixo consumo de energia, escolha de materiais “saudáveis”, entre outros.¹⁷

A moradia social é outro programa de arquitetura que tem encontrado convergências com a agenda da sustentabilidade ambiental. As experiências recolhidas da literatura emergiram em dois contextos institucionais distintos: no âmbito da atuação governamental na área de habitação social ou da atuação de cooperativas e associações de moradia social. São exemplos do primeiro caso os projetos Rex HQE (França) e *Mietwohnungen in Holzsystembauweise* (Alemanha), e do segundo caso, o conjunto *BedZED* (Grã-Bretanha), e edifício *Salvatierra* (França) e o projeto *Sustainable Housing in Europe* (SHE), coordenado pela *Federazione Nazionale delle Cooperative Edilizie Di Abitazione* (FEDERABITAZIONE), da Itália.

¹⁶ Ver prancha 1.6, figuras 1.23 e 1.25

¹⁷ Ver prancha 1.6, figura 1.22

Além do apelo ecológico propriamente dito, há uma motivação econômica nas iniciativas de *arquitetura sustentável* voltadas a população de baixa renda: os gastos com o consumo de energia em edifícios residenciais convencionais podem vir a representar uma parcela significativa dos orçamentos domésticos, especialmente em regiões de clima frio e temperado, devido à necessidade de calefação. Na Europa, a pobreza pode ter conseqüências dramáticas em decorrência do clima. Em sua *Sustainability Strategy* (2002), a cooperativa habitacional britânica *Peabody Trust* informa que, além dos muitos óbitos registrados a cada inverno, decorrentes da insuficiência de calefação em residências de baixa renda, estima-se que há no país cerca de 4 milhões de famílias *fuel poor*, ou seja, que precisam empregar mais de 10% de sua renda para aquecer sua residência adequadamente. Diante desse quadro, a cooperativa entende ser um de seus maiores desafios o combate à “pobreza de combustível” de seus associados e sintetiza sua estratégia de ação nos seguintes termos:

Primeiramente, nós reduziremos o nível de pobreza de combustível entre nossos locatários por meio do aprimoramento geral da eficiência energética de nosso estoque residencial e, em segundo lugar, nós vamos reduzir nossa dependência em relação a combustíveis fósseis poluentes e nos tornarmos um fornecedor majoritário de eletricidade renovável. (PEABODY TRUST..., 2002, p. 6)

O governo da Bavária, por meio do departamento de obras de seu Ministério do Interior (*Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern – OBB*) investe desde a década de 1980 em projetos experimentais na área de habitação (*Experimenteller Wohnungsbau*) reunidos em programas-piloto com temas específicos. De acordo com o OBB, “projetos piloto enfrentam questões futuras e provêm respostas para a arquitetura de amanhã do mesmo modo como influenciam o desenvolvimento geral da arquitetura no futuro. Eles são uma interpretação física de temas inovadores...” (BAYERN, s/d[a]).

Em 1992, o OBB iniciou o programa de moradia social *Mietwohnungen in Holzsystembauweise* com o objetivo de construir 900 unidades habitacionais, em madeira, para arrendamento residencial, em 23 projetos distribuídos por 21 cidades. Gauzin-Müller (2002) informa que essa foi a primeira iniciativa de reativação do setor de construção residencial na Alemanha a apoiar-se na utilização da madeira como principal material de construção, e que a partir desse programa a construção de edifícios de madeira de vários pavimentos tem se difundido rapidamente, incentivando estudos de adequação às normas de proteção contra incêndio e

desempenho acústico, na Alemanha, Áustria e Suíça. A motivação inicial do programa foi a redução do custo de construção das unidades habitacionais. Além de haver superado os objetivos quanto a esse quesito, o programa logrou em produzir edifícios de menor impacto ambiental em relação a pelo menos dois fatores: o baixo consumo de energia (BAYERN, s/d[b]) e uso de material natural, durável e reciclável.¹⁸

Em 1993, o governo francês iniciou o programa de habitação social *Rex HQE* (Realisation Expérimentale à Haute Qualité Environnementale), no âmbito do qual foram construídas 700 unidades residenciais em conformidade com o procedimento HQE de qualificação do projeto de *arquitetura sustentável*. Mas de acordo com Gauzin-Müller (2002), o programa não foi completamente bem sucedido, pois as operações realizadas não são exemplares nem em termos ecológicos, nem em termos arquitetônicos, para provocar um impacto significativo sobre o quadro da produção de habitação social na França.

O projeto *Sustainable Housing in Europe* (SHE), integrante do programa temático *Energy, Environment and Sustainable Development* (5º Programa-quadro de P&TD da UE, 1999-2002), teve por objetivo a construção de 200 unidades residenciais co-financiadas pela União Européia em quatro países (Dinamarca, França Itália e Portugal) e outras 280 unidades financiadas exclusivamente por um grupo de cooperativas habitacionais italianas. As diretrizes de sustentabilidade estabelecidas pelo projeto foram: redução do consumo de água e de energia, uso “racional” de recursos naturais, estratégias passivas de controle climático, uso “correto” de iluminação natural, conforto acústico interno e externo, uso de tecnologias e materiais “seguros”, “ecológicos”, reutilizáveis e recicláveis, entre outras. Foi também estabelecido como objetivo do projeto integrar de forma mais próxima a participação dos futuros ocupantes nas etapas mais importantes do processo de tomada de decisão. (SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE, c2003).¹⁹

Parece encontrar-se igualmente em expansão a adoção de instrumentos de política pública que objetivam estender os preceitos da arquitetura sustentável para além do domínio das

¹⁸ Ver prancha 1.7

¹⁹ Ver prancha 1.8

obras públicas. Há instrumentos de incentivo negativo, baseados em uma lógica mais coercitiva, dos quais o mais convencional é a incorporação de exigências de cunho ecológico aos códigos de edificação. Além da legislação de nível nacional estabelecida a partir da década de 1970 especificamente para a questão energética, tem-se registrado iniciativas municipais tendentes a fixar exigências mais rígidas que os respectivos códigos nacionais. O novo código de edificações (2000) de Grosseto (Itália), por exemplo, exige que em todas as obras executadas na cidade, os materiais e as tecnologias utilizados se enquadrem nas normas técnicas *Bioedilizia Italia* (SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE, 2003a). O *Bioedilizia Italia: Istituto Qualificazione Bioedilizia* é uma organização não-governamental dedicada à “normalização técnica, formação, informação, qualificação, desenvolvimento e utilização dos produtos bioedifícios e da bioedificação”²⁰. De acordo com os princípios gerais que fundamentam as normas técnicas elaboradas pela entidade, produtos *bioedile* são definidos em função das características das matérias primas (naturais, renováveis, isentas de radiação) e dos processos de transformação (baseados em ciclos produtivos existentes na natureza), conforme declarado “em forma clara, compreensível e inequívoca” por parte dos fabricantes (BIOEDILIZIAITALIA, s/d).

Além de instrumentos de caráter coercitivo, como exigências legais ou contratuais, registram-se diversas experiências baseadas no emprego de instrumentos de incentivo positivo. Como exemplo, os planos diretores das municipalidades de Rignano sull’ Arno (1996) e Faenza (1998), ambas na Itália, incentivam a adoções de critérios ecológicos de projeto por meio, respectivamente, de uma redução da taxa de autorização de obra²¹ e de um aumento do índice de construção²² (SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE, 2003a). Outro instrumento de incentivo positivo é a concessão de subsídios. Diversas municipalidades alemãs, por exemplo, subvencionam a instalação de coberturas ajardinadas, segundo critérios diversos. É o caso, por exemplo, de Darmstadt (subvenção de até cerca de € 10 mil), Bremen e Stuttgart (50% do custo de instalação, no valor máximo de € 17,90/m²), Backnang e Duisbourg (50% do custo de instalação, no valor máximo de € 25,56/m²) (GAUZIN-MÜLLER, 2002). Na França, o Conselho Regional de Nord-Pas-de-Calais mantém um alinhamento de

²⁰ *Bioedilizia* é um termo italiano para “construção ecológica” ou “construção sustentável”

²¹ A taxa de autorização de obra é o valor cobrado pela municipalidade para a emissão da licença de construção.

²² Índice de construção é a razão entre área construída total e a área total do terreno.

subvenção a projetos que se enquadram nos procedimentos HQE (SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE, 2003b).

“Bairros ecológicos” são experiências de urbanismo ecológico que vêm sendo implementadas por um número crescente de cidades europeias desde meados da década de 1990. Os bairros ecológicos podem abrigar de poucas centenas a alguns milhares de habitantes e, integrados ao processo de expansão urbana, incorporam a questão ecológica em seu planejamento por meio de elementos como a promoção da diversidade de usos do solo, o estímulo ao transporte não motorizado e ao transporte público, a gestão do lixo doméstico, a geração local de energia, a gestão das águas pluviais e a integração à paisagem natural, por exemplo.

O planejamento dos bairros ecológicos também estabelece diretrizes mínimas para o desempenho dos edifícios quanto à sustentabilidade ambiental e freqüentemente envolve a integração de elementos do projeto arquitetônico ao desenho urbano e a promoção de projetos de demonstração de *arquitetura sustentável*. Em mais de um sentido, portanto, os bairros ecológicos constituem uma política não só de planejamento e gestão urbana, mas também de incentivo à *arquitetura sustentável*. São exemplos de bairros ecológicos já consolidados ou em implementação: Ecolonia (Alphen-aan-den-Rijn), Nieuwland (Amersfoort), GWL (Amsterdam), Leidsche Rijn (Utrecht), nos Países Baixos; Sonnenfeld (Ulm), Burgholzof (Stuttgart), Kronsberg (Hannover), Quartier Vauban e Rieselfeld (Freiburg), na Alemanha; Hammerby-Sjostad (Estocolmo) e Västra Hamnen (Malmö), na Suécia; Viiki (Helsinque), na Finlândia; Pilestredet Park (Oslo), na Noruega; Vesterbro (Copenhague), na Dinamarca; Pichling (Linz), na Áustria; ZAC Beauregard (Rennes); e Millenium Village (Londres), na Grã-Bretanha.²³

²³Ver pranchas 1.9 e 1.10.

Prancha 1.1 – Sustentabilidade na arquitetura - perspectivas distintas

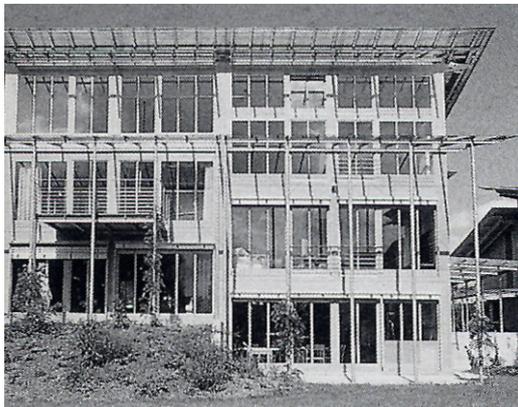
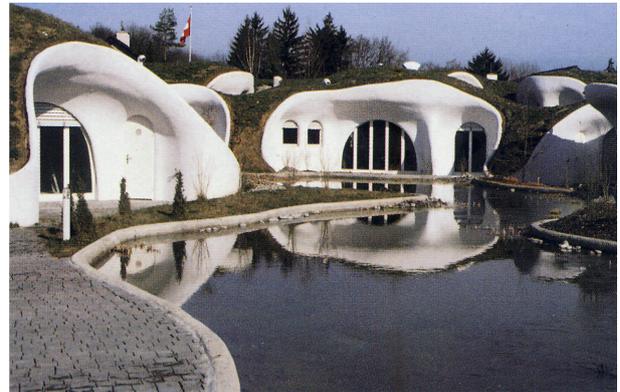


Figura 1.3 Foster & Partners. Commerzbank, Frankfurt, Alemanha, detalhe da fachada (1991-1997). Fonte: ARCHISEEK, c1996-2006.

Figura 1.4 Werk Group Lahr. Casa Switch, Donaueschingen, Alemanha (1995). Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 1.5 Brenda e Robert Vale. Hockerton Housing Project, Hockerton, Reino Unido (1994-1998). Fonte: HOCKERTON HOUSING PROJECT, s/d.

Figura 1.6 Peter Vetsch. Nine Houses, Dietikon, Suíça, 1993. Fonte: WINES, 2000.

1.3	1.5
	1.6
1.4	

Prancha 1.2 – Projeto *Cost Efficient Passive Houses as European Standard* (CEPHEUS)



Cinco Subprojetos do projeto de demonstração *Cost Efficient Passive Houses as European Standard* (CEPHEUS) (1998-2001):

Figura 1.7 Hans Eek. Casas Geminadas. Gotemburgo, Suécia. Fonte: Cost..., 2001.

Figura 1.8 P Grenz. Casas Geminadas, Hannover, Alemanha. Fonte: Cost..., 2001.

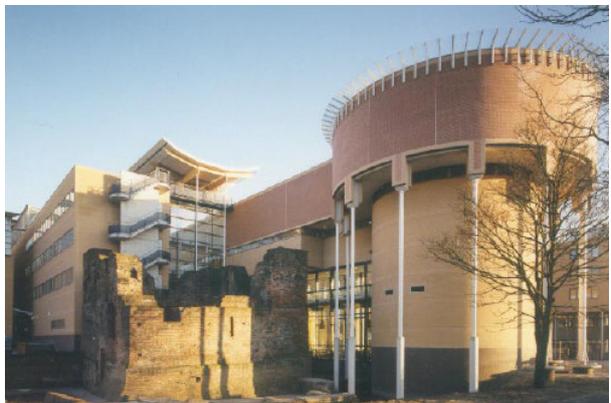
Figura 1.9 Bau Sparer Heim. Edifício residencial, Kuchl, Áustria. Fonte: Optiwin..., 2007.

Figura 1.10, Gerhard Zweier. Edifício residencial, Wohlfurt, Áustria. Fonte: FORENINGEN BÆREDYK BYER OG BYGNINGER, 1996.

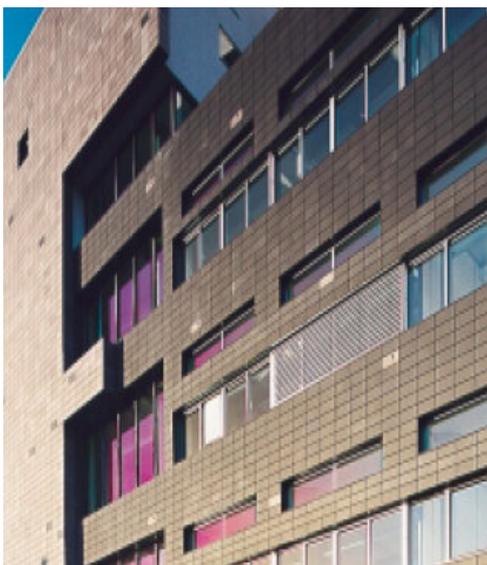
Figura 1.11 Otmar Essl. Edifício residencial. Hallein, Áustria. Fonte ENERGIEINSTITUT VORARLBERG, 2004.

1.7	1.8
1.9	1.10
1.11	

Prancha 1.3 – Projeto *Energy and Confort 2000* (EC-2000)



1.12	1.13
1.14	1.15
1.16	



Cinco subprojetos do projeto EC-2000 (1993-1998):

Figura 1.12 Alexandros Tombazis. Edifício-sede da Avax SA, Atenas, Grécia. Fonte: EUROPEAN COMMISSION, 1999?a

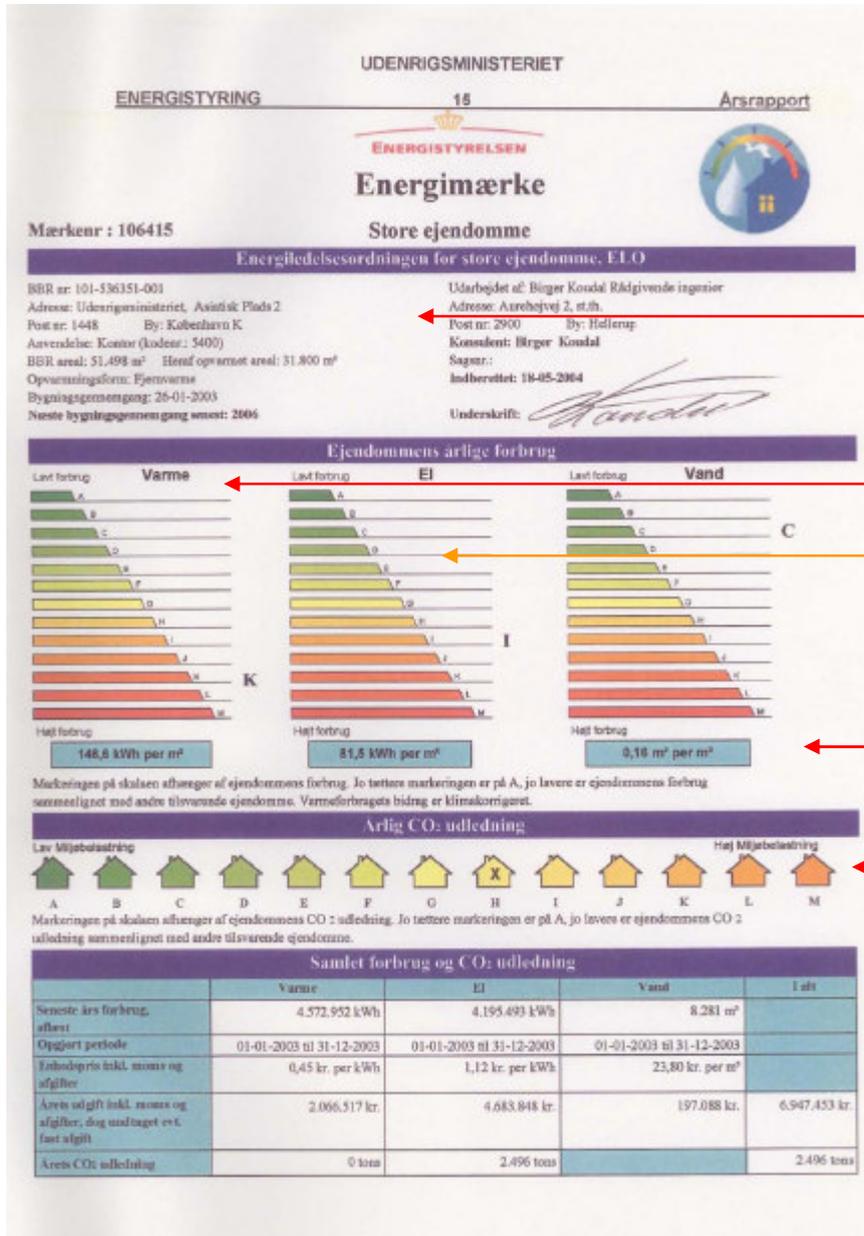
Figura 1.13 Atelier 9 Architectes et Urbanistes Associés. Maison Méditerranéenne des Sciences Humaines (MMSH) e UFR, Aix-en-Provence, França. Fonte: MAISON MÉDITERRANÉENNE DES SCIENCES DE L'HOMME, s/d.

Figura 1.14 ECD Architects. Anglia Polytechnic University, Learning Resources Centre, Chelmsford, Reino Unido. Fonte: EUROPEAN COMMISSION, 1999?b

Figura 1.15 Hans Ruijsenaars. Edifício público de múltiplo uso (Prefeitura, biblioteca e teatro), Schiedam, Países Baixos. Fonte: THEATER..., 1997?

Figura 1.16 Ruurd Roorda. Tax Office Extension, Enschede, Países Baixos. Fonte: EUROPEAN COMMISSION, 1999?c

Prancha 1.4 – Selo *Energimærke*



Identificação do edifício e do consultor responsável pela avaliação.

Classificação do consumo com calefação

Classificação do consumo de eletricidade

Classificação do consumo de água

Consumo por m²

Classificação do edifício quanto às emissões de CO₂ associadas ao consumo de eletricidade e para calefação

Figura 1.17 Selo *Energimærke*. Dinamarca. Aplicação ao edifício sede do Ministério das Relações Exteriores da Dinamarca.

Fonte: LAUSTSEN; LORENZEN, 2003.

Prancha 1.5 – Edifícios escolares públicos (França)



1.18	1.19
1.20	1.21

Edifícios escolares (liceus) desenvolvidos conforme o procedimento *Haute Qualité Environnementale* (HQE), de acordo com a política de construção sustentável dos Conselhos Regionais de Ile-de-France e Pas-Nord-de-Calais, França.

Figura 1.18 Isabelle Colas; Fernand Soupey. Liceu Leonardo da Vinci, Calais, França (1995-1998). Vista externa. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 1.19 Idem. Vista interna.

Figura 1.20 Massimiliano Fuksas. Liceu Maximilien Perret, Alfortville, França (1994-1997). Vista externa. Fonte: DADART..., 1997.

Figura 1.21 Idem. Vista interna.

Prancha 1.6 – Edifícios públicos municipais (Alemanha, Áustria)



1.22

1.23

1.24 | 1.25

Figura 1.22 Mosaik Architekten. Escola Primária Karoline-Kaspar, Freiburg-Vauban, Alemanha (1998-99). Fonte: MAISON PASSIVE, 2007.

Figura 1.23 D'Inka + Scheible. Creche, Stuttgart- Heumaden, Alemanha (1999). Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 1.24 Baumschlager + Eberle. Colégio, Mäder, Áustria (1996-1998). Fonte: THE ARCHITECTURAL REVIEW, 2000.

Figura 1.25 Peter Hübner. Jardim de Infância, Stuttgart-Heslach, Alemanha (1994). Vista axonométrica. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Prancha 1.7 – Programa *Mietwohnungen in Holzsystembauweise* (Alemanha)



1.26	
1.27	1.28
1.29	

Figura 1.26 Herbert Meyer-Sternberg. München (concluído em 1995). Fonte: DETAIL, 1997.

Figura 1.27 Tegnestuen Vandkunsten. Rödental (concluído em 1996). Fonte: DETAIL, 1997.

Figura 1.28 Hubert Rieß. Schweinfurt (concluído em 1998).
Fonte: PROHOLZ AUSTRIA, c2002.

Figura 1.29 Fink+Jocher. Regensburg (concluído em 1996). Fonte: DETAIL, 1997.

Prancha 1.8 – Projeto *Sustainable Housing in Europe* (SHE)



1.30	
1.31	1.32
1.33	

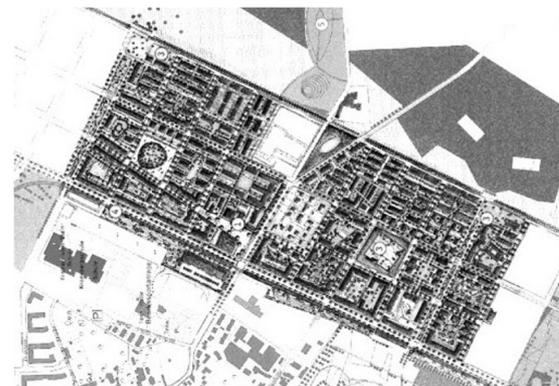
Figura 1.30 Operação Bourgoin-Jullieu, Grenoble, França. Maquete eletrônica. Fonte: SUSTAINABLE..., 2007.

Figura 1.31 Carlos Coelho Consultores. Conjunto residencial da Ponte da Pedra, Matosinhos. Portugal. Vista da praça interna. Fonte: COELHO, 2006.

Figura 1.32 Idem. Vista externa. Fonte: COELHO, 2006.

Figura 1.33 Herzog + Partner. Aarhus, Dinamarca. Maquete eletrônica. Fonte: FORENINGEN BÆREDYGBYER OG BYGNINGER, 1996.

Prancha 1.9 – Bairros ecológicos



1.34	1.35
1.36	1.37
1.38	1.39

Figura 1.34 Ecolonia, Alphen-aan-den-Rijn, Países Baixos. Plano geral. Fonte: RUANO, 1999.

Figura 1.35 Idem. Vista a partir do lago interno. Fonte: RUANO, 1999.

Figura 1.36 Quatier Vauban, Freiburg, Alemanha. Plano geral. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 1.37 Idem. Vista interna a um dos quarteirões. Fonte: LA MAISON PASSIVE, 2007.

Figura 1.38 Kronsberg, Hannover, Alemanha. Plano geral. Fonte: SUSTAINABILITY CENTRES IN THE NORTH SEA REGION, c2000-2001.

Figura 1.39 Idem. Vista interna a um dos quarteirões. Fonte: OEKOSIEDLUNGEN.DE, s/d.

Prancha 1.10 – Bairros ecológicos



1.40	1.41
1.42	1.43
1.44	1.45

Figura 1.40 Sonnenfeld, Ulm, Alemanha. Plano geral. Fonte: MODELLVORHABEN..., 2000.

Figura 1.41 Idem. Vista parcial. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 1.42 Viiki, Helsinque, Finlândia. Plano geral. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 1.43 Idem. Vista parcial. Fonte: VIIKKI, 2006

Figura 1.44 Västra Hamnen, Malmö, Suécia. Vista aérea parcial ("Bo01"). Fonte: VÄSTRA HAMNEN..., s/d.

Figura 1.45 Idem. parcial. Fonte: EKOSTADEN, c2002-2005.

Capítulo 2

A questão ambiental

2.1 O discurso ambientalista

É possível elaborar listas extensas de problemas ambientais. O exemplo a seguir foi compilado a partir de Hamberger et al. (1992) e Souza (2000).

<i>Alguns problemas ambientais</i>	
efeito estufa e mudança climática global	extinção de espécies animais e vegetais
destruição da camada de ozônio	esgotamento de recursos naturais
chuva ácida	degradação das águas
poluição atmosférica	contaminação dos solos
destruição de ecossistemas naturais	erosão dos solos
desertificação	diminuição dos recursos pesqueiros
Desperdício de recursos não renováveis	lixo

Quadro 2.1 Alguns problemas ambientais. Fonte: autor a partir de HAMBERGER *et al.* (1992) e SOUZA (2000).

Uma das fragilidades desse tipo de listagem está na ausência de uma estrutura de organização ou hierarquização, o que resulta em uma apresentação fragmentada e incoesa da problemática ambiental. Em favor de um quadro conceitual mais unitário, Schnaiberg (1980) e Foladoli (2001) afirmam que os problemas ambientais, em toda sua diversidade, resultam de processos de troca entre a economia e os ecossistemas, que podem ser considerados como um conjunto de “retiradas” e “adições” com potencial de desorganizar os ecossistemas. Esses processos de troca correspondem ao “metabolismo social”, entendido como o fluxo de materiais e de energia entre a sociedade e a natureza (FISCHER-KOWALSKI; WEISZ, 1999). Essa metáfora, cuja origem remonta a Karl Marx e Friedrich Engels,²⁴ expressa a idéia de que a economia é como um organismo que extrai recursos de seu meio e sobre ele despeja resíduos resultantes de seus processos materiais internos (MARTINEZ-ALIER, 2004).

Ao vincular a problemática ambiental à sociedade em sua totalidade, essa abordagem elimina a possibilidade de se transferir a responsabilidade para alguns indivíduos, como o caçador de bebês-foca ou o industrial que lança resíduos tóxicos nas águas do rio. Apesar do apelo emocional dessas imagens ter sido fundamental para a popularização dos problemas

²⁴ O conceito de metabolismo, introduzido por Moleschott, em 1857, teria sido pela primeira vez aplicado à sociedade por Marx e Engels: “o metabolismo entre o homem e a natureza é afetado pelo trabalho humano: o trabalho (mediado pela tecnologia) [...]” (MARX; ENGELS, 1867 apud FISCHER-KOWALSKI, 2003, p. 39, tradução nossa).

ecológicos, a questão ambiental diz respeito não só à ação criminosa ou irresponsável de indivíduos isolados, mas principalmente ao conjunto das atividades de produção e aos padrões de consumo da sociedade contemporânea.

Associar a problemática ambiental à produção econômica implica trazer para o debate a dimensão tecnológica da produção, e também sua dimensão social, política e ideológica. Nesse terreno, ao consenso básico sobre a necessidade de uma sociedade ecologicamente mais equilibrada, se segue um embate entre visões de mundo e projetos de sociedade conflitantes, e mesmo antagônicos. Nesse sentido, não existe um discurso ambientalista unívoco, mas uma pluralidade de discursos ambientalistas.

Leis (1998) argumenta que os dois problemas fundamentais que estruturam e distinguem as diversas vertentes do ambientalismo são a relação entre o homem e a natureza e a relação entre o homem e a sociedade. No que diz respeito à relação entre homem e natureza, os discursos ambientalistas são polarizados por um juízo de valoração antropocêntrico e outro biocêntrico. O antropocentrismo tem no ser humano a razão de ser e a medida das atitudes e das intervenções sobre a natureza, enquanto o biocentrismo advoga um valor intrínseco para a natureza e rejeita uma primazia do ser humano sobre as demais espécies (JUNGES, 2004).²⁵ No que diz respeito à relação entre indivíduo e sociedade, a polarização se dá entre as visões de mundo que atribuem à esfera de ação do indivíduo a primazia no processo de mudança, e aquelas que a atribuem à esfera da coletividade. A partir do cruzamento desses quatro eixos, Leis (1998) propõe um quadro taxonômico das ideologias do ambientalismo (quadro 2.2).

²⁵ Junges aprofunda sua classificação dividindo a ética antropocêntrica em uma vertente conservacionista (“A natureza deve ser protegida para satisfazer as necessidades materiais do ser humano”) e uma preservacionista (A natureza deve ser protegida para promover “ideais de aprofundamento humano e espiritual”), e dividindo a ética biocêntrica em uma vertente mitigada (“Entidades individuais detentoras de vida e de sensações merecem a tutela moral, porque são titulares de direitos”) e uma ecocêntrica (“Merecem consideração moral não tanto entidades individuais, mas os conjuntos sistêmicos”- ecossistemas, biosfera, cadeias alimentares, fluxos energéticos) (JUNGES, 2004, p. 11 et seq.)

Relação Homem-Sociedade	Relação Homem- Natureza	Princípio de Exclusão: Antropocentrismo	Princípio de Inclusão: Biocentrismo
Princípio de Inclusão: Comunitarismo		"beta"	"delta"
Princípio de Exclusão: Individualismo		"alfa"	"gama"

Quadro 2.2 "Quadro das tendências do ethos e da praxis do ambientalismo". Fonte: LEIS, 1998.

A vertente "alfa" diz respeito a valores e práticas inscritos em uma direção que enfatiza aspectos individualistas e antropocêntricos e, ao assumir que não há valores nem motivações fora dessa perspectiva, percebe-se como a única vertente realista. A vertente "alfa" não sente a necessidade de uma ética radicalmente nova, sendo a que mais se aproxima dos valores e práticas hegemônicas na sociedade. Lima (1997) associa a vertente "alfa" ao "ecocapitalismo", que representa, dentro do ambientalismo, a posição política e economicamente dominante no mundo. O ecocapitalismo reconhece os problemas ecológicos como um subproduto do progresso, entendendo que a solução encontra-se em ajustes demográficos e tecnológicos, dentro da ordem capitalista e de sua estrutura de mercado. Variante do ecocapitalismo, o "tecnocentrismo" ou "ecotecnicismo" expressa uma visão de mundo otimista e confiante na capacidade do desenvolvimento técnico-científico de aportar as soluções necessárias para os problemas ambientais.

Exponente do otimismo e do individualismo ecocapitalista, Silverstein (1995) propõe o neologismo "ambienomia", fusão de "meio ambiente" com "economia" e síntese de uma relação de identidade entre responsabilidade ambiental e desempenho econômico: "o que é bom para o meio ambiente = o que é bom para a economia", ou "o que é bom para a economia = o que é bom para o meio-ambiente" (op.cit, p. 12). Seu principal argumento é que a eficiência no uso de insumos e de energia tem duas conseqüências simultâneas e indissociáveis: de um lado, a conservação de recursos naturais e a diminuição da poluição,

do outro, o aumento da competitividade econômica. O realismo e a renúncia à utopia, que Lima (1997) enumera entre as características do ecocapitalismo, aparecem com eloquência no discurso de Silverstein (1995, p. 23):

O Novo Mundo não tinha sido colonizado depois de 1492 com a finalidade de salvar almas, mas sim para se encontrar ouro e expandir o comércio. Um americano não subiu até a Lua como parte de um sonho de realização de viagens extraterrestres, mas sim para somar pontos numa Guerra Fria que estava fora de controle. Os ecossistemas deste planeta estão num processo de serem salvos não por causa desta onda que chacoalha os padrões éticos internacionais, mas sim porque os mercados têm encontrado boas razões econômicas para salvá-los.

A vertente “beta” é definida por uma atitude antropocêntrica e coletivista,²⁶ e se caracteriza, em relação à vertente anterior, por “uma certa distância crítica de caráter mais utópico” (LEIS, 1998). Há duas variantes de “beta”: o “ecossocialismo” e a “ecologia social”. O ecossocialismo, ou “ecomarxismo”, atribui a crise ambiental ao processo de acumulação crescente de capital, à exploração do trabalho, à maximização do lucro e ao consumismo. Nesse sentido, Marcuse afirma que “a lógica ecológica é a negação pura e simples da lógica capitalista; não se pode salvar a terra dentro do capitalismo [...] não se trata de purificar a sociedade existente, mas de a substituir” (apud LIMA, 1997, p. 207). A “ecologia social” se distingue do ecossocialismo por direcionar sua crítica não apenas contra a ética individualista e a lógica econômica do capitalismo, mas também contra a razão instrumental, a economia de escala hipertecnológica, as formas de gestão centralizadoras, o próprio Estado, defendendo mudanças éticas, políticas e institucionais de conteúdo anarquista, incluindo uma organização social democrática e descentralizada e princípios de propriedade comunal.

A vertente “gama”, biocêntrica e individualista, reivindica uma ética ecológica “forte” e o reconhecimento, não de novos direitos e deveres dos homens em relação ao meio ambiente, mas de novos direitos do próprio meio-ambiente (LEIS, 1998). Essa abordagem inspirou a formação de inúmeras organizações ecologistas não-governamentais e nela inscrevem-se desde “matizes suaves” do movimento conservacionista às posições fundamentalistas da *deep ecology* (LIMA, 1997). A vertente “delta”, por sua vez, pressupõe uma ética inspirada na fraternidade e na igualdade, aplicada tanto à sociedade quanto à natureza:

²⁶ O autor utiliza o termo “comunitarista”.

‘Delta’ é uma vertente fortemente espiritualizada, muito próxima de uma cosmovisão pré-moderna (...). ‘Delta’ se inscreve mais dentro das tradições religiosas ou filosóficas do que na ciência, porque define valores e comportamentos próprios de uma concepção finalista (teleológica) (...). Embora o ambientalismo de ‘delta’ possa alcançar alguma expressividade através de concepções e práticas monásticas e/ou de vida comunitária, certamente esta vertente tem poucas condições de projetar-se de forma significativa dentro do contexto civilizatório atual” (LEIS, 1998, s/p).

O autor defende que a vertente “delta” tem maiores possibilidades de realização nos países em desenvolvimento que nos países desenvolvidos, não só pelo vínculo que naqueles se estabelece entre problemas sociais e ambientais, mas também pela maior religiosidade e demanda por justiça social por parte de suas populações. A vertente “alfa” se beneficia de uma maior legitimidade aparente, proveniente do realismo e do positivismo dominantes no campo das ciências, ainda que as vertentes “beta” e “gama” também encontrem na ciência argumentos válidos de apoio, especialmente ao recorrerem a novos paradigmas científicos ou propostas transdisciplinares. “Delta”, portanto, seria a única dentre as quatro vertentes cujos alicerces teóricos encontram-se fora da epistemologia moderna (LEIS, 1998).

Uma outra leitura da diversidade ideológica do movimento ambientalista, apresentada ainda na década de 1970 por Timothy O’Riordan, reconhece duas visões de mundo divergentes, uma *ecocêntrica*, que fundamenta suas propostas na noção de ecossistema, e uma *tecnocêntrica*, que se mostra otimista quanto à capacidade do progresso tecnológico de encontrar soluções para os problemas ecológicos (ALMINO, 1993)²⁷.

Orr retoma essa dualidade em termos de “sustentabilidade ecológica” e “sustentabilidade tecnológica”. As duas abordagens têm pontos importantes em comum - incluindo a consciência da escala global da crise ambiental, mas abarcam duas visões muito diferentes do que seja uma sociedade sustentável. A sustentabilidade ecológica impõe a “tarefa de encontrar alternativas para as práticas que nos colocaram em dificuldade lá atrás; é necessário **repensar** a agricultura, o abrigo, o uso de energia, o desenho urbano, o transporte,

²⁷ Almino remete a O’RIORDAN, Timothy. Environmental ideologies. In: *Environment and planning, A*, vol. 9, p. 3-14, 1977. O tema teria sido retomado pelo autor em diversas publicações desde então. Em artigo de 1989, O’Riordan divide os ecocêntricos em “gaianistas” (“filosofia ecológica radical”) e comunalistas (“fé nas capacidades cooperativas das sociedade de estabelecer comunidades auto-suficientes baseadas no uso de recursos renováveis e em tecnologias apropriadas”), e os tecnocêntricos entre acomodacionistas (“fé na adaptabilidade das instituições e das abordagens de avaliação e valoração para acomodar as demandas ambientais”) e intervencionistas (“fé na aplicação da ciência, das forças de mercado e da engenhosidade gerencial”). (LACEY, s/d)

a economia [...], a importância da natureza e **nossos valores centrais**” (ORR apud VAN DER RYN; COWAN, 1996, p. 5, tradução nossa, grifo nosso), enquanto para a sustentabilidade tecnológica, todos os problemas encontram ou uma resposta tecnológica ou uma solução de mercado, não havendo dilemas a serem superados. Embora ambas encontrem na ciência argumentos válidos de apoio, Orr afirma que “uma das razões pelas quais a sustentabilidade tecnológica se mostra atraente é que ela parece adequar-se bem às estruturas existentes de poder” (op.cit).

2.2 A institucionalização da problemática ambiental e o conceito de desenvolvimento sustentável

O movimento ambientalista emergiu nos países centrais entre o final da década de 1960 e o começo da década de 1970 a partir de duas raízes, uma nas ciências naturais e outra na economia. A cada uma corresponde uma certa perspectiva do problema, que Schnaiberg (1980) interpreta em termos de “meio ambiente como lar” e “meio ambiente como fonte de sustento”. A percepção do “meio ambiente como lar” tem sua origem na biologia e centra seu discurso no problema da preservação dos seres vivos e dos equilíbrios ecossistêmicos. A percepção do “meio ambiente como fonte de sustento” tem sua origem na ciência econômica e centra seu discurso no problema da conservação dos recursos naturais como suporte necessário para o desenvolvimento humano.

A raiz econômica do ambientalismo se manifesta em um conjunto de trabalhos publicados desde meados do século XIX. *Man and Nature, or Physical Geography as Modified by Human Action* (George Perkins Marsh, 1864) é tido com uma das primeiras expressões e uma das etapas mais importantes do processo de constituição da ideologia ecologista (ACOT, 1990). Marsh tem como principal preocupação o desmatamento predatório, considerado, em uma abordagem antropocêntrica e utilitarista, sob a perspectiva da ameaça de escassez de madeira e da degradação dos solos aráveis (FISCHER-KOWALSKI, 2003; SIMMONS, 1996); *The Coal Question* (Stanley Jevons, 1865) trata da superexploração de carvão na Grã-Bretanha (GEORGESCU-ROEGEN, 1971); *Man and the Earth* (Nathaniel Shaler, 1905) se preocupa com o consumo crescente de recursos minerais (FISCHER-KOWALSKI, 2003); *Man's Role in*

Changing the Face of the Earth (1956), anais da conferência internacional de mesmo nome, de caráter científico, expressa uma forte preocupação com a base natural limitada de uma explosiva demanda econômica por recursos minerais (FISCHER-KOWALSKI, 2003). *The Meaning of the Twentieth Century* e *The Economics of the Coming Spaceship Earth* (Kenneth E. Boulding, 1964 e 1966, respectivamente), *The Costs of Economic Growth* (Ezra J. Mishan, 1967), *On Economics as a Life Science* (Herman E. Daly, 1968) e *The Tragedy of the Commons* (Garrett Hardin, 1968), todos apontam as evidências da impossibilidade de se manter o crescimento econômico (e demográfico) ilimitadamente, seja em função da própria lógica da economia capitalista, seja em decorrência de limites externos impostos pela natureza.

No começo da década de 1970, outros três trabalhos de referência, também no âmbito da ciência econômica, envergam uma crítica ainda mais ampla, direcionada não apenas ao ritmo de crescimento da economia ou da população, mas à própria lógica econômica e tecnológica da sociedade contemporânea: *Toward a Stationary-State Economy* (Herman E. Daly, 1971) e *The Entropy Law and the Economic Process* (Nicholas Georgescu-Roegen, 1971) lançaram as bases da “economia ecológica”, enquanto *Small is Beautiful: A Study of Economics as if People Mattered* (E.F. Schumacher, 1973), permanece uma referência fundamental para o movimento da “tecnologia apropriada”.

Paralelamente à emergência de uma consciência “ambiental” a partir da preocupação com o esgotamento dos recursos naturais, desenvolveu-se uma outra, a partir da preocupação com a extinção de espécies e com a destruição dos *habitats* naturais e dos equilíbrios ecossistêmicos. A raiz biológica do ambientalismo se manifesta em trabalhos publicados e em esforços envidados também desde o século XIX, tais como o movimento preservacionista norte-americano, cujo resultado político mais significativo foi o estabelecimento de uma rede de parques nacionais pelo governo norte-americano, a partir da década de 1890 (HALL, s/d), ou a criação das sociedades de proteção à natureza, em diversos países. Desde esse período, consolidou-se a convicção da necessidade de alçar ao nível internacional o debate sobre a proteção da fauna, da flora e dos *habitats* naturais,²⁸ o que está na origem de iniciativas

²⁸ Paris sediou em 1883 a assinatura de um primeiro acordo internacional sobre a proteção das focas do Mar de Behring, em 1895 uma convenção para tratar da proteção dos pássaros benéficos à agricultura e em 1909 o Congresso Internacional para a Proteção das Paisagens (ACOT, 1990).

internacionais como a criação do Comitê Provisório para a Proteção Universal da Natureza (1910), a realização de uma reunião internacional (Berna, 1913), duas conferências internacionais (Paris, 1923 e 1932), a criação de uma agência internacional (Bruxelas, 1928), e a realização da Conferência da UNESCO em Fontainebleau (1948), que resultou na criação da *International Union for the Protection of Nature* (IUPN), denominação posteriormente alterada para *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) (ACOT, 1990). Em 1968, a UNESCO, com colaboração da IUCN e de outras entidades, realizou em Paris a Conferência da Biosfera, painel intergovernamental de peritos, sobre as bases científicas da utilização racional e da conservação dos recursos da biosfera, onde pela primeira vez os problemas ambientais foram apresentados na ONU sob sua forma moderna, ou seja, amparados na noção de ecossistema mundial e em uma abordagem antropocêntrica e utilitarista do problema da conservação na natureza viva (ACOT, 1990).

O período de aproximadamente um século entre a publicação de *Man and Nature* (1864) e os acontecimentos da década de 1960 pode ser considerado como uma proto-história do movimento ecologista. O início desse período coincide com o início da segunda revolução industrial, sendo que em suas últimas três décadas o mundo experimentou uma ininterrupta e excepcional expansão econômica, acompanhada por afluência generalizada (pelo menos nos países desenvolvidos) e confiança inexpugnável no progresso da humanidade:

A uma Era de Catástrofe, que se estendeu de 1914 até depois da Segunda Guerra Mundial, seguiram-se cerca de 25 ou trinta anos de extraordinário crescimento econômico e transformação social, anos que provavelmente mudaram de maneira mais profunda a sociedade humana que qualquer outro período de brevidade comparável. Retrospectivamente, podemos ver esse período como uma espécie de Era de Ouro, e assim ele foi visto quase imediatamente depois que acabou, no início da década de 1970 (HOBSBAWN, 2003, p. 15).

Alguns dados podem ser úteis como indicadores da magnitude das transformações materiais ocorridas nessa “Era de Ouro” do século XX. Entre o início da década de 1950 e o início da de 1970, a produção mundial de manufaturas quadruplicou e o comércio mundial de produtos manufaturados decuplicou-se, enquanto a população e a produção agrícola mundiais aumentaram com velocidade inédita e a patamares inéditos na história (HOBSBAWN,

2003).²⁹ Nos países centrais, essas estatísticas se traduziram em uma mudança radical nos padrões de consumo e no estilo de vida da maior parte da população: “bens e serviços antes restritos a minorias eram agora produzidos para um mercado de massa [...] era agora possível ao cidadão médio desses países viver como só os muito ricos tinham vivido no tempo de seus pais – a não ser, é claro, pela mecanização que substituíra os criados pessoais” (HOBBSWAN, 2003, p. 259). O autor chama ainda a atenção para a extensão em que o crescimento econômico parecia impulsionado pela revolução tecnológica e, nessa medida, se multiplicaram não apenas os produtos aprimorados por novas tecnologias como também outros, inteiramente sem precedentes, muitos dos quais eram inimagináveis antes da segunda guerra mundial, a exemplo dos plásticos, da televisão, da gravação em fita magnética, da comida desidratada congelada, entre outros.

Sob a perspectiva do início do século XXI, espanta a extensão do impacto sobre o meio ambiente que se pode esperar de um surto econômico de tal magnitude, em especial considerando-se que essa excepcional expansão da indústria, das cidades, dos transportes e do conforto humano foi baseada quase que totalmente na combustão de petróleo, carvão e gás natural, que entre os subprodutos e produtos intermediários da indústria listava-se uma quantidade crescente de novas substâncias tóxicas e que, em geral, a sociedade estava alheia aos possíveis problemas daí decorrentes. Como observa Hobsbawn (2003, p. 257):

Mal se notava ainda um subproduto dessa extraordinária explosão, embora em retrospecto ele já parecesse ameaçador: a poluição e a deterioração ecológica. Durante a Era de Ouro, isso chamou pouca atenção, a não ser de entusiastas da vida silvestre e outros protetores de raridades humanas e naturais, porque a ideologia de progresso dominante tinha como certo que o crescente domínio da natureza pelo homem era a medida mesma do avanço da humanidade.

Nesse contexto, o ano de 1972 constitui um marco fundamental na história do movimento ambientalista devido a dois acontecimentos: a publicação do relatório “Limites do Crescimento” e a realização da Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo. “Limites do Crescimento”, também conhecido como “Relatório Meadows”, foi elaborado a partir de um modelo computacional de

²⁹ Embora a Era de Ouro tenha sido um fenômeno mundial, a riqueza geral jamais chegou à vista da maioria da população do mundo. Nesse aspecto, a Era de Ouro “pertenceu especialmente aos países capitalistas desenvolvidos, que, por todas essas décadas, representaram cerca de três quartos da produção do mundo, e mais de 80% de suas exportações manufaturadas” (HOBBSAWM, 2003, p. 255).

representação do mundo, a partir do qual, considerando-se 5 variáveis em suas séries históricas desde 1900 (população, produção agrícola, recursos naturais, produção industrial e poluição), foram elaborados diferentes cenários para futuro da humanidade. Meadows et al. (1972) concluíram que, mantidas as tendências correntes, o sistema econômico mundial entraria em colapso antes do ano 2050 e propuseram, como alternativa, o modelo econômico denominado “crescimento zero”, ou “estado de equilíbrio”, caracterizado não como a estagnação econômica e social, mas como o florescimento das atividades que não envolvem consumo material: instrução, arte, música, religião, educação, saúde, pesquisas científicas fundamentais, atletismo, interações sociais, entre outros.³⁰

“Limites do Crescimento” teve ampla repercussão no meio político, no meio acadêmico, e na opinião pública em geral, pelo menos nos países centrais. Para tanto contribuiu o estilo do livro, que trazia muitas tabelas de cruzamentos computadorizados e gráficos que mostravam de forma dramática os cenários apresentados, e se beneficiava do “ar de conhecimento superior e mistério” que os computadores aparentemente tinham na época (MOLL, 1991 apud NOBRE, 2002, p.30). Por outro lado, a primeira crise do petróleo, que no ano seguinte ao da publicação marcou o final de três décadas de crescimento ininterrupto da economia mundial, parecia confirmar as projeções do relatório, de forma que suas teses “passaram a ser levadas pela imprensa escrita e audiovisual européia para o centro de todos os grandes debates econômicos” (ACOT, 1992, p.172). Essas teses foram imediatamente rechaçadas pela ciência econômica ortodoxa, pelos marxistas e também pelos países periféricos. Robert Solow, Prêmio Nobel de Economia (1987), por exemplo, qualificou a postura do Relatório Meadows de “síndrome do juízo final” (NOBRE, 2002, p. 32), enquanto a Comissão Internacional Oi, representando a posição dos países periféricos, se manifestou nos seguintes termos:

³⁰ O “estado de equilíbrio” não garantiria a justa distribuição da riqueza, mas a tornaria mais provável que em um sistema de crescimento contínuo. Nesse sentido, o relatório entende que, se aos países desenvolvidos urge frear imediatamente o “metabolismo” da economia, os países em desenvolvimento devem se permitir ainda um período de crescimento econômico a fim de alcançar um patamar suficiente de qualidade de vida para as suas populações. Em termos quantitativos, esse “modelo mundial estabilizado” tem uma população mundial ligeiramente superior à de 1972, o dobro da produção mundial *per capita* de alimentos e o triplo da produção industrial e de serviços, sendo a renda mundial *per capita* três vezes superior, o que equivale à renda *per capita* européia e a metade da renda *per capita* norte-americana no período (MEADOWS *et al.*, 1972).

Rejeitamos vigorosamente modelos de estagnação preparados por certos alarmistas ocidentais, ecológicos, industrializados e fãs de computador; e afirmamos que considerar a manutenção do crescimento econômico como per se responsável por males ambientais equivale a um diversionismo que desvia a atenção das reais causas do problema, que repousam na motivação para o lucro dos sistemas de produção no mundo capitalista. De forma similar, afirmamos que o nível de consumo (a afluência) per se não é causa dos problemas ambientais (apud NOBRE, 2002, p. 34).

Esse debate marcou a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, cujas discussões acabaram por colocar a problemática ecológica em termos de um embate do meio ambiente contra o crescimento econômico, impasse que dominou o debate durante toda a década de 1970. Em outras palavras, à problemática ecológica foi atribuído um sentido fortemente político, na medida em que os problemas ambientais haviam sido vinculados aos grandes problemas estruturais de ordem econômica e social (NOBRE, 2002).

Essa perspectiva transparece, por exemplo, na Declaração de Cocoyoc (1974), segundo a qual “os enormes contrastes entre o consumo *per capita* da minoria rica e o da maioria pobre tem um efeito muito maior sobre o uso e o esgotamento de recursos que os números relativos de ambas” (UNEP/UNCTAD, 1974, s/p, tradução nossa), e no Relatório Dag Hammarskjöld (1975), o qual constata que “[...] no nível global, não são nem os pobres, nem a satisfação de suas necessidades que estão ameaçando os limites externos, mas a monopolização e o uso inadequado dos recursos por uma minoria”, e advoga um novo modelo de desenvolvimento apoiado na democratização do poder e na propriedade dos meios de produção pelos produtores (DAG HAMMARSKJÖLD FOUNDATION, 1975, p. 36, tradução nossa).

Nesse contexto, de esforço pela institucionalização da problemática ambiental em um cenário de dissensão, e de resistência à idéia de “crescimento zero”, emergiu o conceito de “ecodesenvolvimento”.³¹ Trata-se de um estilo de desenvolvimento comprometido concomitantemente com a equidade social, a viabilidade econômica e a sustentabilidade ecológica, que não abandona o crescimento econômico, mas o subordina à finalidade de, antes de tudo, eliminar a pobreza absoluta e garantir o mínimo necessário para todos

³¹ O termo “ecodesenvolvimento” teria sido apresentado pela primeira vez por Maurice Strong, em 1974, na primeira sessão do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), sendo as definições elaboradas e divulgadas por Ignacy Sachs consideradas pela literatura como referência para a compreensão do conceito.

(FONTOURA; BRAUN; FREITAS, 2004). Para tanto, implica em uma revisão das estruturas econômicas do cotidiano, conformadas pela interação entre mercados formais e informais - do Estado à economia familiar, e das formas de articulação dos “espaços do desenvolvimento” - do local ao transnacional (TAMBOSI FILHO, 1997).

O ecodesenvolvimento rechaça a dependência cultural e técnica, e tem como alicerce o enlace entre a autonomia das populações locais e a adequação da atividade econômica às potencialidades e à capacidade de suporte dos ecossistemas locais, sendo definido como “[...] um tipo de desenvolvimento em que cada ecorregião insiste nas soluções específicas de seus problemas particulares, levando em consideração os dados ecológicos e culturais locais, as necessidades imediatas e aquelas a longo prazo [sic]” (FONTOURA; BRAUN; FREITAS, 2004, p. 12). Essa autonomia local baseada na conservação da estrutura produtiva dos recursos naturais renováveis e no uso parcimonioso dos não renováveis envolve a redução das escalas de produção, o reconhecimento do fenômeno da diversidade, a valorização do saber fazer e da criatividade das comunidades locais e a implantação de um sistema de educação capaz de gerar os conhecimentos necessários para a gestão racional dos ecossistemas locais (PIERRI, 2005).

Sob a influência de “Limites do Crescimento” e da Conferência de Estocolmo, da Declaração de Cocoyoc, do Relatório Dag Hammarskjöld e do conceito de ecodesenvolvimento, o debate ambiental na década de 1970 foi dominado pela perspectiva de que a manutenção da ordem econômica vigente é incompatível com a preservação dos equilíbrios ecológicos (NOBRE, 2002; SOUZA, 2000). Uma perspectiva de mudança desse quadro se coloca no começo da década de 1980, com o lançamento da *World Conservation Strategy* (WCS), em 1980, documento elaborado com o objetivo de colaborar para o avanço da conquista do “desenvolvimento sustentável”, por meio da conservação dos recursos naturais vivos (HARDING, 2006, p. 232).³² O documento apresentou a primeira estratégia abrangente para

³² A WCS, lançada pela IUCN, PNUMA e WWF, traz a primeira definição amplamente difundida de desenvolvimento sustentável: a ação que “obtem o maior desenvolvimento sustentável para as gerações presentes enquanto mantém seu potencial de responder às necessidades e aspirações das gerações futuras” (IUCN; UNEP; WWF, 1980 apud NOSS, 2000, p.12, tradução nossa). Uma das primeiras aparições do termo teria sido no artigo “A busca de padrões sustentáveis de desenvolvimento”, apresentado por W. Burger no Simpósio das Nações Unidas sobre as Inter-relações entre Recursos, Ambiente e Desenvolvimento, Estocolmo, 1979 (NOBRE 2002).

a conservação de espécies selvagens e de *habitats* naturais (NOBRE, 2002), na qual é central a integração dos objetivos de proteção ambiental ao processo de desenvolvimento econômico (EDWARDS, 1995).

De acordo com Nobre (2002), subjacente a seu conteúdo técnico, a WCS realizou uma operação de caráter político que consistiu em retirar de foco a questão dos padrões de produção e do superconsumo dos países centrais, reforçar a pobreza nos países periféricos como causa de degradação ambiental, e admitir a possibilidade de se conciliar proteção ao meio ambiente e crescimento econômico. Em outras palavras, o mérito da WCS, relativamente ao processo de institucionalização da problemática ambiental, reside em que, ao esquivar-se do vínculo entre a questão ecológica e os grandes problemas estruturais de ordem econômica e política, o documento teria aberto um espaço de superação do embate de soma zero entre desenvolvimento econômico e meio-ambiente (NOBRE, 2002).

Essa atitude teria se consolidado na Sessão Especial do PNUMA em Nairobi (1982), a qual decidiu pela criação de uma Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, com o objetivo de formular uma “agenda global de mudança”, um conjunto de propostas de estratégias de longo prazo que permitissem alcançar o desenvolvimento sustentável por volta do ano 2000 (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987). O relatório final dos trabalhos da comissão, intitulado “Nosso Futuro Comum”,³³ também conhecido como Relatório Brundtland, teve um papel importante na difusão do termo “desenvolvimento sustentável”, sendo a definição apresentada no documento a mais amplamente difundida na literatura: desenvolvimento sustentável é aquele capaz de “responder às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de responderem a suas próprias necessidades” (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987, p. 8, tradução nossa). Essa definição é flexível o suficiente para haver permitido sua aceitação por diferentes visões de mundo. Por outro lado, o Relatório tomava posições claras em relação a alguns aspectos do problema: advogava o crescimento econômico, confiava no progresso tecnológico, atribuía muito mais peso à pobreza dos países

³³ *Our Common Future*, no original em inglês.

subdesenvolvidos que ao superconsumo dos países desenvolvidos como fatores de desequilíbrio ecológico:

O conceito de desenvolvimento sustentável implica limites – não limites absolutos, mas limitações impostas pelo estado atual da tecnologia e da organização social sobre os recursos naturais e pela capacidade da biosfera de absorver os efeitos das atividades humanas. Mas tecnologia e organização social poderão ambas ser administradas e aprimoradas para abrir o caminho para uma nova era de crescimento econômico [... Por outro lado] um mundo no qual a pobreza é endêmica sempre tenderá a catástrofes ecológicas e de outros tipos (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987, p. 8, tradução nossa).

O Relatório Brundtland e o conceito de desenvolvimento sustentável encontram críticas severas dentro do movimento ambientalista. O’Riordan afirma que “a enganosa simplicidade do termo e seu significado aparentemente manifesto ajudaram a estender uma cortina de fumaça sobre sua inerente ambigüidade” (apud NAREDO, 1996, tradução nossa). Leff entende, por sua vez, ambivalência do discurso da sustentabilidade tem sua origem na polissemia da palavra *sustainability*, que abarca dois significados, “um, traduzível como *sustentável*, que implica a internacionalização das condições ecológicas de suporte do processo econômico; outro, que diz respeito à durabilidade do processo econômico mesmo. Nesse sentido, a sustentabilidade ecológica se constitui em uma condição da sustentabilidade do processo econômico” (2000, p. 21).

Para Leff (2000, p. 20), “Nosso futuro comum” se equivoca ao buscar um terreno comum onde se possa supostamente estabelecer uma política de consenso “capaz de dissolver as diferentes visões e interesses de países, povos e classes sociais, que plasmam o campo conflituoso do desenvolvimento”.

A definição de desenvolvimento sustentável apresentada pela Comissão Brundtland pode ser compreendida, no entanto, como uma estratégia de conciliação entre “desenvolvimentistas” e “ambientalistas” (O’Riordan apud NAREDO, 1996; NOBRE, 2002). Seu maior mérito, portanto, consistiu em estabelecer uma arena ampla de discussão. O termo *desenvolvimento sustentável* teria sido propositalmente apresentado desprovido de um sentido preciso, de forma que esse sentido pudesse ser atribuído na discussão ampla que se seguisse, e essa discussão encontrou seu ambiente mais privilegiado na Conferência das Nações

Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), realizada no Rio de Janeiro em 1992 (NOBRE, 2002).

Uma análise do contexto internacional, do conteúdo dos debates e dos resultados do evento como um todo escapam ao escopo do presente trabalho. Seguindo a argumentação de **Nobre** (2002), no entanto, os debates da conferência e o jogo diplomático subjacente podem ser interpretados como uma disputa pelo estabelecimento do sentido teórico e prático do desenvolvimento sustentável e dos mecanismos para sua operacionalização. Foram três as principais propostas em disputa, na interpretação do autor: a) do Pnuma e da secretaria executiva da UNCED, com apoio de países em desenvolvimento e de algumas ONGs importantes; b) do G-77 e China; c) dos países desenvolvidos, também chamados de países doadores, uma vez que um dos temas mais polêmicos do debate era a transferência de recursos e tecnologia em direção aos países “do sul”. Esta última proposta foi amplamente vitoriosa, e seu conteúdo foi em grande parte definidor do quadro institucional que desde então dita o sentido “oficial” de desenvolvimento sustentável e estrutura o debate sobre meio ambiente e a ação para a sustentabilidade na arena política internacional.

Um elemento estruturante desse novo quadro institucional foi a cisão da discussão ambiental - no que diz respeito à agenda política internacional - em dois campos distintos: de um lado a negociação de acordos ambientais globais; do outro, as negociações relativas à implementação de projetos de desenvolvimento sustentável de âmbito nacional (Agenda 21). Ainda segundo **Nobre** (2002), os acordos ambientais globais tendem a ser pontuais, mesmo se o tema tratado tem alcance global. Quanto aos projetos de desenvolvimento sustentável de âmbito nacional, o Banco Mundial, por meio de sua influência na *Global Environmental Facility* - GEF, adquire hegemonia na definição de critérios para o financiamento internacional das políticas ambientais nacionais ou locais reunidas sob o rótulo de desenvolvimento sustentável. Como consequência, a noção de desenvolvimento sustentável perdeu o “caráter totalizante que a marcou desde o seu nascimento”, ou seja, a característica de elemento de concatenação e direção de múltiplas ações entrecruzadas. (NOBRE, 2002, p.67). Sob uma perspectiva ainda mais crítica, a noção de desenvolvimento sustentável consolidada e legitimada pela Rio-92 não nada além de “um pouco de mais de

desenvolvimento, um pouco mais de proteção ao meio ambiente” (MESSNER, 1993 apud NOBRE, 2002, p. 66).

Em consonância com o sentido geral das observações de Messner e Nobre, Jordan acrescenta que, a partir do início da década de 1990 o debate entre meio-ambiente e desenvolvimento pode ser descrito nos seguintes termos:

Para os países em desenvolvimento do Sul, a demanda imediata é pela mitigação da pobreza, pela segurança alimentar e por crescimento no sentido moderno. Se restrições ambientais se impõe a tal caminho de crescimento modernizado, então o Sul sente dispor da justificação moral e política para solicitar alguma forma de compensação do Norte, seja acesso a nova tecnologia ou a recursos financeiros. Entrementes, no Norte, sustentabilidade é quase exclusivamente interpretada como uma forma pós-moderna de gestão ambiental que diz respeito à necessidade de introduzir as mudanças tecnológicas apropriadas para afastar a ameaça da mudança ambiental global, mas não se questionam as premissas filosóficas e os valores fundamentais de uma sociedade moderna industrializada. (apud NOBRE, 2002:63)

Capítulo 3

A questão da energia

3.1 A questão da energia

As principais fontes primárias da energia que movimenta a economia europeia são o petróleo (41%), o gás natural (22%), o carvão ³⁴ (16%) e a fissão nuclear (15%). As demais fontes (hidroelétrica, solar, eólica e outras renováveis), reunidas, respondem por apenas 6% da matriz energética (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001: 25). A produção em grande escala de energia a partir de combustíveis fósseis - petróleo, gás natural e carvão - somando quase 80% do total produzido - engendra problemas ambientais de dois tipos: por um lado, o consumo de recursos naturais exauríveis, e por outro a emissão de substâncias tóxicas que são tidas como as principais responsáveis pela mudança climática global, pela chuva ácida e por diversos problemas de poluição em escala local.

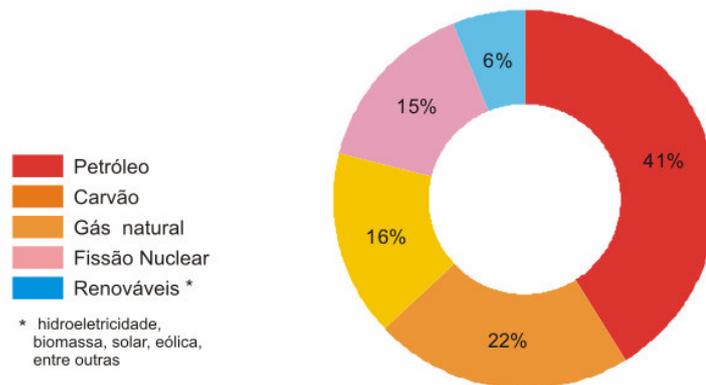


Gráfico 3.1 Consumo bruto percentual de energia por fonte primária. União Europeia (EU-15), 1998. Os combustíveis fósseis somam quase 80% do consumo total. Fonte: adaptado de COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001.

Mesmo com a dimensão política que o Protocolo de Kyoto conferiu às metas de redução das emissões de gases do efeito estufa, não se pode atribuir apenas aos aspectos ambientais a preocupação dos países europeus com sua dependência em relação aos combustíveis fósseis. Observam-se, pelo menos, outros dois fatores críticos: por um lado, o quadro geopolítico da produção de petróleo, gás natural e carvão ³⁵ e, por outro, as previsões de esgotamento de suas reservas naturais. Entre as propostas para enfrentamento desse quadro, duas estratégias

³⁴ Carvão mineral.

³⁵ A União Europeia importa 50% da energia que consome, e mantida a tendência atual, esse valor pode chegar a 70% em 2030 (PIEBALGS, 2006).

parecem especialmente recorrentes: a ampliação da utilização de fontes renováveis não poluentes e a redução da demanda mediante o aumento da eficiência energética. Estas são as bases, a propósito, do paradigma energético que Lovins (1976) denominou *energy soft path*, em contraposição ao *energy hard path*, baseado nos combustíveis fósseis e na geração de eletricidade centralizada em usinas de grande porte.

A União Européia tem atuado intensamente em relação à questão energética. Desde 1994, a Comissão Européia – CE publicou três livros verdes (1995, 2000 e 2006) e um livro branco (1995) sobre o assunto.³⁶ Ao longo desse período, a CE manteve, em linhas gerais, a defesa de uma política energética voltada para a segurança do provisionamento de energia, compromissada com as questões da sustentabilidade ambiental e indutora da consolidação de um mercado de energia em escala européia, aberto e concorrencial. No âmbito dos dois primeiros objetivos, a eficiência energética e as energias renováveis são apontadas como instrumentos imprescindíveis (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 1995, 2001, 2006b).

No livro verde intitulado *For a European Union Energy Policy*, por exemplo, a Comissão Européia postula que “as autoridades públicas européias têm o dever de promover a eficiência energética, não apenas porque ela contribui para a proteção ao meio ambiente, mas, mais especificamente, porque ela constitui a *única resposta consensual* ao desafio da dependência energética” (1995, p. 38, tradução nossa, grifo nosso). Pouco mais de uma década depois, no livro verde “Estratégia européia para uma energia sustentável, competitiva e segura”, a instituição reafirma:

A acção no domínio das *energias renováveis* e da *eficiência energética*, para além de combater as alterações climáticas, contribuirá para a segurança do aprovisionamento energético e ajudará a limitar a crescente dependência comunitária da energia importada. Poderia também criar numerosos empregos altamente qualificados na Europa e manter a liderança européia num setor global em rápido crescimento” (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2006b, p.11, tradução nossa, grifo nosso).

³⁶ Os “livros verdes” (*green papers*) são documentos publicados pela Comissão Européia sobre uma área específica de atuação e submetidos a um processo público de consulta e debate. Os “livros brancos” (*white papers*) são lançados depois de considerado amadurecido o debate sobre um dado tema, e contêm diretrizes norteadoras da ação dos estados membros.

Uma evidência do comprometimento estratégico efetivo da União Europeia com a promoção da eficiência energética e das energias renováveis, que confirma a centralidade desses dois temas para a política energética europeia, são os investimentos da CE em pesquisa, desenvolvimento e difusão tecnológica no setor. Runci (1999) observa que a energia constitui a área individual com maior volume de investimento desde o início das pesquisas conjuntas da Comunidade Europeia, na década de 1970, tendo chegado a responder por 70% do orçamento em 1978. Do Programa-quadro I (1984 a 1987) ao IV (1998 a 2002), esse autor identifica duas tendências: primeiramente, a queda na participação das pesquisas em energia (de 50% para 14% do orçamento do programa), acompanhada, no entanto, de aumento do valor investido (de US \$1,7 bilhões para US \$2,1 bilhões); em segundo lugar, uma mudança no perfil do conjunto de projetos de pesquisa apoiados, com redução significativa da participação de pesquisas relacionadas à energia nuclear e aumento da participação da eficiência energética (3% para 12%, ao longo da década de 1990) e das energias renováveis (maior fração individual do orçamento de P&D em energia: 14%).

Os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia na União Europeia, sendo que a tendência é o aumento contínuo tanto de seu valor absoluto quanto de sua participação no consumo total (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001). Os edifícios são responsáveis por $\frac{1}{3}$ do consumo de gás natural e por $\frac{1}{4}$ do consumo de petróleo da União Europeia, sendo que o gás natural atende a 40% da demanda de energia das edificações e o petróleo a outros 25% (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001b).

No que diz respeito ao impacto ambiental associado ao consumo energético, embora não se tenha tido acesso a dados específicos para a Europa, em termos mundiais, os edifícios respondem por 15% das emissões de gases do efeito estufa, dos quais 65% são atribuídas aos edifícios residenciais e 35% aos comerciais (BAUMERT *et al.*, 2005).

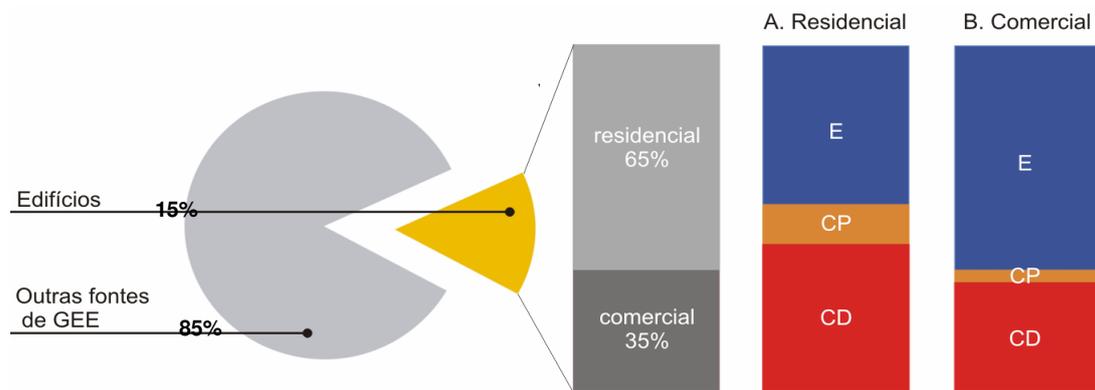


Gráfico 3.2 Emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes do uso de edifícios. E = Rede pública de eletricidade; CP = Rede pública de calefação; CD = Consumo direto de combustível. Fonte: BAUMERT *et al.*, 2005.

Em resumo, no contexto europeu, a questão do consumo de energia nos edifícios é um dos alvos prioritários de uma política mais abrangente, cuja premência é atribuída a dois fatores, um de ordem ambiental e outro de ordem econômica: respectivamente a ameaça de mudança climática global e a elevada dependência da economia europeia em relação a recursos energéticos externos. Ao problema da mudança climática global propriamente dito, somam-se as pressões políticas decorrentes dos compromissos internacionais de redução das emissões de CO₂ decorrentes do Protocolo de Kyoto. Nesse contexto, a arquitetura europeia foi convocada a desenvolver novas práticas de projeto e de construção com o objetivo de, por um lado, reduzir a demanda de energia dos edifícios e, do outro, reduzir sua dependência em relação às fontes convencionais de energia, ou, do ponto de vista da problemática ambiental, de direcionar a demanda de energia para aquelas fontes de menor carga ambiental, entre as opções possíveis.

A maior parte da energia utilizada nos edifícios residenciais europeus é utilizada para calefação, ar condicionado e aquecimento de água, somando 89% do total. Nos demais edifícios, a esses três usos finais acrescentam-se os gastos com iluminação para totalizar 79% do consumo energético (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001b). Rogers (1964), utilizando um recorte diferente, contabiliza que nos edifícios considerados em conjunto, 75% da energia consumida é utilizada com iluminação, calefação, ar condicionado e ventilação mecânica, sendo os 25% restantes utilizados por equipamentos e aparelhos

eletro-eletrônicos. Ou seja, $\frac{3}{4}$ da energia consumida nos edifícios - 30% do total da energia consumida na Europa – são utilizados para aquecer, resfriar e iluminar os espaços edificados, ou seja, para assegurar condições de conforto ambiental no interior dos edifícios. Essa constatação tem implicações teóricas importantes para a arquitetura, pois, afinal, remonta, pelo menos até Vitrúvio, a tradição que atribui a origem teleológica da arquitetura à necessidade do homem de proteger-se das intempéries - prover calor no frio, frescor no verão, um lugar seco na chuva.³⁷

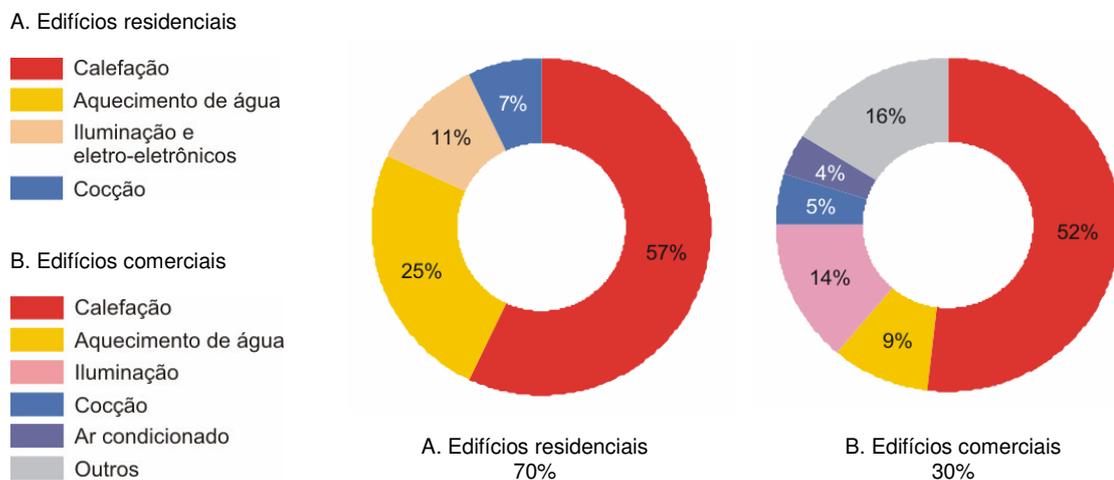


Gráfico 3.3 Consumo de energia nos edifícios europeus, por uso final. Fonte: modificado de COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2001b.

Esquemáticamente, a problema da relação entre clima, arquitetura e energia, em perspectiva histórica, pode ser elaborado nos seguintes termos: as condições climáticas variam ao longo da superfície terrestre e oscilam ciclicamente ao longo das horas do dia e ao longo das estações do ano; o ser humano, em seus atributos tanto estritamente biológicos quanto culturais, pode sobreviver e sentir-se confortável dentro de uma amplitude de condições climáticas, que, no entanto, é mais restrita que aquela experimentada na extensão da superfície do planeta ou ao longo dos ciclos naturais do tempo; ao longo de sua história, a humanidade desenvolveu todo um aparato com o objetivo de modificar as condições

³⁷ “No primeiro capítulo do livro II, Vitruvius apresenta a teoria das origens da arquitetura, cuja primeira motivação a seu ver é a proteção do homem contra os elementos” (KRUFT, 1994, p.23).

ambientes, criando condições climáticas artificiais aceitáveis; entre esses instrumentos que constituem esse aparato estão os edifícios. Ao longo de sua história, a humanidade desenvolveu em seus edifícios um vasto conjunto de soluções técnicas para o problema, mas a revolução industrial estabeleceu uma ruptura histórica com todo o variado acervo técnico pré-existente, possibilitando e promovendo a disseminação de um conjunto de soluções técnicas que, no entanto, a partir de meados do século XX, passaram a ser consideradas insustentáveis do ponto de vista tanto econômico quanto ecológico.

No sentido de compreender conceitualmente essa ruptura, e suas implicações para a arquitetura, Banham (1969) recorre a dois conceitos unificadores: *energia* e *estrutura*. O autor defende que esses são os dois tipos de solução tecnológica para o enfrentamento das adversidades climáticas. Para esse autor, a raça humana sempre soube, por experiência, que a estrutura, por si só, não é suficiente:

Uma estrutura adequada pode manter a pessoa refrescada no verão, mas nenhuma estrutura é capaz de mantê-la mais aquecida em temperaturas abaixo de zero. Uma estrutura adequada pode protegê-la da ofuscante luz do sol, mas não pode ajudá-la a ver após o anoitecer (1969, p. 21, tradução nossa).

Por esse motivo, sempre se consumiu energia nos edifícios durante alguma parte do ano ou do dia: lareiras no inverno, candeeiros à noite, leques e abanadores no verão. Ambos sempre estiveram presentes, mas a arquitetura sempre esteve associada às soluções estruturais, à dimensão tectônica do edifício, tanto técnica quanto simbolicamente. Com a revolução industrial, embora a arquitetura tenha continuado simbolicamente associada a sua dimensão “estrutural”, em termos operacionais a função de condicionamento climático passou a ser primariamente confiada a soluções baseadas em energia. O “divisor de águas” teria sido uma “revolução na tecnologia ambiental”, cujo ponto crítico foi o ano de 1882, ano da “domesticação da energia elétrica” (BANHAM, 1969).

Foi do processo histórico de transformações tecnológicas e sociais associadas à revolução industrial (e à sociedade de consumo), portanto, que emergiu o quadro vigente: um consumo anual *per capita* de cerca de oito toneladas de equivalente petróleo³⁸ nos Estados Unidos e

³⁸ Tonelada de equivalente petróleo (TEP) é uma unidade de medida de energia: 1 TEP equivale convencionalmente à energia obtida com a combustão de 1 m³ de petróleo.

quatro na União Européia (diante de meia tonelada equivalente na Índia, uma no Brasil e Turquia e uma e meia no México), sendo que desse montante, até 40% são utilizados para aquecer, esfriar e iluminar edifícios (BAUMERT *et al.*, 2005). Esse valor expressa, em grande medida, as conseqüências da prática arquitetônica convencional na atualidade, onde a definição da configuração arquitetônica se dá à revelia do impacto das decisões de projeto sobre o comportamento térmico do edifício, partindo-se da premissa que, em um momento posterior, a engenharia se ocupa de garantir as condições de conforto por meio do dimensionamento adequado dos sistemas mecânicos de climatização.

A mudança fundamental imbuída no discurso e nas experiências da arquitetura sustentável, em relação à questão da energia, é uma nova abordagem de projeto, que tem o problema da relação entre o clima, o edifício e o consumo de energia como um dos condicionantes das soluções arquitetônicas. Posto o problema, a abordagem da arquitetura sustentável européia é pragmática, não pretendendo prescindir das soluções ativas, ou seja, dos sistemas mecânicos de iluminação e climatização, e sim chegar a uma solução de projeto que pareça equilibrada dentro das limitações orçamentárias e programáticas, do contexto das tecnologias disponíveis e dos costumes vigentes. A abordagem de projeto da arquitetura sustentável frente à questão da energia se traduz em uma hierarquia clara de prioridades: aumentar a eficiência energética da edificação, em primeiro lugar, tirando o máximo proveito das soluções passivas, e em segundo lugar, maximizando a eficiência das soluções ativas que se fizerem necessárias; e promover o uso de fontes renováveis de energia por meio da micro-geração de eletricidade e calor à escala de consumo do edifício ou da vizinhança (BAKER; STEEMERS, 2000; BODE, 2002; CIB, 1999; GAUZIN-MÜLLER, 2002).

Em tese, com a redução do consumo e a oferta de energia renovável obtidos por meio dessas medidas, os edifícios podem reduzir consideravelmente o consumo de energia proveniente de fontes convencionais, o que, no contexto europeu, corresponde sobretudo a combustíveis fósseis e fissão nuclear (figura 3.1). No limite, o edifício pode tornar-se auto-suficiente em relação a suas necessidades energéticas e passar a fornecer energia para a rede de distribuição, ao invés de alimentar-se dela.

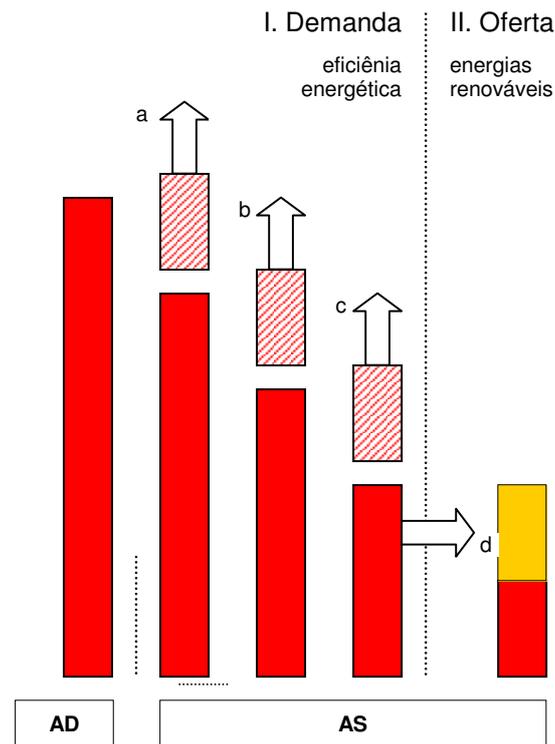


Figura 3.1 Abordagem da arquitetura sustentável em relação à questão da energia

AD - arquitetura "convencional";

AS - arquitetura sustentável;

a - estratégias passivas de condicionamento ambiental (projeto de arquitetura);

b - eficiência energética dos sistemas mecânicos de condicionamento ambiental (projeto e operação dos sistemas instalados);

c - comportamento dos ocupantes

d - micro-geração *in situ* de energia a partir de fontes renováveis (eólica, fotovoltaica, térmica solar, etc);

demanda de energia suprida por fontes convencionais

demanda de energia suprida por fontes renováveis não poluidoras

Fonte: autor, a partir de BAKER; STEEMERS, 2000; BODE, 2002; CIB, 1999; GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Na física e na engenharia, a eficiência energética de um processo é a razão entre a quantidade de trabalho útil realizado nesse processo e a quantidade de energia fornecida, ou, em outras palavras, o percentual da energia fornecida que é efetivamente aproveitada. Na economia, eficiência energética refere-se à relação entre a produção obtida e a energia fornecida. Aumentar a eficiência energética significa obter melhores resultados a partir da mesma quantidade de energia, ou manter os mesmos resultados com uma redução no consumo energético. Nesse sentido, aumentar a eficiência energética dos edifícios pode ser entendido

como manter ou aprimorar os parâmetros de conforto, comodidade e saúde dos ocupantes, reduzindo, ao mesmo tempo, a quantidade de energia necessária para tanto.

O potencial de ganhos de eficiência energética nas edificações é significativo. Em um estudo comparativo com edifícios de escritório na Grã-Bretanha, por exemplo, o *Building Research Establishment* (BRE) aferiu, para o edifício de melhor desempenho energético, um consumo de energia mais de dez vezes inferior ao do edifício de pior desempenho, para condições equivalentes de conforto ambiental (BAKER; STEEMERS, 2000). Cost...(2001) aferiu ganhos de eficiência energética da mesma ordem de grandeza em edifícios residenciais na Alemanha. Para o conjunto dos países europeus (EU - 25), a Comissão Europeia estimou em 1995 que seria possível obter até 2010 uma redução de 22% no consumo de energia nos edifícios, com a adoção exclusivamente de medidas de baixo custo (JANSSEN, 2005).³⁹

A extensão dos problemas ambientais e econômicos associados à questão da energia, a magnitude do consumo de energia dos edifícios e o potencial elevado de redução desse consumo colocam a eficiência energética, no contexto europeu, como elemento central da agenda da arquitetura sustentável. No entanto, a importância do tema reside também em sua relação com a questão da saúde e do conforto, uma vez que a arquitetura convencional, além de um nível exorbitante de consumo energético, também produz edifícios com amplas áreas iluminadas artificialmente, ventiladas mecanicamente e sem nenhum contato visual com o exterior, e mantidas a uma temperatura e um nível de umidade do ar praticamente constantes ao longo dos ciclos do dia e do ano. Dessa forma, na eficiência energética do edifício, uma arquitetura mais aberta aos complexos padrões de oscilação das condições climáticas converge com um novo paradigma de conforto.

Chappels e Shove (2004), a propósito, identificam três paradigmas de conforto ambiental: o fisiológico, o adaptativo e a convenção social. O paradigma fisiológico explica o conforto em termos do processo biológico de equilíbrio térmico do organismo, e entende que as condições de conforto são universais e podem ser definidas por experiências de laboratórios. Esse é o

³⁹ A análise da CE considera como de baixo custo o investimento com prazo de retorno igual ou inferior a oito anos.

paradigma dominante na atualidade e subjacente às práticas convencionais de condicionamento mecânico dos edifícios:

Um clima interno satisfatório apresenta características surpreendentemente limitadas. Variações de cerca de 5F é tudo o que podemos aceitar [...] Note que a temperatura de 70F, freqüentemente mencionada, não é adequada para edifícios ocupados por pessoas sedentárias; uma temperatura de 73F parece mais apropriada para as pessoas em casa e em escolas, escritórios e igrejas (ROGERS, 1964, p. 4-12, tradução nossa).

O paradigma adaptativo explica o conforto em termos de processos fisiológicos e adaptação comportamental, e entende que as condições de conforto podem ser definidas por meio de pesquisas de campo, mas que não são universais. De acordo com Baker e Steemers (2000), existe um volume crescente de evidência de que as pessoas podem se sentir confortáveis em condições muito distantes daquelas estabelecidas convencionalmente:

Prover uma temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $60\% \pm 5\%$ não garante conforto (...) O conforto é uma experiência muito mais holística, dependente da interação de diversos fatores, da variabilidade e das opções que o ambiente oferece e da possibilidade do ocupante de determinar essas opções [...] (2000, p.8).

De acordo com os autores, em edifícios que adotam soluções passivas de condicionamento climático, tais como iluminação natural e ventilação natural com janelas manuseáveis, os ocupantes demonstram maiores índices de satisfação com as condições internas e maior tolerância para variações de temperatura e condições climáticas em geral, desde que lhes seja permitido associá-las a oscilações climáticas externas e não a falhas nos sistemas instalados. Dessa forma,

O conforto nos edifícios deve ser considerado como a ausência no longo prazo de valores extremos dos parâmetros de conforto ambiental, ao invés da manutenção de limites precisos e estreitos. A satisfação geral dos ocupantes será influenciada pela performance do edifício na mudança de seu próprio clima, pela possibilidade dos ocupantes de adaptar o edifício por meio de controles e por sua liberdade para desempenhar esse comportamento adaptativo (BAKER E STEEMERS, 2000, p.17, tradução nossa).

O paradigma da convenção social, por sua vez, explica o conforto em termos de experiência social e cultural, e entende que as condições de conforto são uma convenção, uma construção cultural. A partir dessa perspectiva, CAMPAJOLA *et al.* (1983) explicam que a temperatura do ar e das paredes, a umidade e as correntes de ar em um palácio italiano da Renascença, aquecido no inverno apenas por lareiras abertas, criavam um ambiente perfeitamente

satisfatório para um nobre do século XVI, mas que hoje essas mesmas condições seriam consideradas inaceitáveis para qualquer pessoa. No mesmo sentido, Thébert conta como nas cidades italianas do Império Romano, no inverno,

[...] vivia-se agasalhado, na rua ou em casa, e ia-se para a cama inteiramente vestido (os poetas eróticos se queixam das cruéis que não tiram o manto nem mesmo na cama). No entanto, [...] no interior das casas urbanas, braseiros ardem cá e lá; não conseguem aquecer o ambiente, mas de vez em quando as pessoas procuram o círculo estreito de seu calor (Thébert, 1990, p. 303).

Campajola *et al.* chamam a atenção para o fato de que, na Europa, a mudança nos padrões de conforto que separam o cidadão europeu da atualidade de seus antepassados da Renascença ou do Império Romano tem também um importante sentido político:

O que torna a situação na qual a arquitetura moderna se encontra hoje diferente de qualquer outro período, em relação ao problema de energia, não é apenas, e talvez nem principalmente, a diminuição (sujeita a flutuações) da oferta de petróleo, mas a necessidade por conforto térmico ambiental que desde a virada do século se tornou uma demanda 'em massa'.

Foi a arquitetura moderna, especialmente a da Europa dos anos vinte e trinta, que apresentou o problema, da forma como nós o encaramos hoje, o de um ambiente confortável para todos. Se não atentarmos para a importância desse ponto não perceberemos a amplitude do problema que foi posto: prover o bem-estar – em relação a temperatura, umidade, luz e qualidade do ar – para milhões e milhões de pessoas (Campajola *et al.*, 2003)

3.2 A redução da demanda: eficiência energética

O condicionamento ambiental passivo é uma das questões mais sensíveis e um dos elementos mais característicos das práticas arquitetônicas que se pretendem menos agressivas ao meio ambiente. Implica em adotar como condicionante fundamental do projeto a necessidade de se garantir condições de conforto ambiental no interior dos edifícios a partir da interação entre a estrutura arquitetônica (materiais, volumetria, aberturas, etc) e os fatores climáticos (radiação solar, temperaturas, umidade do ar, precipitações, etc.). Aronin expressa o problema nos seguintes termos: “o projeto de arquitetura básico precisa estar em conformidade com o clima prevalente. O homem está gradualmente se dando conta, mais uma vez: ele não pode competir *contra* o clima. É preciso seguir *com* o clima” (Aronin, 1953, p. 22, tradução nossa).

No entanto, conforme posto anteriormente, o objetivo da arquitetura sustentável não é prescindir de sistemas mecânicos de condicionamento ambiental, senão assegurar que a estrutura do edifício tenha atuado em favor do conforto humano antes que tenha sido necessário recorrer àqueles sistemas. Olgyay e Olgyay (1963) utilizam a expressão “arquitetura em equilíbrio com o clima” (*climate-balanced architecture*) para designar a prática arquitetônica fundamentada nesse princípio (figura 3.6), e, nesses termos, pode-se afirmar que a arquitetura sustentável deve ser, necessariamente, uma “arquitetura em equilíbrio com o clima”.

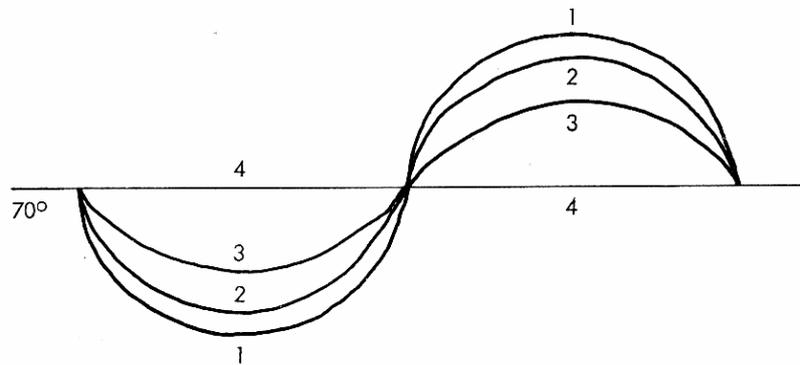


Figura 3.2 Aplanando a curva da temperatura a partir das condições ambientais (1), por meio da microclimatologia (2), do equilíbrio climático do edifício (3) e do aquecimento e resfriamento mecânicos (4), até a “temperatura de conforto” (70° F, aprox. 21°C). Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY, 1963.

A definição que alguns autores apresentam para a expressão “arquitetura bioclimática” a faz também convergir para essa perspectiva de projeto. Campajola *et al.*, por exemplo, apresentam como uma possível definição esquemática de arquitetura bioclimática:

[...] um conjunto de soluções projetuais que lograria assegurar em um edifício a manutenção das condições de bem estar fazendo *o menor uso possível* de sistemas mecânicos que requerem o consumo de energia de fontes não renováveis. [Para tanto, o objetivo da arquitetura é produzir um edifício] capaz de estabelecer uma ligação com o ambiente externo de forma a produzir as alterações necessárias das condições ambientais principalmente por meio de suas características (morfológicas, dimensionais, termofísicas, etc). (1983, p. 27, tradução nossa, grifo nosso)

É especialmente difícil fazer generalizações a respeito das soluções projetuais que buscam o equilíbrio do edifício com o clima, pois o conjunto de soluções válidas depende do clima local e do uso do edifício, encontrando sentido, portanto, apenas frente aos problemas

específicos para os quais o projeto deve oferecer uma resposta. Em relação ao clima, as experiências da arquitetura sustentável européia refletem a necessidade de enfrentamento tanto do frio do inverno quanto do risco de superaquecimento no verão, mas, no que diz respeito ao equilíbrio com o clima, a proteção contra o frio tende a ser o fio condutor do projeto.⁴⁰ No entanto, o padrão de ocupação e uso do edifício pode redefinir os contornos do problema.

A ocupação e as atividades desenvolvidas no interior dos edifícios liberam calor, proveniente do metabolismo humano, do uso de equipamentos eletro-eletrônicos, da cocção e do uso de água quente, entre outras atividades. Nos edifícios residenciais, cuja ocupação é tipicamente de baixa densidade e inclui o período noturno (quando a temperatura ambiente é mais baixa e não há incidência solar), o enfrentamento do frio do inverno tende a permanecer como o principal desafio da arquitetura em equilíbrio com o clima, sendo aquele calor “residual” considerado como uma variável importante a favor do condicionamento térmico passivo. Em edifícios de escritórios, por outro lado, que apresentam tipicamente densidade de ocupação elevada, uso intenso de equipamentos eletro-eletrônicos e ocupação principalmente diurna (quando a temperatura ambiente é mais alta e há incidência de radiação solar), a prevenção do superaquecimento nos períodos quentes do ano tende a ser considerada como um problema de projeto tão importante quanto o enfrentamento das temperaturas baixas dos períodos mais frios, e até mesmo o problema prioritário, mesmo em regiões de clima temperado.

A propósito, a disseminação de sistemas de ar condicionado é um fenômeno que tem se intensificado nos países europeus. A velocidade desse processo e o aumento do consumo de energia a ele associado têm sido motivo de preocupação por parte de especialistas e autoridades públicas. COOLING BUILDINGS... (2004) informa que, apesar da dificuldade em se obter números precisos, as evidências de um conjunto de países membros da *International Energy Agency* (IEA) sugerem que a demanda de energia para resfriamento está aumentando duas vezes mais rápido que a demanda total de energia nos edifícios. De acordo com JOINT DECLARATION... (2005), o consumo de energia decorrente do uso de sistemas

⁴⁰ Ver prancha 3.1

de ar condicionado está crescendo dramaticamente na Europa, de forma que em muitos países europeus o pico do consumo de eletricidade trasladou do inverno para o verão.

Nas experiências recentes da arquitetura europeia orientada para a eficiência energética é possível identificar um conjunto de táticas de projeto, que inclui elementos típicos na arquitetura bioclimática, como a orientação, a volumetria, as “estufas” de vidro e o aproveitamento da massa térmica dos materiais, como também elementos introduzidos mais recentemente, como vidros superisolantes, caixilharias estanques ao ar e sistemas de ventilação noturna. Essas “táticas” de projeto podem ser interpretadas como medidas por em efeito algumas estratégias de condicionamento ambiental passivo: prevenção das perdas térmicas, ganhos solares passivos e massa térmica, para enfrentamento do frio; massa térmica, dissipação do calor interno e prevenção dos ganhos térmicos solares, para enfrentamento do calor; além da iluminação natural (quadro 3.1, figura 3.3).



Figura 3.3 Táticas de condicionamento térmico passivo observadas em experiências recentes de arquitetura orientada para a eficiência energética, em países europeus selecionados, de clima temperado ou frio.

Táticas de Projeto	Estratégias de projeto				
	a	b	c	d	e
Prevenção de pontes térmicas	■				
Caixilharias estanques ao ar	■				
Vidros isolantes	■		■		
Isolamento térmico reforçado de paredes, piso e cobertura	■		■		
Distribuição das aberturas	■	■	■		
Átrio e <i>sunspaces</i>		■			
Volumetria	■	■	■		
Orientação	■	■	■		
Fachadas duplas		■	■		
Cobertura vegetal			■		■
Sistema de ventilação natural				■	
Massa térmica					■
Sombreamento do edifício			■		
Sistema de ventilação noturna				■	

a	Prevenção das perdas térmicas
b	Ganhos térmicos solares
c	Massa térmica
d	Prevenção dos ganhos térmicos solares
e	Dissipação do calor

Quadro 3.1 Estratégias e táticas de condicionamento ambiental observadas em experiências recentes de arquitetura orientada para a eficiência energética, em países europeus selecionados, de clima temperado ou frio.

O ganho térmico solar é a estratégia por excelência da arquitetura solar passiva, que surgiu em sua forma contemporânea na década de 1930, experimentando um desenvolvimento comercial pontual na década seguinte e perdendo visibilidade depois da segunda guerra mundial (ARONIN, 1953) para receber novo impulso a partir da crise energética do começo da década de 1970. O princípio básico é o aproveitamento da energia radiante do sol para aquecer os edifícios, direta ou indiretamente, reduzindo assim a necessidade de calefação.

Os elementos arquitetônicos mais comumente associados à arquitetura solar passiva são as estufas de vidro integradas aos edifícios, os átrios envidraçados e as amplas superfícies de vidro, instalados na fachada de maior insolação no inverno. A intenção de maximizar os ganhos térmicos por meio do aquecimento solar passivo foi provavelmente a estratégia mais popularizada da arquitetura passiva das décadas de 1970 e 1980 para o enfrentamento do frio, de forma que as grandes superfícies de vidro voltadas para o caminho do sol no inverno

se tornaram uma das imagens mais emblemáticas da *arquitetura ecológica* na Europa (figura 3.4).

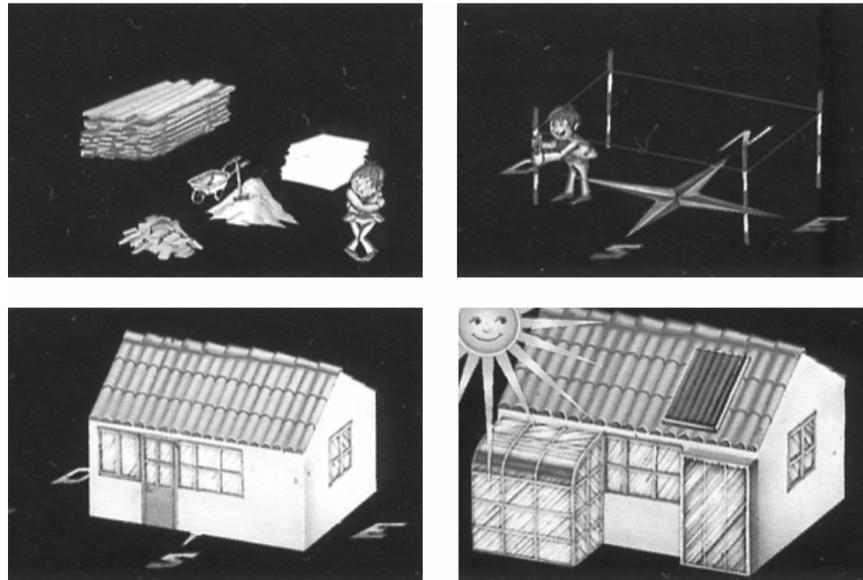


Figura 3.4 Arquitetura bioclimática segundo Galli *et al.* Estufas e superfícies envidraçadas na fachada mais exposta à radiação solar no inverno. Fonte: CAMPAJOLA *et al.*, 1983.

No entanto, metodologias de projeto mais recentes, tais como a *Passivhaus* e o *LT Method*, que têm registrado resultados significativos quanto à eficiência energética às condições de conforto alcançadas, mostram-se mais cautelosos quanto ao uso de grandes áreas envidraçadas. A literatura e a os desenvolvimentos recentes com ênfase na eficiência energética apontam para a necessidade de equilibrar a abertura do edifício ao sol com o controle das perdas térmicas, objetivos nem sempre convergentes. A *Passivhaus* e o Método LT foram desenvolvidos na primeira metade da década de 1990, respectivamente por Wolfgang Feist (Passivhaus Institut, Alemanha) e Nick Baker e Koen Steemers (Universidade de Cambridge, Reino Unido). Ambos destacam a importância do aproveitamento dos ganhos térmicos internos ao edifício e o fato de que o vidro, apesar de permitir ganhos térmicos úteis, é um mal isolante (por exemplo, um vidro duplo tem condutibilidade térmica cinco vezes superior ao de uma parede opaca medianamente insulada).

A prevenção das perdas térmicas, ou seja, da perda do calor acumulado no interior dos edifícios é uma preocupação que desde pelo menos o final da segunda guerra mundial se traduz em exigências progressivamente mais rigorosas, nos códigos de edificação europeus e na prática de projeto e construção estabelecida no continente. Mas a arquitetura sustentável preconiza medidas ainda mais rigorosas, descritas, em conjunto, como “superisolamento” do edifício. Trata-se, fundamentalmente, de um aprimoramento da qualidade técnica da construção, baseado em inovações nos materiais e componentes construtivos e em mudanças no padrão de detalhamento executivo do projeto arquitetônico (figura 3.5).



Figura 3.5 Representação humorística do padrão *Passivhaus*. Casa superinsulada e conservação do calor produzido internamente. Fonte: PASSIVHAUS INSTITUT, s/d (tradução nossa).

Em um edifício convencional, parte significativa das perdas térmicas é devida à transferência de calor através das paredes, da cobertura e do piso, de forma que o aumento da resistência térmica desses componentes é uma tática de projeto recorrente na arquitetura dedicada à eficiência energética em climas temperados e frios. De acordo com a associação europeia dos fabricantes de isolamento térmico (EURIMA), a camada de isolamento térmico aplicada em novos edifícios residenciais tem espessura média de 40 mm em Portugal e de 180 mm na

Finlândia (EURIMA..., 2004).⁴¹ Comparativamente, de acordo com o padrão *Passivhaus*, um edifício construído na cidade do Porto (Portugal) deveria receber uma camada de isolamento térmico com cerca de 100 mm de espessura, e um edifício na cidade de Helsinque (Finlândia) uma camada com cerca de 600 mm,⁴² ou seja, mais que o dobro e o triplo, respectivamente, da espessura convencional (FEIST, s/d). O “super-isolamento” térmico do edifício inclui também a vedação de frestas entre componentes construtivos, típicas de sistemas “secos” de construção, o combate às pontes térmicas, e o uso de esquadrias estanques ao ar e vidros isolantes.

As aberturas na envolvente do edifício – portas, janelas, clarabóias – ensejam dois fenômenos que prejudicam o isolamento térmico do edifício: a infiltração de ar, ou seja, a penetração indesejada de ar frio para o interior dos edifícios, e as perdas térmicas por condução, devido à alta transmissibilidade térmica do vidro. As chamadas “super janelas”, ou “janelas ecológicas” (*super windows* e *ecological windows*, na literatura em inglês) utilizam vidros compostos instalados em esquadrias com nível elevado de estanqueidade ao ar. Essas esquadrias são dotadas de material isolante no interior dos perfis e de vedações em material resiliente no encontro entre partes móveis e fixas, entre outros atributos. Os vidros compostos isolantes, por sua vez, são dotados de dois ou três panos de vidros, com as câmaras internas preenchidas por gás especial e uma das superfícies internas revestida por uma película de baixa emissividade. Os vidros triplos de melhor desempenho comercializados atualmente em países europeus têm coeficiente de transmissão térmica mais de 10 vezes inferior ao dos vidros simples de 6 mm, usuais na Europa até a década de 1960 (FACTEUR 4..., s/d; FEIST *et al.*, 2005; GAUZIN-MÜLLER, 2002).⁴³

O isolamento térmico da envolvente dos edifícios apresenta pontos de descontinuidade que são, ou inerentes ao processo construtivo, ou devido à falta de precisão na execução da obra, e ocorrem especialmente nos encontros entre paredes e lajes e em elementos que perpassam

⁴¹ Valores referente a isolamento térmico em lã de rocha utilizado nas paredes externas dos edifícios. Os dados foram obtidos em pesquisa junto às empresas filiadas à EURIMA e são relativos ao isolamento térmico fornecido ao segmento de mercado “edifícios residenciais recém-construídos”, em 2004 (EURIMA..., s/d).

⁴² Valores obtidos por simulação computacional baseada nos princípios da *Passivhaus*, considerado um sistema de recuperação de calor com 80% de eficiência (FEIST, s/d).

⁴³ Ver prancha 3.2

as fachadas, como vigas e lajes de sustentação de varandas e balcões. Esses elementos construtivos atuam como condutores térmicos, produzindo o fenômeno denominado “ponte térmica”, o qual, na ocorrência de temperaturas muito baixas, pode resultar em perdas térmicas e em problemas de condensação, umidade e mofo no interior dos edifícios. As recomendações da literatura para a prevenção de pontes térmicas incluem o isolamento térmico externo de elementos estruturais contínuos e a independência estrutural de varandas e balcões em relação ao corpo principal do edifício (BAKER; STEEMERS, 2000; GAUZIN-MÜLLER, 2002).

A defesa que a arquitetura sustentável faz da iluminação natural é em parte uma reação à disseminação de edifícios de escritórios com planta profunda (*deep plan office*), com áreas extensas afastadas das janelas, iluminadas e ventiladas artificialmente. Do ponto de vista da questão energética, a dependência extensiva de iluminação artificial conduz a dois problemas: o consumo de energia e o ganho térmico decorrente do calor liberado pelas lâmpadas, que tende a elevar o consumo de energia com ar condicionado. Além da economia de energia, as propriedades da luz do sol e a associação entre iluminação natural e provisão de visuais para o exterior do edifício vinculam a iluminação natural ao conforto e à saúde dos ocupantes. A esse respeito, BODE (2002, p. 72, tradução nossa) afirma:

Finalmente, foi reconhecido o direito a visuais do exterior. Aqui na Europa observamos o fim do *deep plan office* (pavimentos com grandes dimensões cuja área central fica longe das janelas). Esta preocupação com a relação entre os ocupantes e o meio externo já vem sendo aplicada na Alemanha há uns dez anos. Isto significa que é possível fazer edifícios de melhor qualidade e com criatividade. Acredito que muito em breve se tornará bastante difícil justificar a necessidade do *deep plan office* em toda a Comunidade Européia.

Os problemas técnicos e as possibilidades da iluminação natural foram amplamente explorados por parte da arquitetura modernista, incluindo a pesquisa técnica e formal de elementos como lanternins e prateleiras de luz. Um elemento de inovação, que integra o conjunto de ferramentas da arquitetura européia orientada para eficiência energética, são os denominados “sistemas para iluminação natural”, baseados em materiais de efeito óptico de alta tecnologia - lamelas e painéis prismáticos, grelhas com microlamelas reflexivas, elementos óticos holográficos - cujo objetivo é prevenir fenômenos como ofuscamento e ganhos térmicos indesejados, decorrentes principalmente da incidência solar direta

(AMORIM, s/d). Mais importante, porém, que a incorporação de novos materiais e componentes construtivos, são o papel que a iluminação natural e o “direito a visuais” , como condicionantes de projeto, exercem sobre a definição do partido arquitetônico, em especial de edifícios não residenciais.

A ventilação é a troca de ar entre o interior e o exterior do edifício, e se dá em três regimes: “trocas mínimas de ar”, com o objetivo de substituir o ar contaminado pelo uso; “velocidade do ar”, com o objetivo de promover o conforto térmico, sendo necessário por tanto que o ar se movimente a uma dada velocidade mínima; “resfriamento”, com o objetivo de promover o conforto térmico por meio da redução da temperatura interna, sendo, portanto necessária a introdução ar a uma temperatura mais baixa que a interna ao edifício (BAKER; STEEMERS, 2000). A medicina sanitaria do século XIX alçou a ventilação dos edifícios à condição de problema de saúde pública, e a resposta da arquitetura vitoriana incluía pés-direitos elevados, óculos permanentemente abertos, lanternins e torres de circulação, entre outros.⁴⁴No entanto, a partir da década de 1930, o desenvolvimento da tecnologia e da indústria de motores elétricos, dutos e ventiladores promoveu a ventilação mecânica como solução padrão. Da mesma forma como a iluminação elétrica, no entanto, a ventilação mecânica apresenta as desvantagens de um consumo energético significativo, especialmente em grandes edifícios de escritório, e, mais importante, de não oferecer condições adequadas de saúde, figurando entre as principais causas da chamada “síndrome do edifício doente”.

O conjunto das experiências da arquitetura sustentável europeia reúne uma diversidade de abordagens de projeto para a ventilação natural, de sistemas simples, baseados na simples abertura de janelas, a sistemas complexos, que incluem elementos de captação, condução e distribuição do ar – tomadas, dutos, canalização subterrânea, torres de ventilação. A ventilação noturna tira proveito da amplitude térmica entre o dia e a noite, e das propriedades térmicas de materiais como o concreto, a pedra e a terra, para resfriar a estrutura do edifício durante a noite, ajudando a prevenir o superaquecimento durante o dia. O edifício sede da DB Netz (Hamm, Alemanha) é um exemplo de aplicação desse princípio, subvencionado pelo governo federal alemão *SolarBau*. Nos períodos mais frios do ano, a

⁴⁴ Ver prancha 3.3

ventilação natural entra em conflito com a necessidade de prevenção das perdas térmicas, de forma que os edifícios dotados de ventilação natural e orientados para a eficiência energética alternam para a ventilação mecânica com sistemas de alta eficiência.

Quanto aos sistemas ativos de condicionamento ambiental, é possível identificar da literatura duas linhas de ação que têm sido adotadas com vistas a maior eficiência no uso da energia. A primeira diz respeito à eficiência energética dos aparelhos e equipamentos em si, resultado do esforço de pesquisa e desenvolvimento para aprimoramento tecnológico desses componentes, mais no campo da engenharia e do desenho industrial que no campo da arquitetura. Desse esforço, tem-se obtido um conjunto vasto de produtos energeticamente mais econômicos: lâmpadas, elevadores, escadas rolantes, aparelhos de ar condicionado, entre outros. A segunda linha de ação diz respeito à redução de desperdícios por meio da individualização e do controle mais preciso no provimento dos serviços. Trata-se de inovações no modo de operar os sistemas instalados, no sentido de maior precisão na adequação dos serviços prestados à distribuição da demanda, no tempo e nas distintas áreas do edifício. Nesse aspecto, a domótica é vista como uma ferramenta de apoio à eficiência energética e, portanto, à sustentabilidade na arquitetura.

Um exemplo é o caso da iluminação elétrica, cujo modelo convencional pode ser descrito como o provimento de uma iluminação homogênea, com controles centralizados e funcionamento ininterrupto. Em contraposição, a arquitetura voltada para a eficiência energética propõe uma distribuição mais racional dos circuitos, com controles independentes, de forma que a iluminação pode ser acionada e ajustada de acordo com as necessidades específicas dos usuários nas diferentes áreas do edifício. Uma segunda possível solução de projeto é a adequação dos níveis instalados de iluminação às atividades específicas a serem atendidas. É o caso da distinção entre iluminação geral, ou de circulação, e iluminação pontual sobre superfícies de trabalho. Em segundo lugar, mencionam-se as técnicas de controle automático do tipo explorado pela domótica: sensores de ocupação, controles fotoelétricos, programação de tempo, mecanismos que têm por objetivo evitar gastos desnecessários com iluminação em ambientes desocupados ou parcialmente supridos por iluminação natural (LAMBERTS *et al.*, 1997).

O discurso da arquitetura sustentável, no entanto, chama a atenção para o tipo de interação que se estabelece entre os sistemas automáticos e os usuários. Baker & Steemers (2000), por exemplo, recomendam que o desligamento automático da iluminação acionado por detector de presença não seja repentino, mas dimerizado e gradual. Serra Florensa (2002), por sua vez, afirma:

[...] o importante é ter claro que a domótica ou os sistemas de controle não interfiram com a liberdade dos usuários [...] É uma estupidez que hajam edifícios que se classificam como inteligentes mas nos quais, em contrapartida, os usuários não podem abrir uma janela por causa do sistema de controle da climatização. A domótica deve ser natural, próxima ao usuário e, mais que acrescentar elementos de controle de um modo sistemático, deve incluir os adequados para se aproveitar ao máximo as vantagens que se possa ter no edifício (2002, p. 30, tradução nossa).

A literatura e as experiências da arquitetura sustentável apontam para a integração das soluções passivas e ativas de condicionamento ambiental. Uma das formas de integração são os chamados sistemas mistos. Segundo Baker e Steemers (2000), há dois tipos de sistemas mistos: aqueles que utilizam condicionamento passivo em uma parte do edifício (*zona passiva*) e ativo em outra (*zona ativa*), correspondendo a zona passiva especialmente às áreas adjacentes às fachadas abertas ou aos pátios internos; e aqueles que utilizam condicionamento ativo em parte do ano e passivo do período restante. Outra forma de integração é a utilização de recursos passivos para diminuir o consumo de energia de sistemas mecânicos ou vice-versa, como, por exemplo, o aproveitamento da energia térmica do sol para pré-aquecer o ar distribuído por sistemas mecânicos de ventilação, ou o máximo isolamento térmico passivo do edifício no inverno, o que demanda, por outro lado, o emprego de ventilação mecânica.

É importante observar que, na arquitetura sustentável, o conjunto de soluções passivas e ativas de condicionamento ambiental do edifício se articulam em um sistema integrado, constituindo uma unidade funcional que procura responder a um problema específico, sendo que esse conjunto de soluções correspondem à própria arquitetura: agenciamento espacial de usos e funções, seleção de materiais, volumetria, relação entre cheios e vazios nas fachadas, entre outros componentes. Ao mesmo tempo, a literatura deixa claro que a abordagem de projeto da arquitetura sustentável em relação ao condicionamento ambiental

do edifício não é empírica, intuitiva nem baseada na tradição. Trata-se de uma abordagem de projeto baseada em conhecimento científico e que se apóia no uso extensivo de ferramentas computacionais para fundamentar as decisões de projeto.

O esforço projetual de “adequação do edifício ao clima”, tal qual empreendido pela arquitetura sustentável, se apóia em um volume significativo de conhecimento científico acumulado desde o século XIX sobre a climatologia do edifício, a fisiologia humana e as condições climáticas da superfície terrestre, sendo parte substancial desse conhecimento foi construída justamente no campo da engenharia das tecnologias ambientais, preocupada em aprimorar os sistemas mecânicos de climatização.

A prática de condicionamento ambiental dominante no século XX estabeleceu uma divisão de trabalho entre o arquiteto e o engenheiro de sistemas ambientais. A arquitetura sustentável requer a costura desses processos dissociados, exigindo que o arquiteto se aproprie de conhecimento construído por disciplinas como a engenharia, a física, a climatologia e a meteorologia. Observa-se, portanto, que há um abismo histórico entre as práticas de adequação ao clima próprias da arquitetura vernácula, e mesmo da arquitetura erudita pré-industrial, e aquelas da arquitetura sustentável do final século XX. Esse abismo não diz respeito apenas às tecnologias construtivas, mas às estruturas de conhecimento.

Essa abordagem cientificista por parte da arquitetura sustentável implica na necessidade de manipulação de um volume exorbitante de informação. Não apenas são extremamente numerosas as variáveis do problema, mas extremamente complexas as inter-relações entre elas. As ferramentas computacionais de modelagem do comportamento climático e energético do edifício tornaram-se indissociáveis do projeto de arquitetura para a eficiência energética. Em 1983, ou seja, ainda no início do processo de desenvolvimento dos aplicativos computacionais para arquitetura, a exposição *Architettura Bioclimatica* (Itália), já incluía a demonstração de um programa de computador que auxiliava no cálculo do desempenho térmico e energético de um edifício em função do sombreamento produzido pelos edifícios circunvizinhos à área de projeto. A respeito do processo de sofisticação dos instrumentos de projeto, Bode (2002) cita Ove Arup acerca da transferência da vanguarda da tecnologia do processo de construção para o processo de projeto:

[...] o futuro da engenharia de sistemas, a que determina o clima e o ambiente interno dos edifícios, está nas mãos de complexas tecnologias avançadas, aplicadas durante o processo de projeto, e não no objeto final, isto é, no edifício propriamente dito. (BODE, 2002, p. 71)

O recurso à informática não está ligado apenas à complexidade do problema de projeto, mas também à preocupação com a obtenção efetiva de resultados mensuráveis objetivamente, sendo essa uma outra característica da arquitetura sustentável européia. Por conta dessa preocupação com resultados efetivos esses edifícios freqüentemente são submetidos à mensuração e ao monitoramento de seu comportamento climatológico e consumo energético.⁴⁵ A aferição quantitativa de certos indicadores de conforto ambiental e eficiência energética é imprescindível aos sistemas de certificação e políticas de fomento que adotam parâmetros mínimos de desempenho.

3.3 A qualificação da oferta: energias renováveis

Combustíveis fósseis e energia nuclear, usinas termoeletricas, hidroeletricas e nucleares de grande porte, grandes linhas de transmissão de eletricidade, gasodutos e oleodutos, navios petroleiros: esses são elementos de infra-estrutura energética próprios da matriz tecnológica legada pela segunda revolução industrial e especialmente pela “era de ouro” do pós segunda guerra mundial. Esse paradigma tecnológico revelou uma fragilidade inesperada diante de uma seqüência de fatos ocorridos a partir do começo da década de 1970: as duas crises do petróleo (1973 e 1979), os acidentes nucleares de Tree Mile Island (1979) e Chernobyl (1986), o consenso científico em torno da mudança climática global e sua relação com a queima em grande escala de combustíveis fósseis (final da década de 1980).

Ainda na primeira metade da década de 1970, quando a economia mundial se encontrava sob o impacto da primeira crise do petróleo, Lovins (1976) renunciou um modelo energético alternativo, a que denominou *energy soft path*, baseado na eficiência energética em todos os níveis e na geração descentralizada de energia a partir de fontes renováveis. É em relação à descentralização da geração de energia que a arquitetura se viu envolvida no processo de

⁴⁵ Ver prancha 3.4

transformação da matriz energética dos países industrializados. A descentralização corresponde à instalação, mais próxima aos pontos de consumo, de unidades de pequeno porte geradoras de energia.

Dentre as fontes renováveis com potencial de exploração na escala do edifício, a literatura destaca a energia termosolar para aquecimento da água, a geotérmica para aquecimento e resfriamento ambiente e a cogeração a gás ou biomassa para produção de calor e eletricidade, todas tecnologias consolidadas há décadas e, portanto, mais rentáveis e produtivas. A cogeração a gás natural, embora apoiada em fonte não renovável, apresenta um considerável aporte de eficiência energética e tem sido por isso favorecida pelas políticas energéticas europeias. Algumas fontes inovadoras de energia comentadas pela literatura são a energia solar fotovoltaica, as turbinas eólicas e as pilhas de combustíveis, todas tecnologias de geração de eletricidade, de desenvolvimento mais recente e, portanto, menos consolidado.

Nas regiões temperadas da Europa, a energia térmica solar poderia prover até 60% da água quente consumida ao longo do ano em uma residência (GAUZIN-MÜLLER, 2002) e substituir 30% do petróleo que a União Europeia importa do Oriente Médio (EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL, s/d). Na Alemanha, Áustria, Holanda e Bélgica, têm sido implementados programas vultosos de incentivo à instalação de aquecedores de água solares. Gauzin-Müller (2002) informa que a empresa UFE Solar e o Instituto Fraunhofer (Alemanha) estão desenvolvendo um sistema de armazenamento do calor solar com a perspectiva de poder garantir a autonomia de uma residência quanto ao aquecimento da água durante todo o ano, mesmo em um clima temperado. O EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (s/d) acrescenta que sistemas de resfriamento solar de pequena escala podem estar disponíveis dentro de uma década, caso seja provido o devido apoio às atividades de pesquisa e desenvolvimento.

As demais fontes de energia mencionadas podem potencialmente ser empregadas em instalações de diferentes escalas - para abastecimento de bairros ou cidades inteiras, de um grupo de edifícios ou de um único edifício. Exemplos do primeiro caso são a central eólica de Perwez (Bélgica), que alimenta 450 edifícios, a usina elétrica a pilha de combustíveis em Chelles (França), para 200 habitantes (GAUZIN-MÜLLER, 2002) e as centrais geotérmicas de

calefação urbana na região de Paris (EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL, s/d). Exemplos do segundo caso são as usinas de calor e eletricidade do projeto BedZED (Londres, Reino Unido) e do edifício Wohnen und Arbeiten (Freiburg, Alemanha), e as turbinas eólicas do subprojeto do CEPHEUS em Hannover-Kronsberg (Alemanha), de múltiplo uso da ZEDfactory em Jubille Wharf (Reino Unido) e da sede da sede da companhia de VLT de Den Haag (Países Baixos).⁴⁶

Desse conjunto de alternativas, no entanto, a mais emblemática da arquitetura sustentável é a conversão fotovoltaica, que, provavelmente, apresenta maior impacto visual na configuração arquitetônica. Somado-se ao conjunto de elementos do edifício a serem esteticamente arranjados, os painéis fotovoltaicos podem tanto se integrar na composição arquitetônica ou servirem como elemento de sombreamento na cobertura ou nas fachadas.⁴⁷

3.4 Padrões construtivos e certificação

No processo de institucionalização dos esforços de aumento da eficiência e da autonomia energética das edificações, vêm sendo estabelecidos diferentes padrões de construção, os quais respondem a definições mais ou menos estritas, correspondendo às vezes a um processo sistematizado de certificação (STANDARDS..., s/d; GAUZIN-MÜLLER, 2002). Entre as denominações mais utilizadas pode-se citar: *Low Energy House*, *Zero Energy Home*, *Passive House*, e o Certificado *Minergie*.

A figura 3.6 mostra o consumo energético anual exigido de edifícios residenciais pela norma sueca de 1980 e pelas normas alemãs de 1984 e de 1995, e o consumo efetivo registrado por Casas de Baixo Consumo de Energia (*Low Energy*), Casas Passivas (*Passive*) e Casas *Plusenergie*. É possível observar que, entre si, os três padrões de construção se sucedem como um aumento contínuo no desempenho energético e que, mesmo o mais conservador entre eles, representa um avanço significativo em relação às exigências normativas vigentes para

⁴⁶ Ver prancha 3.5

⁴⁷ Ver prancha 3.6

novas construções, e, mais ainda, em relação ao estoque edificado. Entre os dois extremos do gráfico observa-se uma expressiva diferença de consumo de energia.

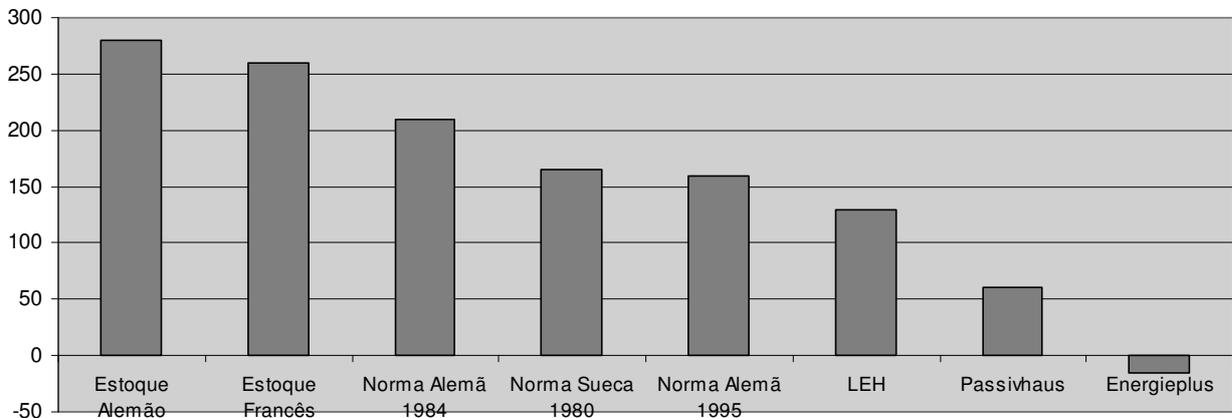


Gráfico 3.4 Demanda média de energia em KW/(m²/ano) referente ao estoque edificado alemão e francês, a normas selecionadas e aos padrões de edificação *Low Energy House* (LHE), *Passivhaus* e *Energieplus*.

Os termos *Low Energy House* (LEH), “edificação de baixo consumo de energia”, *maison à faible consommation énergétique* e *Niedrigenergiebauweis*, não são protegidos por registro legal, correspondendo a parâmetros diferentes, conforme o país. Em sua acepção geral, definem edifícios cujo desempenho energético é superior à prática corrente, tomada, em geral, a partir da legislação vigente.⁴⁸ A expressão *Plusenergiehaus* foi desenvolvida na Alemanha, para designar o edifício *Passivhaus* que utiliza tecnologias de geração elétrica *in situ*, especialmente painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas, de forma a produzir, ao final de um ciclo anual, mais energia que consume (STANDARDS..., s/d). *Maison Energie Plus* é o termo equivalente em francês. O selo *Minergie* é um certificado de registro protegido, desenvolvido em 1998 e auferido pelo governo suíço. Estabelece metas de consumo de energia, mas não especifica estratégias construtivas, sendo menos exigente quanto ao consumo energético e mais flexível quanto às soluções arquitetônicas que o selo alemão *Passivhaus* (STANDARDS..., s/d; GAUZIN-MÜLLER, 2002).

O padrão *Passivhaus* foi desenvolvido na Alemanha, no final da década de 1980, pelo engenheiro Wolfgang Feist, com o objetivo de reduzir a demanda dos edifícios por energia,

⁴⁸ Os países europeus, os EUA e o Japão contam com legislação edilícia sobre os parâmetros mínimos de desempenho energético das edificações, diretamente, ou sobre critérios mínimos de isolamento térmico. Essas normas passaram a ser fixadas a partir da crise energética da década de 1970 e vêm tornando-se progressivamente mais exigentes desde então (GAUZIN-MÜLLER, 2002).

em especial pela energia destinada à calefação. O primeiro edifício certificado foi construído em 1991, em Darmstadt (Alemanha). Trata-se de um bloco com quatro casas geminadas de dois pavimentos.⁴⁹ A abordagem de projeto *passivhaus* consiste em reduzir a carga térmica de aquecimento do edifício até o ponto em que se torna possível supri-la por meio do sistema de ventilação, ou seja, quando se torna desnecessário um sistema convencional de calefação. A estratégia proposta envolve a redução ao máximo das perdas térmicas do edifício, o uso de ganhos térmicos solares e o controle mecânico e térmico da ventilação, recorrendo, por tanto, a soluções tanto passivas quanto ativas. Do ponto de vista construtivo, o instrumental utilizado inclui o reforço do isolamento térmico de paredes, piso e cobertura, o uso de “super janelas” (esquadrias estanques ao ar e vidros de desempenho térmico elevado), certos cuidados de execução para evitar pontes térmicas e infiltração de ar, e um sistema mecânico de ventilação dotado de um permutador de calor com um dado desempenho mínimo.⁵⁰

O consumo de energia de um edifício *passivhaus* é 75% inferior ao máximo estabelecido pela legislação alemã vigente (COST..., 2001). No exemplo pioneiro de Darmstadt (1991), o consumo de energia ao longo de quinze anos de ocupação foi o correspondente a 12% do consumo esperado para um edifício convencional (INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE HOUSES, 2006). De acordo com Gauzin-Müller (2002), é possível que o padrão *passivhaus* venha a impor-se como norma, na Alemanha, em longo prazo. ENORMOUS POTENTIAL... (2004) comenta os resultados de uma pesquisa realizada na Alemanha, Áustria e Suíça, que estima, considerando o cenário mais desfavorável, que no ano 2010 o número de edifícios com certificação *Passivhaus* terá passado de 1,3 mil para 160 mil unidades, o equivalente a um quinto das novas construções. A própria União Européia tem incentivado a disseminação da metodologia. A instituição financiou o projeto *Cost-Effective Passive Houses as European Standard* (CEPHEUS), no âmbito do qual foram construídas 250 unidades residenciais certificadas em cinco países europeus, e apóia atualmente o projeto *Promotion of European Passive Houses* (PEP), consórcio dedicado a difundir informação e reduzir barreiras para a disseminação do padrão *Passivhaus*.

⁴⁹ Ver prancha 3.7, figuras 3.29 a 3.31

⁵⁰ Ver prancha 3.7, figura 3.32

Prancha 3.1 Clima

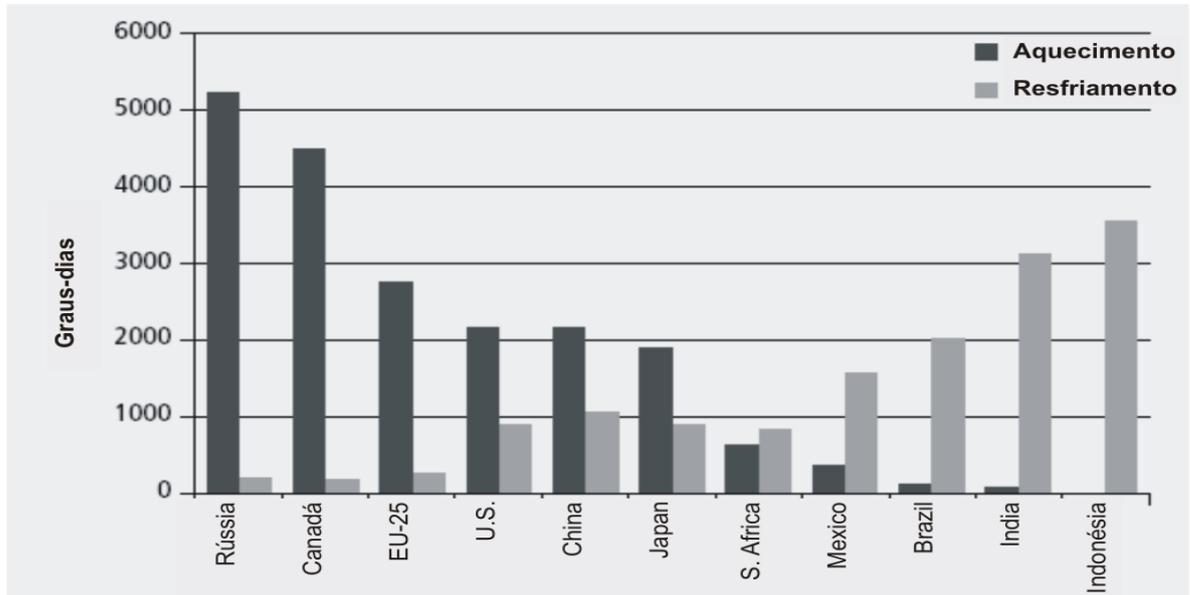


Gráfico 3.5 Graus-Dias de Calefação (GDC) e Resfriamento (GDR). Os valores de GDC e GDR indicam, respectivamente, a demanda por serviços de calefação e de resfriamento, em função do quanto, no decorrer do ano, a temperatura externa ambiente se afasta de um valor base para o qual esses serviços são considerados desnecessários (18°C no gráfico 4.1 e 20°C na tabela 4.1). Fonte: BAUMERT *et al.*, 2005.

Clima	Temperatura Média											
	Mediterrâneo			Temperado						Frio		
Pais	Espanha	Grécia	Portugal	Italia	França	Bélgica	Dinamarca	Reino Unido	Alemanha	Austria	Suécia	Finlândia
GDC	1600	1711	1800	2234	2850	3259	3191	3210	3845	4068	4355	5978

Quadro 3.2 Dias–Graus de Calefação (GDC). Média de alguns países europeus. Em negrito, países listados entre os de maior dinamismo no processo de inovação ecológica da arquitetura. Fonte: modificado de GREENBUILDING, s/d.

Prancha 3.2 – Superesquadrias e vidros isolantes

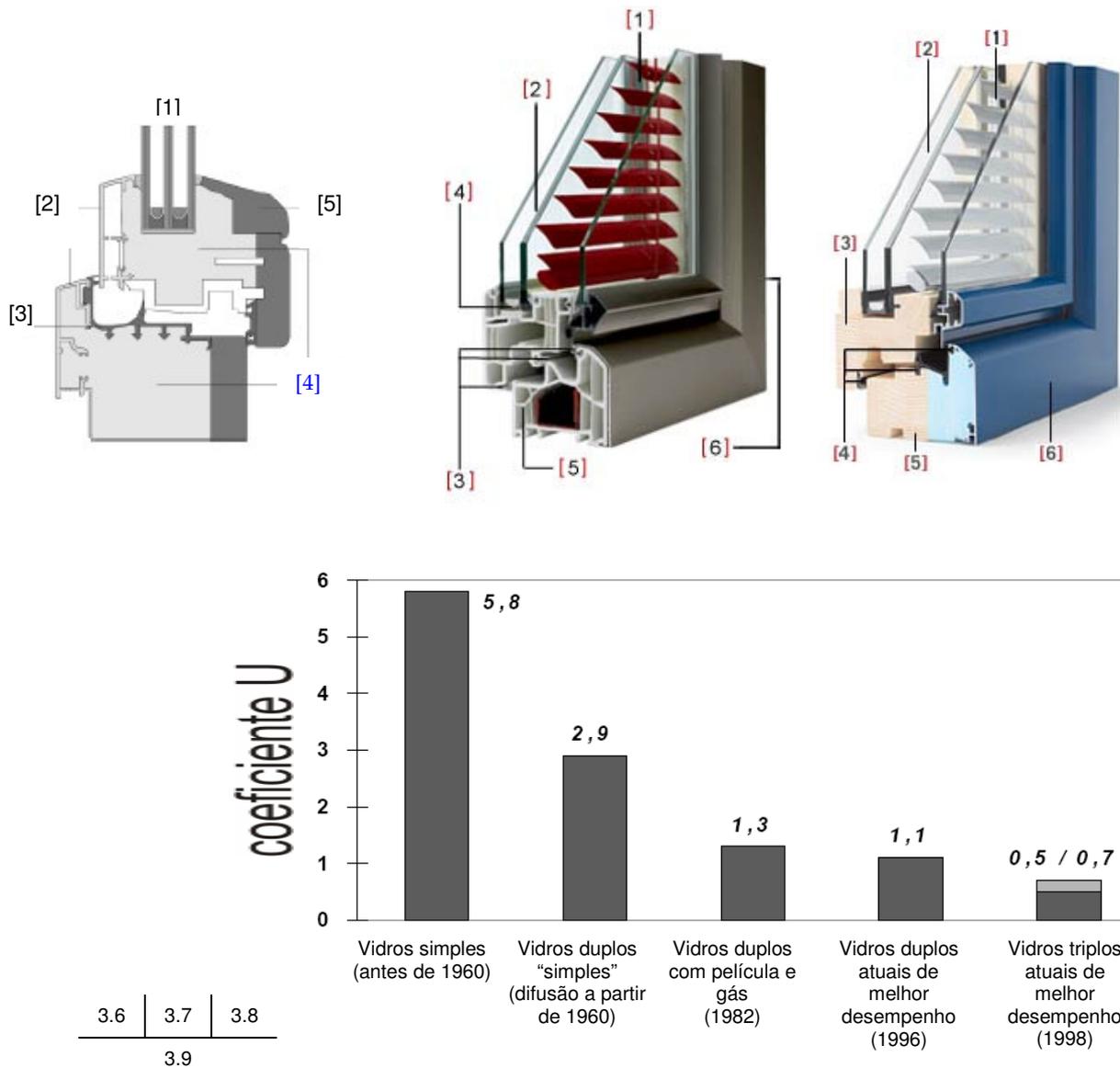


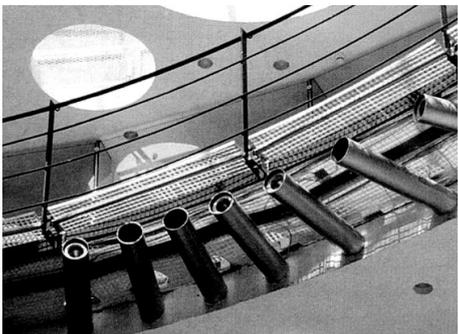
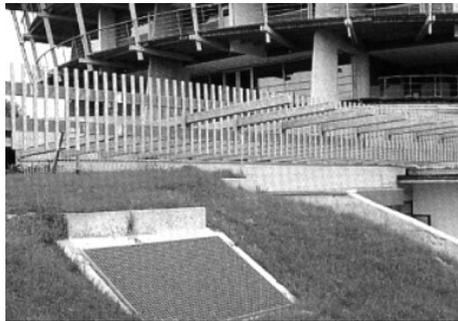
Figura 3.6 Modelo de "super esquadria" utilizado no subprojeto de Hannover – Kronsberg do projeto CEPHEUS (corte transversal) 1. Vidro triplo; 2. Alumínio; 3. Borracha; 4. Isolamento térmico; 5. Madeira. Fonte: COST..., 2001.

Figura 3.7 Modelo de "super esquadria" di[me]nson4 (UPVC/alumínio), fabricado pela empresa Internorm (Áustria) e certificados pelo Passivhaus Institut. 1. veneziana de alumínio embutida no vidro triplo; 2. Vidro triplo U = 0,82; 3. capa de vedação; 4. vidros colados, espessura de 18mm; 5. perfil com cinco câmaras contínuas; 6. fixadores embutidos. Fonte: INTERNORM, s/d.

Figura 3.8 Modelo de "super esquadria" ed[it]ion4 (madeira/alumínio), fabricado pela empresa Internorm (Áustria) e certificados pelo Passivhaus Institut. 1. veneziana de alumínio embutida no vidro triplo; 2. Vidro triplo. U = 0,7; 3. Vidro fixado 20mm abaixo da esquadria e proteção contra atrito; 4. Três níveis contínuos de vedação; 5. perfil de 93 mm de largura com madeira na face interna, alumínio na face externa e isolante térmico na parte interna; 6. moldura com sistema de drenagem. Fonte: INTERNORM, s/d.

Figura 3.9 Evolução do desempenho térmico de vidros para a construção civil. O Coeficiente U – caracteriza o fluxo de calor que atravessa uma superfície unitária de 1 m² para uma diferença de temperatura de 1 Kevin. Fonte: FACTEUR 4..., 2006.

Prancha 3.3 – Sistemas de ventilação natural



3.13	3.10
------	------

3.14	3.11
------	------

3.15	3.12
------	------

Figura 3.10 Bill Dunster Architects. Projeto BedZED, Londres, Reino Unido (1999-2001). Vista parcial do projeto, mostrando as características torres de ventilação. Fonte: BEDZED..., 2004.

Figura 3.11 Feiden Clegg Architects. BRE, Londres, Reino Unido (1994-96). Vista da fachada principal, mostrando as torres de ventilação. Fonte: THE NEW..., s/d.

Figura 3.12 RH Partnership. Ionica Headquarters, Cambridge, Reino Unido (?-1994). Vista parcial da fachada sul, mostrando as torres de ventilação. Fonte: RH PARTNERSHIP, s/d.

Figuras 3.13 a 3.15 Kaufmann Theilig. Datagroup, Pliezhausen, Alemanha (1993-1995). Sistema de ventilação: tomada de ar externa ao edifício, saída de ar no piso dos escritórios, saída de ar no átrio central do edifício, respectivamente. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Prancha 3.4 Ferramentas de monitoramento do edifício

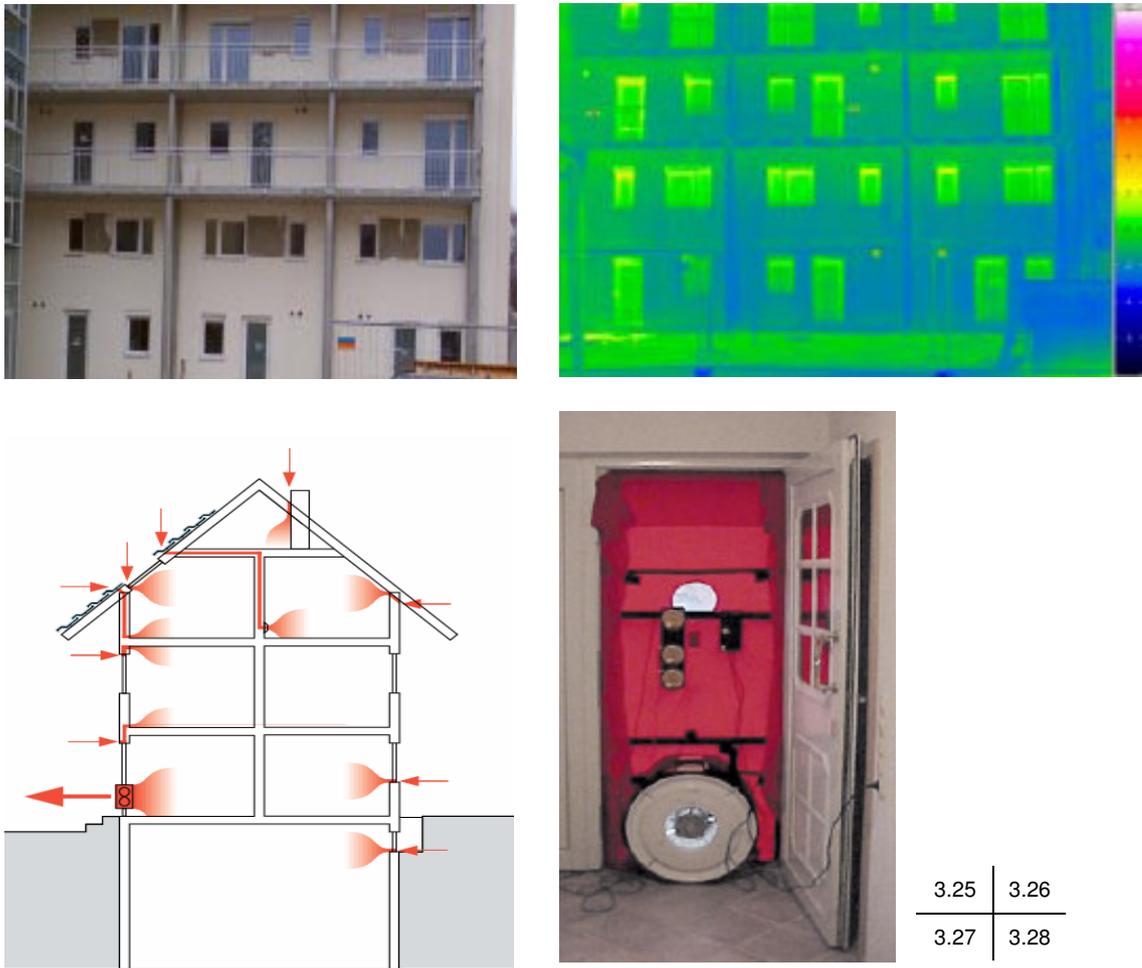


Figura 3.16 Faktor 10. Edifício Wohnen bei St. Jacob, Frankfurt, Alemanha. (2001-2002). Fachada sul. Imagem fotográfica. Fonte: PEPER *et al.*, 2004.

Figura 3.17 Imagem termográfica da fachada da imagem anterior, mostrando o nível elevado de isolamento térmico, sendo as aberturas os pontos de maior fragilidade. Fonte: PEPER *et al.*, 2004.

Figura 3.18 Teste *door blower*, de aferição da estanqueidade do edifício ao ar. Imagem esquemática mostrando a máquina de vácuo retirando o ar do interior do edifício por uma das portas e indicando os pontos prováveis de infiltração de ar.

Figura 3.19 Teste *door blower*, de aferição da estanqueidade do edifício ao ar. Imagem do equipamento de sucção instalado em uma das portas do edifício. Fonte: PROMOTION..., 2005.

Prancha 3.5 Energia eólica e co-geração de calor e eletricidade



Figura 3.20 Bill Dunster Architects (agora ZEDFactory). Projeto BedZED, Londres, Reino Unido (1999-2001). Edifício de uso comunitário que abriga a central de produção de calor e eletricidade, movida a biomassa (esquerda da imagem). Fonte: ANTUNES..., 2004.

Figura 3.21 Common & Gies Architekten. Edifício Wohnen und Arbeiten, Freiburg, Alemanha (1996-1999). Gerador de calor e eletricidade movido a gás natural, instalado no subsolo do edifício. Fonte: PASSIVHAUS..., s/d.

Figura 3.22 ZEDfactory, Edifício Jubilee Wharf de múltiplo uso, Penryn, Reino Unido (2004-2006). Vista geral, com turbinas eólicas no primeiro plano. Fonte: ZEDFACTORY, s/d.

Figura 3.23 Edifício-sede da Haagse Tram Maatschappij (HTM). Den Haag, Países Baixos. Turbina eólica (instalada na cobertura do edifício em 2004). Fonte: ZONNESTROOM..., 2004.

3.21

3.23	3.22
3.24	

Prancha 3.6 Energia Fotovoltaica



Figura 3.24 Françoise-Hélène Jourda; Gilles Perraudin. Centro de formação Mont-Cenis, Herne-Sodingen, Alemanha (1997-1999). Vista interna, mostrando o efeito de sombreamento produzidos pelas células fotovoltaicas instaladas sobre placas de vidro, na cobertura. Fonte: IEA Photovoltaic..., 2006.

Figura 3.25 Idem. Vista aérea, mostrando a cobertura de vidro com células fotovoltaicas. Fonte: IEA Photovoltaic..., 2006.

Figuras 3.26 a 3.28 Rolf Disch. Conjunto residencial Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg, Alemanha (1997-2005). Vistas da fachada sul, da fachada norte, e aérea, mostrando a cobertura dos edifícios inteiramente revestida por placas fotovoltaicas. Fonte: SOLARSIEDLUNG, 2007.

3.16	3.17
3.18	3.19
3.20	

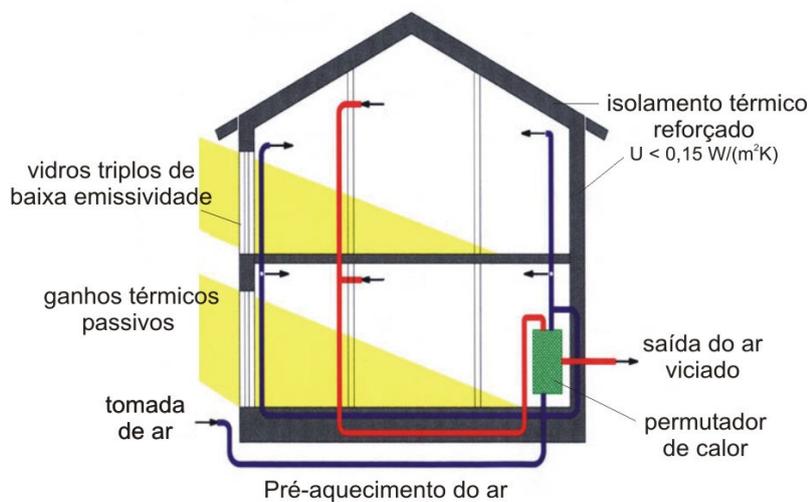
Prancha 3.7 Padrão *Passivhaus*



3.29	3.30
3.31	
3.32	

Figura 3.29 a 3.31. Bott, Ridder e Westermeyer (arquitetos); Feist (engenheiro). Passivhaus, Darmstadt, Alemanha (1991). Vistas da fachada sul, do interior do edifício, e da fachada norte, respectivamente. Fonte: PASSIVHAUS INSTITUT, s/d.

Figura 3.32 Padrão *Passivhaus*. Imagem esquemática, mostrando as principais características construtivas e operacionais. Fonte: PASSIVHAUS INSTITUT, s/d.



Capítulo 4

A questão da água

4.1 Um novo paradigma para os sistemas hídricos urbanos

O modelo consagrado pelas sociedades industrializadas, e estabelecido como referência para as demais, para lidar com a questão do abastecimento de água, do tratamento das águas servidas e da drenagem pluvial foi consolidado em meados do século XIX. Esse modelo consiste em captar a água em grandes volumes, a partir de mananciais subterrâneos ou de superfície, tratá-la até o nível de potabilidade, distribuir a água potável em rede de dutos até os pontos de consumo, utiliza-la para todos os usos finais, coletar conjuntamente todas as águas servidas, conduzi-las por rede de dutos até estação centralizada de tratamento, depura-las por mineralização do conteúdo orgânico e lançar a água depurada em corpos de água superficiais. Esse modelo foi muito bem sucedido em relação aos objetivos de desenvolvimento e sanificação, mas sua eficácia funcional, econômica e ambiental tem sido questionada, ao mesmo tempo em que novas tecnologias e tecnologias antigas em formatos recentemente refinados estão emergindo, oferecendo novas opções para os sistemas hídricos (PINKHAM, 1999).

Em estudo encomendado ao *Rocky Mountain Institute* (RMI) pela agência norte-americana de meio-ambiente (*U.S.Environmental Agency*), Pinkham (1999) identifica o surgimento de um novo paradigma para os sistemas hídricos urbanos, a que denominou *water soft path*⁵¹ (quadro 5.1). As principais características desse novo modelo são a diversidade de soluções tecnológicas, a adoção de sistemas descentralizados, a integração entre abastecimento, drenagem e manejo de águas servidas, a exploração de recursos hídricos locais (águas pluviais, por exemplo), o uso da capacidade depurativa da vegetação e dos solos urbanos e a prática do reaproveitamento e da reciclagem de águas servidas. A eficiência no uso final, a eficiência dos sistemas, o aproveitamento de águas pluviais e as estratégias de reutilização reduziriam a retirada de água do meio-ambiente para consumo humano a níveis muito abaixo das atuais projeções e possivelmente mais baixos que os níveis atuais.

⁵¹Referência à expressão *energy soft path*, formulada por Amory Lovins na década de 1970, para designar um paradigma em emergência para os sistemas de energia, baseado na eficiência energética e nas energias renováveis.

O velho paradigma	O paradigma em emergência
<i>Dejetos humanos são um estorvo.</i> Devem ser expurgados depois do tratamento mínimo necessário para reduzir suas propriedades prejudiciais.	<i>Dejetos humanos são um recurso.</i> Devem ser coletados e processados efetivamente, e então utilizados para fertilizar a terra e as plantações
<i>Águas pluviais são um estorvo.</i> Deve-se conduzi-las para fora da cidade o mais rápido possível	<i>Águas pluviais são um recurso.</i> Deve-se coletar a água da chuva como fonte de abastecimento de água, e infiltrá-la ou armazená-la em suporte aos aquíferos urbanos, aos corpos d'água e à vegetação
<i>Construir de acordo com a demanda.</i> É necessário aumentar a capacidade dos sistemas à medida que a demanda aumenta	<i>Gerenciar a demanda.</i> É preciso aproveitar as opções economicamente viáveis antes de aumentar a capacidade da infra-estrutura
<i>Demanda é uma questão de quantidade.</i> O volume demandado de água tratada e o volume produzido de água servida são os únicos parâmetros de uso final relevantes para a escolha de infra-estrutura. Deve-se tratar toda a água conforme os padrões de potabilidade e coletar toda a água servida para tratamento em um único sistema.	<i>A demanda é multifacetada.</i> A escolha de infra-estrutura deve se adequar às diferentes características (quantidade, qualidade, nível de confiabilidade) da água demandada para diferentes usos finais ou produzida por diferentes usos finais
<i>Uso único.</i> A água segue um percurso linear, da captação até a utilização, por uma única vez, e daí ao tratamento e à disposição final no meio ambiente.	<i>Reutilização e reciclagem.</i> A água pode ser utilizada múltiplas vezes, em cascata, a partir dos usos que exigem maior qualidade para os que exigem menor qualidade (ex: usar água cinza domiciliar para irrigação), ou mediante tratamento e reciclagem.
<i>Infra-estrutura cinza.</i> “As únicas coisas que se pode chamar de infra-estrutura são feitas de concreto, metal ou plástico”.	<i>Infra-estrutura verde.</i> Além de canos e estações de tratamento, a infra-estrutura inclui a capacidade natural do solo e da vegetação de absorver e tratar a água.
<i>Maior e Centralizado é melhor.</i> Grandes sistemas, especialmente estações de tratamento, obtêm economias de escala	<i>Pequeno e descentralizado é possível, e muitas vezes preferível.</i> Sistemas de pequena escala são eficazes e podem ser econômicos, especialmente quando se considera as deseconomias de escala das redes convencionais de coleta e distribuição.
<i>Limitar a complexidade: utilizar soluções padronizadas.</i> Um número pequeno de tecnologias, bem conhecidas dos profissionais urbanitários, define a gama de escolhas possíveis para a instalação e operação da infra-estrutura.	<i>Permitir soluções diversificadas.</i> A multiplicidade de soluções técnicas ajustadas a situações específicas é necessária em contextos urbanos crescentemente complexos e sob limitação de recursos, e tornada possível mediante novas tecnologias e estratégias de gerenciamento
<i>Integração acidental.</i> Sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário podem até ser administrados pelo mesmo órgão, por questões históricas ou culturais. Fisicamente, no entanto, os sistemas devem ser separados.	<i>Integração física e institucional por projeto.</i> Articulações importantes podem e devem ser feitas entre as estruturas físicas de abastecimento de água, drenagem pluvial e esgotamento sanitário. Perceber os benefícios da integração exige gerenciamento altamente coordenado
<i>Colaboração = relações públicas.</i> Aborda outros órgãos e o público quando é necessária a aprovação de soluções pré-definidas .	<i>Colaboração = engajamento.</i> Envolve outros órgãos e o público na procura por soluções efetivas que ofereçam benefícios múltiplos.

Quadro 4.1 *Water Soft Path*. Fonte: PINKHAM, 1999 (tradução nossa).

Em 2000, foi realizada na Itália uma Consulta a Expertos sobre Saneamento Ambiental no Século XXI,⁵² debate com a participação de 25 especialistas de diversas nacionalidades, do qual resultou o documento “Princípios de Bellagio”, cujo conteúdo referenda o modelo de sistema hídrico denominado Saneamento Ambiental Centrado na Residência (HCES).⁵³ Na mesma época, Joseph Országh, pesquisador da Universidade de Mons-Hainaut, divulgava na Bélgica os princípios e técnicas da *Eautarcie*, conjunto de práticas que postulam uma nova visão do uso das águas da chuva e de gestão das águas usadas domésticas (ORSZÁGH, 2000). Em 2001, foi realizada na China a primeira Conferência Internacional sobre Saneamento Ecológico, evento que teve sua segunda edição na Alemanha, em 2003 e a terceira na África do Sul, em 2005. O Saneamento Ambiental Centrado na Residência, a *Eautarcie* e o Saneamento Ecológico podem ser interpretados como manifestações da tendência de mudança em direção ao mencionado *water soft path*. Essas três abordagens, além da preocupação com a redução da demanda de água, centram seus discursos nos problemas de saúde pública associados às condições de saneamento e também na necessidade de reaproveitamento dos nutrientes contidos nas águas servidas e dispersados pelos sistemas convencionais de tratamento de esgoto.

As práticas de projeto da *arquitetura sustentável* associadas a esse paradigma emergente de gestão da água para consumo humano, à luz da questão ambiental, podem ser agrupadas em quatro temas de projeto: o uso racional da água, o aproveitamento da água pluvial, a gestão das águas servidas e o uso de coberturas verdes. O uso de coberturas verdes tem implicações além da questão da água, mas é incluído aqui em função de sua vinculação ao ciclo hidrológico (BRASIL, 1999; GAUZIN-MÜLLER, 2002; PINKHAM, 1999; YEANG, 2001).

4.2 Uso racional da água

Brasil (1999) apresentam um quadro geral das medidas práticas que configuram o uso racional da água. Essas práticas se dividem em medidas de controle de vazamento, ou seja, de diminuição da água que se perde antes mesmo de chegar aos pontos de consumo, e medidas de redução do consumo propriamente dito (quadro 5.2).

⁵² *Bellagio Consultation on Environmental Sanitation in the 21st Century*

⁵³ *Household Centered Environmental Sanitation (HCES)*. Esse modelo foi desenvolvido pelo governo federal suíço.

Uso Racional da Água	
I. Medidas de Controle de Vazamento	I.A. Garantia da qualidade dos sistemas prediais hidráulicos
	I.B. Detecção e Controle de Vazamentos
II. Medidas de Redução do Consumo	II.A. Controle do Desperdício
	II.B. Redução do Volume Consumido

Quadro 4.2 Uso Racional da Água. Fonte: autor, a partir de BRASIL, 1999.

As medidas de controle de vazamento podem ser **preventivas**, quando dizem respeito a procedimentos de projeto e de construção que têm o objetivo de aprimorar a qualidade do sistema predial hidráulico ou de facilitar o acesso de manutenção a seus componentes, ou **corretivas**, ou seja, ações de detecção e erradicação de vazamentos. A propósito da importância do problema, Brasil (1999) comenta uma experiência de detecção e erradicação de vazamentos realizada em uma escola de São Paulo que resultou em uma redução do consumo médio mensal de 3.468 para 244 m³.

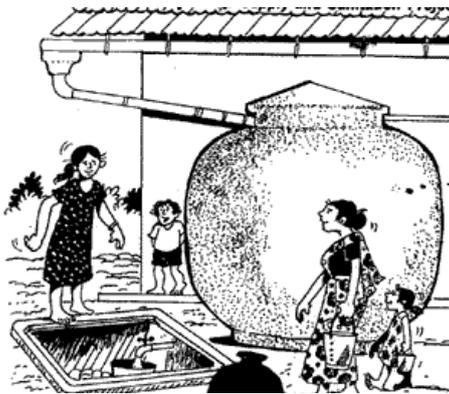
As medidas de redução do consumo de água dividem-se em práticas de controle do desperdício e práticas de redução do volume consumido. O termo “desperdício” refere-se à situação em que a água é despendida sem que se obtenha benefício relativo a sua função, e está associado a práticas perdulárias como manter a torneira ligada enquanto se lava a louça. Entende-se que a solução para esse problema encontra-se principalmente em uma mudança de comportamento por parte dos usuários, mas há especificações de projeto que podem ser relevantes, especialmente em edifícios comerciais, a exemplo da especificação de lavatórios e mictórios com sensores infravermelhos, para banheiros de uso coletivo. A redução do volume de água consumido, por sua vez, equivale ao aumento na eficiência dos equipamentos e componentes hidráulicos e envolve parâmetros tanto de processo (relativos ao funcionamento do sistema predial hidráulico), quanto de produto (relativos aos componentes hidráulicos individuais). Desses, a literatura consultada dá mais ênfase às práticas de redução do volume consumido, e mais especificamente, aos parâmetros de produto, ou seja, à adoção de componentes hidráulicos que utilizam menor volume de água.

Os componentes hidráulicos denominados “ecológicos” são desenvolvidos com base em duas variáveis: controle de vazão e controle do tempo de utilização. Entre as inovações ecológicas colocadas em comercialização pela indústria nos últimos anos pode-se citar, para torneiras, artefatos que dão forma ao jato de modo a diminuir a vazão mantendo ainda a satisfação do usuário (arejadores, pulverizadores, atomizadores, prolongadores) ou ainda mecanismos de fluxo laminar e misturadores com níveis pré-regulados de vazão; para chuveiros, mecanismos de aeração e misturadores com termostato; para mictórios, diversos tipos de acionamento automático por detecção de presença e temporização, e ainda mictórios sem água (BRASIL, 1999; CHAPLIN, 1998; ENGLAND AND WALES, 2001).

A bacia sanitária é um componente que tem sido objeto de especial atenção, pois responde por um percentual elevado do consumo de água nas edificações (aproximadamente 30%, segundo SSIGE/OFEFP, s/d e até 35% segundo ENGLAND AND WALES, 2001). As primeiras inovações a partir das válvulas convencionais (13 a 19 litros de água por ciclo) conduziram às bacias com volume reduzido (VDR), com consumo de 6 a 9 litros de água por ciclo para o padrão norte-americano e de 3 a 6 litros para o padrão europeu (BRASIL, 1999). Outra inovação importante é a bacia dual, que permite acionamento com volume diferenciado para evacuação de sólidos (6 l por ciclo) e de líquidos (3 l). Uma tecnologia conhecida, mas ainda economicamente inviável para a construção civil convencional, é a bacia sanitária a vácuo, utilizada em aviões e trens, e que consome entre 0,5 e 1 l por ciclo. No limite, o esforço de redução do volume de água para descarga sanitária conduz às bacias sanitárias secas, que dispensam o uso de água e implicam no manejo *in situ* das fezes, por compostagem, desidratação ou outro processo. Na Suécia, 50 mil desses sistemas secos foram comercializados nos últimos anos, em 42 modelos produzidos por 22 fabricantes diferentes (PINKHAM, 1999).

4.3 Aproveitamento da água da chuva

A captação e o armazenamento da água pluvial é uma prática imemorial, que se mantém viva na tradição de algumas regiões do mundo, encontrando diversas expressões regionais, entre as quais se pode mencionar o sistema *sari-motka*,⁵⁴ em Bangladesh, e os *kundis*,⁵⁵ no Rajastão. A captação e o aproveitamento da água pluvial tem sido também a solução tecnológica adotada por projetos de saneamento ambiental em diversos países, em especial para comunidades rurais ou assentamentos de baixa renda. Pode-se citar como exemplos o programa do “tanque abóbora” (figura 5.1), promovido pelo Ministério da Habitação e do Desenvolvimento Urbano do Sri Lanka a partir de 1996 (HEIJNEN, 2002), e o programa “1 Milhão de Cisternas” (figura 5.2), desenvolvido pela Articulação no Semi-Árido – ASA, em parceria com o Ministério do Desenvolvimento Social desde 2003, no Brasil (ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO, s/d).



4.1 | 4.2

Figura 4.1 Ilustração para o programa do “tanque abóbora”, Ministério da Habitação e do Desenvolvimento Urbano do Sri Lanka. Fonte: HEIJNEN, 2002.

Figura 4.2 Ilustração para o programa “1 Milhão de Cisternas”, Articulação no Semi-Árido (ASA)/ Ministério do Desenvolvimento Social, Brasil. Fonte:

ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO, s/d. Fonte: P1MC, s/d.

⁵⁴ O *sari* é o traje feminino típico em Bangladesh. Constitui-se de um corte simples de tecido envolto e drapeado em torno do corpo. O sistema *sari-motka* consiste em estender um *sari* amarrando cada uma de suas quatro pontas em quadro postes, de forma que o próprio tecido assume a função de superfície de captação da água pluvial. O *motka* é um vaso de barro, colocado abaixo do *sari* e utilizado para armazenar a água coletada (HEIJNEN, 2002).

⁵⁵ Um *kund* ou *kundi* é um poço subterrâneo, dotado de uma área de captação de águas pluviais em forma de prato e normalmente protegido por uma cobertura em forma de cúpula, ou uma tampa. Emaranhados de arames nas entradas de água evitam sujeiras e as paredes internas do poço são revestidas com gesso e cinzas, materiais desinfetantes. A profundidade e o diâmetro do *kundis* dependem da destinação da água: alimentação ou outros usos domésticos. Essas estruturas pontuam a paisagem do Deserto de Tar, no oeste do Rajastão e em algumas áreas do Gujarat, ao norte da Índia (CENTRE FOR SCIENCE AND ENVIRONMENT, 2006).

Mas o aproveitamento das águas pluviais, no contexto da *arquitetura sustentável* dominante, diz respeito a um fenômeno mais específico: a incorporação da água de chuva, coletada *in situ*, como opção de abastecimento em sociedades onde já está a muito consolidado o modelo de captação e tratamento de água centralizados e também a infra-estrutura necessária a sua operação. Nesse sentido, trata-se de um fenômeno recente. Gauzin-Müller (2002) comenta que foi na Alemanha, na década de 1990, onde se desenvolveram os primeiros sistemas industrializados comercialmente acessíveis de aproveitamento de águas pluviais, com filtro autolimpante. Isso teria contribuído para sua rápida difusão naquele país, onde seu uso começa a generalizar-se, especialmente em equipamentos escolares, desportivos, culturais e administrativos.⁵⁶ Outros países apontados como avançados na difusão dessas novas tecnologias são a Bélgica, os Países Baixos, a Dinamarca, a Suécia e a Noruega. Na França, em contraposição, essas iniciativas são quase inexistentes em função de restrições da legislação sanitária (ORSZÁGH, 2000; GAUZIN-MÜLLER, 2002).

O potencial de uso doméstico da água da chuva é definido por diversos fatores. A água pluvial coletada no edifício pode ser utilizada *in natura* ou ser submetida a diferentes níveis de tratamento com o objetivo de alterar suas propriedades, assim como acontece com a água de manancial captada pelo sistema público de saneamento. Em tese, portanto, sistemas de água pluvial com filtragem e desinfecção poderiam potencialmente suprir toda a demanda de água de um edifício, atendendo aos mesmos padrões de qualidade estabelecidos para a água do sistema público de distribuição (ENGLAND AND WALES, 2001).

Na prática, adota-se como premissa para os sistemas de água pluvial o emprego apenas de procedimentos simples, de baixo custo e fácil manutenção: filtragem, decantação e, em alguns casos, desinfecção (ENVIROMENTAL AGENCY, 2003; WACK, s/d; GAUZIN-MÜLLER, 2002). Dessa forma, o aproveitamento da água da chuva tem sido restrito a alguns usos, permanecendo os demais reservados ao sistema de abastecimento público de água potável. Os usos admitidos são a descarga de bacias sanitárias, a alimentação de máquinas

⁵⁶ No começo dos anos 2000, eram instalados anualmente na Alemanha 50 mil novos sistemas comerciais de aproveitamento de águas pluviais (ENGLAND AND WALES, 2001); Em 2003, registravam-se mais de meio de milhão de sistemas instalados no país (ENGLAND AND WALES, 2003).

de lavar roupa, a limpeza de pisos (especialmente em áreas externas) e a rega de jardins.⁵⁷ A água fornecida pela rede pública de abastecimento fica, portanto, reservada à alimentação e à higiene corporal. ⁵⁸ Estima-se que dessa forma seria possível uma economia de 30% no consumo europeu de água potável (GAUZIN-MÜLLER, 2002, 105).⁵⁹

Os sistemas comerciais de aproveitamento de água da chuva são uma tecnologia muito recente, mas o conhecimento consolidado pela prática dos últimos anos já lhes confere confiabilidade (WACK, s/d). Para os procedimentos de cálculo, a seleção dos componentes, a construção e a operação do sistema, há prescrições técnicas precisas e a literatura é bastante enfática a esse respeito: “O sistema de valorização integral da água da chuva [...] não se improvisa” (ORSZÁGH, 2000, s/p, tradução nossa); “É necessário garantir um certo padrão técnico mínimo” (WACK, s/d, s/p, tradução nossa).

Um sistema comercial padrão de utilização de água pluvial consiste dos seguintes componentes: sistema de captação; filtro simples para folhas e partículas maiores; cisterna, que também acomoda um processo natural de depuração por decantação; bombeamento e distribuição, havendo sistemas com bombeamento direto da cisterna para os pontos de utilização e outros com armazenamento intermediário em caixa de água; sistemas de controle e equipamentos de segurança (ENVIROMENTAL AGENCY, 2003; GAUZIN-MÜLLER, 2002; WACK, s/d).⁶⁰ As figuras 5.3 e 5.4, a seguir, ilustram sistemas comerciais de captação e aproveitamento de águas pluviais produzidos pelos fabricantes *Wisyy AG* (Alemanha) e *Acorn Environmental Systems Ltd.* (Reino Unido).

⁵⁷ Wack (s/d) menciona pesquisas que mostram ser a água de chuva mais adequada para a alimentação de máquinas de lavar roupa que a água tratada convencional, seu uso associado a uma maior durabilidade dos equipamentos. Gelt (1993), pesquisador do Arizona, estado norte-americano de clima quente e seco, acrescenta à lista de usos potenciais da água pluvial a alimentação de aparelhos de umidificação e de piscinas cloradas.

⁵⁸ Országh (2000), em uma postura mais heterodoxa advoga a supremacia da água da chuva em detrimento da água potabilizada, o que inverte essa distribuição de usos.

⁵⁹ Além da redução do volume de água retirado do meio ambiente para consumo humano, a captação e o armazenamento da água da chuva atende também à necessidade de controle das águas da drenagem urbana (*run off*), especialmente em áreas urbanas densamente impermeabilizadas.

⁶⁰ Esse modelo prevê o transbordamento periódico da cisterna por meio de ladrão conectado à instalação de drenagem pluvial do edifício, como forma de eliminar a camada superficial de impurezas. Dessa forma, prescreve-se a utilização de água potável da rede pública de abastecimento quando o nível da água atingir um volume mínimo. Não parece, portanto, um modelo adequado a regiões com estação de estiagem prolongada, nas quais a cisterna tem como papel primordial acumular água para o período sazonal sem chuvas.

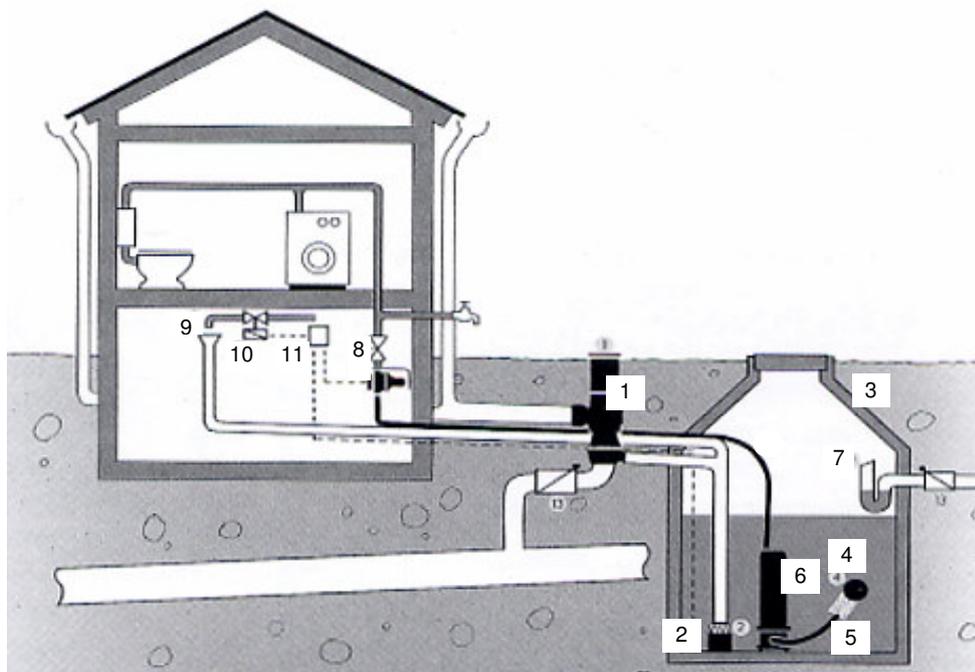


Figura 4.3 Sistema de aproveitamento de águas pluviais, produzido e comercializado pela empresa Wisy (Alemanha). Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002. 1. Filtro autolimpante; 2. Redutor de turbulência (evita que a entrada de água movimente sedimentos); 3. Cisterna; 4. Filtro flutuante de sucção (garante a captação de água com menor nível de impureza); 5. Tubo de sucção; 6. Bomba submersível de sucção; 7. Ladrão; 8. Válvula automática; 9. Abastecimento de água potável com acionamento automático (para alimentação do tanque quando o nível da água pluvial estiver muito baixo); 10. Válvula magnética; 11. Painel de controle (RAINWATER..., 2006).

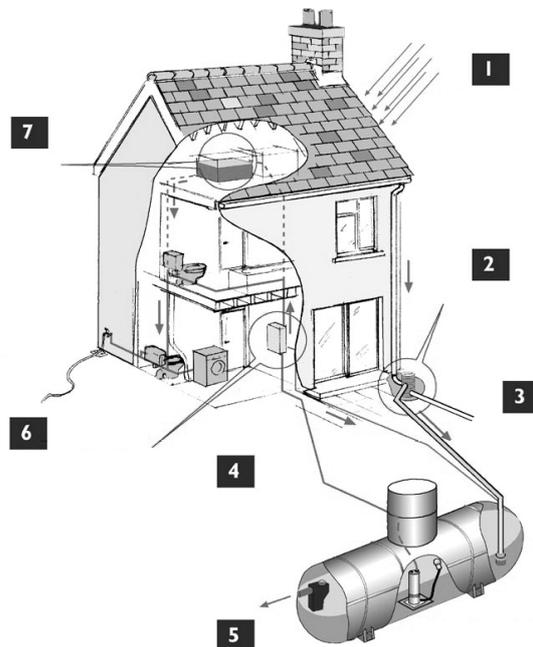


Figura 4.4 Sistema *RainSava* de aproveitamento de águas pluviais, comercializado pela empresa *Acorn Environmental Systems* (Grã-Bretanha). Fonte: ACORN ENVIRONMENTAL SYSTEMS LTD,s/d. A água da chuva é coletada pelas calhas da cobertura (1), filtrada para a eliminação de folhas e outras impurezas macroscópicas (2) e armazenada em um tanque subterrâneo (3). Uma bomba de água submersa (4) conduz a água até a unidade de controle (6) que a distribui para os pontos de consumo. A unidade de controle, conectada aos diversos pontos de consumo e ao tanque, controla automaticamente o fluxo de água no sistema. O excesso de água no tanque é drenado por um tubo de escoamento (5). É opcional a instalação de uma caixa de água destinada a armazenar a água pluvial filtrada (7).

Em função da distribuição de usos comentada acima, são necessários dois sistemas autônomos de instalações hidráulicas, um para a água potável e o outro para a água pluvial, sendo esse último devidamente identificado. A água potável, sendo considerada como de qualidade superior e fornecimento mais estável, é utilizada como suprimento de segurança no caso de problemas no abastecimento por água pluvial. Esta última, por sua vez, não deve sob nenhuma hipótese ser admitida no sistema de água potável.⁶¹

As características arquitetônicas e construtivas do edifício podem inviabilizar a instalação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em função de aspectos técnicos relacionados à captação de água e à instalação de tubulações e equipamentos. A literatura registra problemas relativos ao provimento de espaço para a cisterna e às propriedades físicas da rede hidráulica, mas considera como elemento mais crítico a cobertura do edifício, sendo as variáveis mais importantes sua área, geometria e material de revestimento.

A área de projeção da cobertura é o principal fator controlável determinante do volume de água coletado em um edifício (ENGLAND AND WALES, 2001; ORSZAGH, 2000; WACK, s/d;), sendo, portanto, condicionante das soluções arquitetônicas em projetos voltados para o aproveitamento da água da chuva. Nesse sentido, Orszagh (2000) recomenda que se dê preferência a soluções de planta térrea, a fim de maximizar a área de cobertura, e Gelt (1993) comenta o caso do projeto *Casa del Agua* (1985), que envolveu o acréscimo de 55 m² à cobertura da estufa e da varanda de uma residência convencional, a fim de ampliar o volume de água pluvial a ser coletado.⁶²

Quanto mais complexa a geometria da cobertura, quanto maior o número de águas, mais complexa e mais custosa é a instalação das tubulações e componentes de coleta da água.

⁶¹ A abordagem de Orszagh (2000) é divergente. Para o autor, a água da chuva (classificada como **bio-compatível**) é mais adequada ao consumo humano que a água potável, devendo, portanto, ser destinada prioritariamente à alimentação e à higiene pessoal. O aproveitamento da água da chuva, assim, se justificaria primeiramente em função da saúde humana e não da economia de água potabilizada. Como esse objetivo, o sistema predial de água pluvial desenvolvido pelo autor inclui um dispositivo de microfiltração ou de osmose inversa para o tratamento da água de chuva destinada à alimentação humana.

⁶² O projeto da *Casa del Agua* (Tucson, Estados Unidos) consistiu na reforma de uma residência convencional com o objetivo de incorporar práticas de uso racional da água, aproveitamento de águas pluviais e reaproveitamento de águas servidas. O projeto é financiado pelo *Arizona Department of Water Resources, Tucson Active Management Area* e *Tucson Water Office*, e conduzido pela Universidade do Arizona, *Arid Lands Studies (RESEARCH UNITS...*, 1997)

Outra característica de interesse em relação à geometria da cobertura é sua inclinação, que influencia a relação entre o volume de água evaporado e o volume coletado (WACK, s/d). Quanto ao revestimento da cobertura, são considerados inadequados para o aproveitamento das águas de chuva os seguintes materiais ou tratamentos superficiais: coberturas com vegetação, telhas ou chapas metálicas ou com peças grandes de metal (exceto aço inoxidável), capa betuminosa de impermeabilização, telhas de amianto envelhecidas, materiais sintéticos leves e cavacos (*shingles*) de madeira (ORSZAGH, 2000; WACK, s/d). A literatura registra ainda duas situações, em relação às condições ambientais locais, que podem inviabilizar o aproveitamento da água da chuva: uma quantidade grande e constante de fezes e plumas de pombos ou outros pássaros, e a proximidade de fonte de emissão pesada e constante de poeira, como fábricas de cimento.

4.4 Gestão das águas servidas

Há dois sistemas convencionais de manejo das águas servidas: a disposição em fossas e as redes de coleta e tratamento de esgotos, sendo esse último o modelo consagrado pelas sociedades industrializadas e estabelecido como referência para as demais. (ESREY; ANDERSSON, 2001; WIMBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004). O primeiro é inviável em muitos locais, em função do tipo de terreno e da densidade de ocupação, e está sujeito a provocar processos de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Por esse motivo, entre outros, é convencionalmente considerado como solução precária e provisória. O segundo, convencionalmente considerado como solução definitiva, tem sido alvo de questionamentos, do ponto de vista econômico e ambiental, quanto a quatro aspectos: o custo muito elevado da infraestrutura, o volume elevado de água ⁶³, o não aproveitamento dos nutrientes presentes nas águas servidas e contaminação dos corpos de água receptores (ORSZÁGH, 2000; WIMBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004).

⁶³ O ser humano produz ao ano cerca de 50 litros de fezes e entre 400 e 500 litros de urina. Para sua descarga nas bacias sanitárias convencionais são utilizados 15 mil litros de água potável, sendo que a esse volume ainda se juntam entre 15 e 30 mil litros de águas cinzas provenientes da higiene pessoal, da preparação de alimentos e da lavagem de louça e de roupa, às vezes também acrescido de águas pluviais drenadas e de água servida industrial. Em resumo, “permite-se que o componente de fato perigoso, os 50 litros de fezes, contamine não apenas a urina, relativamente inofensiva, mas também uma enorme quantidade de água pura utilizada para descarga e uma quantidade também enorme de águas cinzas” (WIMBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004, p. 4, tradução nossa).

O **Saneamento Integral** e o **Saneamento Ambiental Centrado na Residência** (HCES), ⁶⁴ propostos respectivamente pelo pesquisador belga Joseph Országh e pelo Instituto Federal Suíço para a Ciência e a Tecnologia do Meio Ambiente (EAWAG) podem ser considerados expressões particulares do **Saneamento Ecológico** (Eco San) e constituem respostas alternativas a esses sistemas convencionais. O Saneamento Ecológico é baseado em três princípios fundamentais: prevenir a poluição ao invés de controlá-la depois de havê-la produzido, sanificar a urina e as fezes, e utilizar na agricultura produtos seguros obtidos a partir de seu processamento (WIMBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004). O HCES enfatiza dois preceitos: a prerrogativa da unidade residencial como *locus* prioritário dos processos de saneamento e as práticas de uso racional, reciclagem e reutilização da água. (SCHERTENLEIB, 2002). ⁶⁵ O Saneamento Integral, por sua vez, defende que a eficiência depuradora dos processos de saneamento, critério absoluto na lógica dos sistemas convencionais, é apenas um dos parâmetros relevantes e que se deve considerar o desempenho ambiental em sua totalidade, o qual leva em conta também os impactos sobre o corpo receptor dos efluentes finais e aqueles relativos ao tratamento de lamas residuais, bem como os custos energéticos e econômicos de todo o processo (ORSZÁGH, 2000).

Em linhas gerais, a base conceitual do Eco San se apóia em duas premissas: as águas servidas são fonte de recursos valiosos a serem reaproveitados (água, nutrientes, potencial energético), e os processos necessários a seu reaproveitamento devem ser alocados o mais próximo possível do local onde é produzida. Esse último aspecto do saneamento ecológico coloca seus princípios e suas técnicas em relação direta com a prática arquitetônica. Apesar do conteúdo radical de algumas de suas propostas em relação à prática convencional, o Eco San não deve ser visto como um discurso de contracultura ou de futurologia. É o que se afigura frente à disseminação de suas práticas em alguns países europeus, em especial na Escandinávia (WEST, 2001) e também às fontes de apoio oficial e financiamento das quais têm recebido suporte, entre elas a UNICEF, o UNDP e os governos da Alemanha, Áustria, Suíça e Suécia (ESREY & ANDERSSON, 2001).

⁶⁴ Respectivamente *Assainissement Intégré* e *Household Centered Environmental Sanitation*, no original.

⁶⁵ “[...] apenas os problemas não manejáveis no nível da residência devem ser 'exportados' para a vizinhança, o distrito, a cidade e assim por diante até jurisdições superiores” (SCHERTENLEIB, 2001, p.3, tradução nossa)

Do ponto de vista técnico, o primeiro passo para a gestão ecológica das águas residuárias é a coleta separada de águas negras (fecais) e as águas cinzas (não fecais) (ECOSANRES, 2005a; ORSZÁGH, 2000; WEST, 2001;). As águas cinzas representam entre 60 e 80% do volume total das águas servidas em sistemas convencionais de esgotamento e até 90% em sistemas que contam com descargas a volume de água reduzido (JENSSEN; VRÅLE, 2003). As águas negras, por sua vez, concentram a maior parte dos agentes patogênicos e dos nutrientes, provenientes das fezes e da urina humana. A segregação permite a disposição segura ou o reaproveitamento das águas cinzas, com pouco ou nenhum tratamento, e facilita o manejo da urina e das fezes humanas.

O manejo das dejeções humanas tem por objetivo eliminar os agentes patogênicos, de forma que se possa dispô-las sem riscos para a saúde pública, preferivelmente reaproveitando seu conteúdo orgânico como fertilizante, ou fazendo uso de seu potencial energético. A literatura apresenta uma grande diversidade de abordagens e soluções técnicas específicas, sendo mais difundidos os modelos baseados na separação entre fezes e urina, com armazenagem da urina para posterior emprego como fertilizante agrícola e processamento primário das fezes por desidratação ou compostagem.

Diferentemente das soluções mais rústicas propostas para os países periféricos, as experiências européias recentes de manejo ecológico das dejeções humanas são em geral baseadas em produtos e sistemas patenteados e produzidos industrialmente. *NoMix*, *Dubblotten* e *WC 393U* são exemplos de bacias sanitárias com separação de urina, ou seja, que dispõem de um comportamento frontal para coleta da urina e de um compartimento posterior para coleta das fezes e do papel higiênico.⁶⁶ Os sistemas sanitários *Compus* e *WM-Barrel*,⁶⁷ são exemplos de sistemas patenteados de fossa seca com processamento primário das dejeções por meio de desidratação, enquanto os sistemas *Aquatron*⁶⁸ são baseados na separação mecânica entre conteúdo sólido e líquido, com vermicompostagem da parte sólida e desinfecção da parte líquida por exposição a radiação ultravioleta.⁶⁹

⁶⁶ Modelos desenvolvidos respectivamente pelas empresas BB Innovatör (Suécia), Roediger (Alemanha) e Gustavsberg (Suécia/Alemanha).

⁶⁷ Sistemas desenvolvidos respectivamente pelas empresas NatSol (Reino Unido) e Wost Man Ekologen (Suécia).

⁶⁸ Sistema desenvolvidos pela empresa Aquatron International (Suécia).

⁶⁹ Ver pranchas 4.1 e 4.2

No manejo das águas cinzas, provenientes de chuveiros, banheiras, lavatórios, e máquinas de lavar roupa, o nível de tratamento será função principalmente do uso ou disposição final pretendidos. Alguns autores admitem que para o uso imediato na irrigação de jardins e alguns tipos de cultura, sem armazenagem prévia, não é necessário nenhum tipo de tratamento (ENGLAND AND WALES, 2001; ORSZÁGH, 2000). Essa seria a forma mais simples de manejo das águas cinzas, a qual, aliás, associa reaproveitamento com disposição final. Partindo dessa solução em direção a arranjos mais complexos, recursos como filtragem simples, desinfecção, processos anaeróbicos ou aeróbicos, biofiltragem, microfiltragem e osmose inversa podem vir a compor o sistema de depuração. As formas possíveis de disposição final direta são a dispersão ou percolação no solo e lançamento em corpos de água superficiais. As formas possíveis de reaproveitamento são a irrigação de plantas, a alimentação de espelhos de água integrados às áreas verdes, o acionamento de vasos sanitários e a as atividades de limpeza geral, especialmente de áreas externas (ECOSANRES, 2005b; ENGLAND AND WALES, 2001; GAUZIN-MÜLLER, 2002; JENSSEN; VRÅLE, 2003; ORSZÁGH, 2000; WEST, 2001). No limite, porém, seria possível ao tratamento *in situ* alcançar um nível de depuração suficiente para permitir o uso da água até mesmo para a alimentação humana (YEANG, 2001; JENSSEN; VRÅLE, 2003).

Entre os sistemas para manejo *in situ* de águas cinzas desenvolvidos ou aperfeiçoados na Europa ao longo da década de 1990, pode-se citar o *Well Butt* (Grã-Bretanha), o *WME - 4* e o *Aquacycle* (Alemanha), o *Traiselect* (Bélgica) e o *Biofiltro/Leito Cultivado* (Noruega). Os três primeiros são sistemas patenteados produzidos comercialmente, com enfoque na redução dos custos com o consumo de água potável por meio da adoção de um ciclo de reaproveitamento de parte das águas servidas. Os dois últimos são modelos resultantes de pesquisas acadêmicas, com enfoque na redução do impacto ambiental dos sistemas convencionais de esgotamento sanitário por meio da depuração e disposição final *in situ* das águas cinzas produzidas no edifício.

O sistema *Well Butt* recolhe as águas servidas provenientes de chuveiros, banheiras, lavatórios e máquinas de lavar roupa e permite seu reaproveitamento, com baixo nível de tratamento, exclusivamente para o acionamento da descarga dos vasos sanitários. A águas

servidas da pia da cozinha e da lavadora de louça não são aproveitadas devido ao nível mais elevado de contaminação. A água coletada passa por um processo simples de filtração para a retirada de componentes macroscópicos (fios de cabelo, camadas de pele) e por um processo simples de desinfecção, com o objetivo de anular potenciais agentes patogênicos. (ENGLAND AND WALES, 2001).⁷⁰ O *WME – 4* e o *Aquacycle* são unidades compactas que processam a água servida proveniente de chuveiros, lavatórios e banheiras, para reutilização no acionamento de bacias sanitárias, rega de jardins, máquinas de lavar roupa e limpeza geral. O sistema *WME – 4* utiliza tratamento biológico anaeróbico e filtração por membrana biológica e o *Aquacycle* utiliza filtração mecânica, tratamento biológico anaeróbico e desinfecção por exposição a radiação ultra-violeta (GEP UMWELTECHNIK, s/d; AQUACYCLE 900..., s/d). Esses três sistemas têm seus componentes integrados às instalações prediais convencionais de água potável, esgotamento sanitário e drenagem.⁷¹

O *Traiselect* e o *Biofiltro/Leito Cultivado* são sistemas que têm por objetivo a depuração das águas cinzas e sua disposição em estruturas integradas a áreas verdes, com ou sem reaproveitamento para novos usos. O *Traiselect* baseia-se na ação depuradora de microorganismo vivos, do sistema radicular das plantas e do próprio solo, e obtém como produto final uma água límpida e inodora. O sistema foi desenvolvido para ser acomodado no jardim de uma residência unifamiliar, integrado ao paisagismo, não sendo viável para edifícios em contextos urbanos com alta densidade de ocupação e de impermeabilização do solo (ORSZÁGH, 2000).⁷² O sistema de biofiltro/leito cultivado se baseia no mesmo princípio que o *Traiselect*, sendo adaptado, no entanto, ao clima frio do norte da Europa. As águas servidas coletadas são processadas inicialmente em um tanque séptico, depois em um biofiltro aeróbico e finalmente em um filtro de fluxo horizontal subsuperficial, e a água depurada se enquadra nos padrões de qualidade da União Européia como apropriada para o banho (JENSSEN; VRÁLE, 2003). O mesmo sistema pode ser utilizado para depuração de

⁷⁰ No âmbito do projeto *Aquasave - Risparmio dell'acqua nelle abitazioni residenziali*, coordenado pela agência italiana para as novas tecnologias, a energia e o meio-ambiente (ENEA), foi construído na cidade de Bolonha um edifício residencial com 8 apartamentos, dotado de sistema de reaproveitamento de águas cinzas com escopo semelhante ao do *Well Butt*. O projeto *Aquasave* envolveu o governo central italiano, o governo regional da Emilia Romagna, a municipalidade de Bolonha e uma cooperativa habitacional local, e teve 50% dos custos financiados pela Comissão Européia, por meio do programa Life, para o meio-ambiente (ITALIA, 2002).

⁷¹ Ver prancha 4.3. Os sistemas *Well Butt*, *WME – 4* e *Aquacycle* foram desenvolvidos respectivamente pela empresa britânica *Water Dynamics* e pelas empresas alemãs GEP Umwelttechnik GmbH e Pontos GmbH / Hansgrohe AG.

⁷² Ver prancha 4.4

águas cinzas e negras conjuntamente, mas exige nesse último caso uma maior área de instalação. Jenssen e Vråle (2003) apresentam três sistemas de grande-porte em operação na Noruega: em Kaja, que recebe os efluentes de 33 dormitórios estudantis da Universidade Agrícola da Noruega; em Torvetua, atendendo a 130 moradores de um conjunto de moradias unifamiliares; e em Klosterenga, no centro de Oslo, o qual trata as águas cinzas de um edifício residencial com 33 apartamentos (JENSEN; VRÅLE, 2003; WEST, 2003)⁷³.

Além desses casos de aplicação do sistema de biofiltro/leito cultivado, entre as experiências européias recentes de manejo “ecológico” das águas servidas pode-se mencionar o edifício residencial *Ekoporten* (Suécia, 1995-96), o conjunto residencial *Flintenbreite* (Alemanha, 1999-2000), o edifício-sede da agência federal alemã de cooperação técnica internacional (GTZ) em Eschborn (Alemanha, 2005-06), o edifício *Wohnen und Arbeiten* (Alemanha, 1996-99), e o conjunto BedZED (Reino Unido, 1999-2001).⁷⁴

4.5 Coberturas verdes

O uso de uma camada de solo recoberta de vegetação sobre a cobertura dos edifícios é uma prática milenar, típica da arquitetura vernacular de diferentes regiões do mundo. No âmbito da *arquitetura sustentável*, é uma prática construtiva apoiada em tecnologias recentes, desenvolvidas a partir de pesquisas realizadas nas décadas de 1960 e 1970,⁷⁵ e que começaram a expandir-se a partir dos anos 1980, especialmente na Alemanha. Entre 1989 e 1996, os alemães decuplicaram a área de coberturas verdes em seu país, que passou de um milhão para 10 milhões m² (PECK; KUHN, 2003).

⁷³O sistema *Traiselect* foi desenvolvido na Universidade de Mons-Hainaut (Bélgica), sob coordenação de Joseph Országh. O sistema de biofiltro/leito cultivado (*biofilter/bontructed wetland* na literatura em língua inglesa) é uma tecnologia de uso consolidado na Escandinávia, cujo desempenho e aperfeiçoamento vêm sendo pesquisados pela Universidade Agrícola da Noruega, sob coordenação de Petter D. Jenssen (JENSEN; VRÅLE, 2003; WEST, 2001). Ver prancha 4.5

⁷⁴ Ver pranchas 4.6 a 4.8

⁷⁵ Na década de 1970, foi realizado um número significativo de pesquisas acerca da tecnologia dos diferentes componentes das coberturas com vegetação, inclusive estudos sobre agentes inibidores de raízes, membranas impermeabilizantes, materiais drenantes, solos de peso leve e espécies de plantas adequadas (PECK; KUHN, 2003).

Dunnett e Kingsbury (2004 apud BANTING *et al.*, 2005), ao examinar as tecnologias de construção de coberturas verdes em uso desde a primeira metade da década de 1990, identificam uma distinção tipológica entre coberturas “intensivas” e “extensivas”. A cobertura verde **intensiva** é tratada ou como um jardim ou como gramado convencional, sendo tipicamente instalada em coberturas planas e normalmente associada ao aproveitamento da área como espaço de permanência ou passeio, de acesso público ou particular. Para tanto, é utilizado uma camada de substrato mais profunda (15 a 20cm ou excepcionalmente até 1 ou 2m) e com maior conteúdo orgânico, capaz de dar suporte a uma maior variedade de espécies e a plantas de maior porte, inclusive pequenas árvores. Os sistemas intensivos exigem cuidados típicos de jardinagem, como irrigação, poda e fertilização constantes (BANTING *et al.*, 2005; DVORAK; DE LA FLEUR, 2004). O terraço-jardim do Ministério da Educação e Saúde, no Rio de Janeiro (Lúcio Costa e equipe, 1937-1943), aplicação do princípio proposto por Le Corbusier, com projeto paisagístico de Burle Marx, é um exemplo desse tipo de cobertura.

As coberturas verdes **extensivas**, por sua vez, são projetadas para serem praticamente auto-suficientes, exigindo o mínimo de manutenção, e irrigação apenas em caso de períodos prolongados de seca, em conformidade com uma abordagem mais passiva e funcional (BANTING *et al.*, 2005) (figuras 5.5 a 5.7). Para tanto, se utilizam forrações ou arbustos de pequeno porte, de espécies extremamente resistentes e preferencialmente nativas, cultivados em um substrato de pouca profundidade (3 a 15 cm, variando de acordo com o autor). Esse substrato é constituído de compostos especialmente formulados, com teor elevado de agregados porosos e baixo conteúdo orgânico, a fim de conservar o máximo de água possível (BANTING *et al.*, 2005; DVORAK; DE LA FLEUR, 2004). A cobertura extensiva é também chamada de “cobertura viva” e “cobertura ecológica”.⁷⁶

⁷⁶ *Living roof* e *Ecoroof*, respectivamente, na literatura em inglês.



Figura 4.5 Cobertura verde do tipo extensivo (vegetação tipo *Sedum*). Behnisch, Behnisch & Partner, Instituto Alterra, Wageningen, Países Baixos (1993-98). Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.



Figura 4.6 Cobertura verde do tipo extensivo (vegetação tipo *Sedum*). Bill Dunster Architects, Conjunto BedZed, Londres, Reino Unido, 1999-2001.



Figura 4.7 Cobertura verde do tipo extensivo (vegetação tipo *Sedum*). Olympia Einkaufs Zentrum, Munique, Alemanha. Fonte: FLORDEPOT, s/d.

A estrutura de uma coberta verde é determinada pelo tipo de vegetação escolhido e pela inclinação, sistema construtivo e características de drenagem da cobertura estrutural do edifício, entre outras variáveis. Tipicamente, é constituída por oito camadas: vegetação; substrato, substrato orgânico ou terra vegetal; camada de filtragem, normalmente uma manta geotêxtil; camada de drenagem (elementos à base de polietileno são o material mais utilizado na Europa); camada de proteção, normalmente painéis absorventes de material sintético com a função de barreira contra raízes; camada de isolamento térmico, sendo mais

usual o poliestireno expandido; camada impermeabilizante, à base de produtos betuminosos ou sintéticos; e finalmente a laje ou outro tipo de suporte estrutural (figura 5.8).

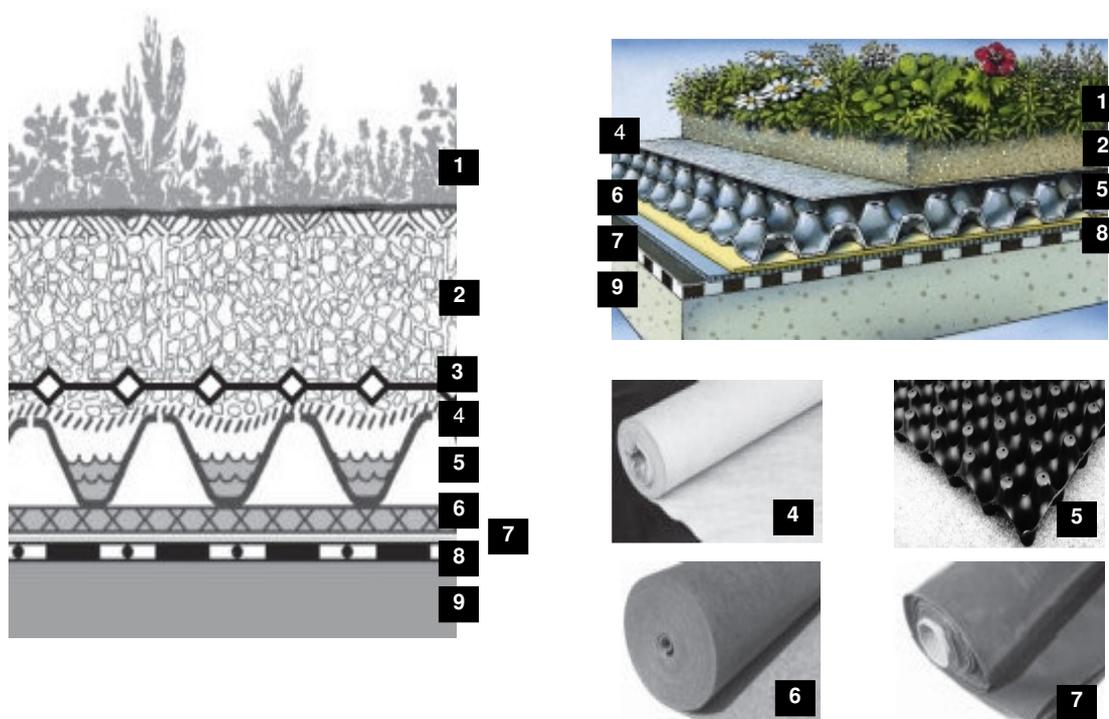


Figura 4.8 Sistema “Sedum Carpet” com Floradrain FD 25®. Exemplo de sistema patenteado de cobertura verde do tipo extensivo para coberturas planas com vegetação do tipo sedum. 1. Vegetação; 2. Substrato; 3. Fallnet-SK; 4. Manta de Flitrage SF; 5. Elemento de drenagem Floradrain FD 25; 6. Manta de proteção e retenção de água SSM 45; 7. Barreira contra raízes WSF 40; 8. Camada de impermeabilização da cobertura; 9. Laje. Fonte: ZINCO, s/d.

Observa-se que a tecnologia de construção de coberturas verdes apóia-se amplamente no uso de materiais sintéticos industrializados, como geotêxteis e termoplásticos. Em resposta à preocupação com o impacto ambiental atribuído à produção e à disposição final desses materiais, cabe mencionar a experiência da empresa alemã ZinCo, que, a partir de um enfoque ambiental mais amplo, desenvolve e comercializa sistemas de cobertura vegetal com a utilização de produtos reciclados (borracha, polietileno, poliestireno expandido para a produção de elementos de drenagem e tijolos cerâmicos triturados para o substrato), (GAUZIN-MÜLLER, 2002; ZINCO, s/d).

A literatura lista inúmeros efeitos positivos associados ao emprego de coberturas verdes, relativos ao desempenho térmico do edifício, ao isolamento acústico, ao aproveitamento de área útil adicional, entre outros. No entanto, é no âmbito da ecologia urbana que se compreende melhor a proposta do movimento da arquitetura sustentável de ajardinar a cobertura dos edifícios.⁷⁷ O princípio teórico é simples: restituir na cobertura, ainda que parcialmente, o que se eliminou do solo com a construção do edifício (GAUZIN-MÜLLER, 2002). Trata-se do princípio da “compensação orgânica”⁷⁸ (YEANG, 2001), que se preocupa com a reintrodução de matéria orgânica e biótica nas áreas urbanas, caracterizadas pela concentração de enormes massas inorgânicas. As coberturas verdes, nesse sentido, podem contribuir para o meio ambiente urbano em parte por que reproduzem processos naturais, mimetizando o ciclo hidrológico natural e interceptando a radiação solar (DVORAK; DE LA FLEUR, 2004). A literatura documenta a influência positiva das coberturas verdes sobre quatro aspectos do meio-ambiente urbano: o clima, a drenagem das águas pluviais, a qualidade do ar e a biodiversidade.

Em relação ao clima, o efeito esperado é a diminuição da *ilha de calor* urbano, considerada a mais óbvia manifestação climática da urbanização (LANDSBERG, 1981: 83) e reflexo do conjunto das mudanças microclimáticas decorrentes das alterações físicas impostas pelo processo de construção das cidades, como a retirada da vegetação e a impermeabilização do solo. Um estudo da *Environment Canada* estima uma diminuição de 1 a 2°C na temperatura média de verão e de 1°C na ilha de calor de Toronto, mediante o ajardinamento de 6% das coberturas da cidade, resultando na diminuição em 5% do consumo de eletricidade com sistemas de ar condicionado e refrigeração (DEJNEKA, 2004).

Em relação à drenagem pluvial, as coberturas verdes têm a capacidade de reter um percentual significativo da água da chuva e de retardar o momento de pico do *run off* proveniente da cobertura dos edifícios. A capacidade de absorção depende de variáveis como a espessura do substrato e o tipo de vegetação utilizado na cobertura e a frequência e intensidade das

⁷⁷ Essa relação se manifesta na própria definição de cobertura verde apresentada por Banting et al. (2005, 34, grifo nosso, tradução nossa): “[...] uma abordagem inovadora, mas já consolidada, de **desenho urbano**, que utiliza materiais vivos para tornar o ambiente urbano mais habitável, eficiente e sustentável”.

⁷⁸ Além do ajardinamento das coberturas, a manutenção de parques e outras áreas verdes urbanas, a arborização das vias e o ajardinamento das fachadas dos edifícios são práticas de compensação orgânica.

chuvas, tendo sido registrados valores que variam entre 70 e 92% no verão e 40 e 59% no inverno, com total anual entre 40 e 100%, e tempos de retardamento do pico de *run off* entre uma hora e duas horas e meia (BANTING *et al.*, 2005). Em função dessas propriedades, as cobertas verdes podem constituir-se em um instrumento importante de gestão urbana das águas pluviais.

Em relação à qualidade do ar, a literatura registra a capacidade das cobertas verdes de produzir oxigênio e remover da atmosfera gás carbônico e outros poluentes, além de poeira e partículas em suspensão (DEJNEKA, 2004; TOITURE VÉGÉTALE, 2007). Quanto à biodiversidade, as coberturas vegetais são apontadas como refúgios para pássaros, aranhas, borboletas, besouros e outros invertebrados, além de espécies vegetais nativas (DVORAK; DE LA FLEUR, 2004; GAUZIN-MÜLLER, 2002). Articulados em escala urbana com áreas verdes e de preservação ambiental, podem contribuir na estruturação de corredores ecológicos (DVORAK; DE LA FLEUR, 2004; YEANG, 2001).

Em relação ao edifício, os dois mais importantes efeitos de uma cobertura verde dizem respeito ao desempenho térmico e à durabilidade da cobertura estrutural. O ajardinamento da cobertura reduz as temperaturas internas de verão pelo efeito combinado de sombreamento, isolamento térmico e resfriamento por evapotranspiração. Banting *et al.* (2005) apontam dois estudos que registram uma diminuição de pelo menos 3°C na temperatura interna do edifício, quando a temperatura externa atinge de 25 a 30°C. Sua inércia térmica contribui também para a redução da amplitude térmica e da carga térmica de calefação. Ao proteger os elementos constituintes da cobertura, em especial a camada de impermeabilização contra as temperaturas elevadas, as mudanças bruscas de temperatura e a radiação ultravioleta do sol, a cobertura verde confere maior durabilidade a esses elementos, reduzindo o aparecimento de patologias nas lajes de cobertura (DEJNEKA, 2004; POUHEY *et al.*, 1998).

Prancha 4.1 Gestão das águas servidas: separação de urina e fezes

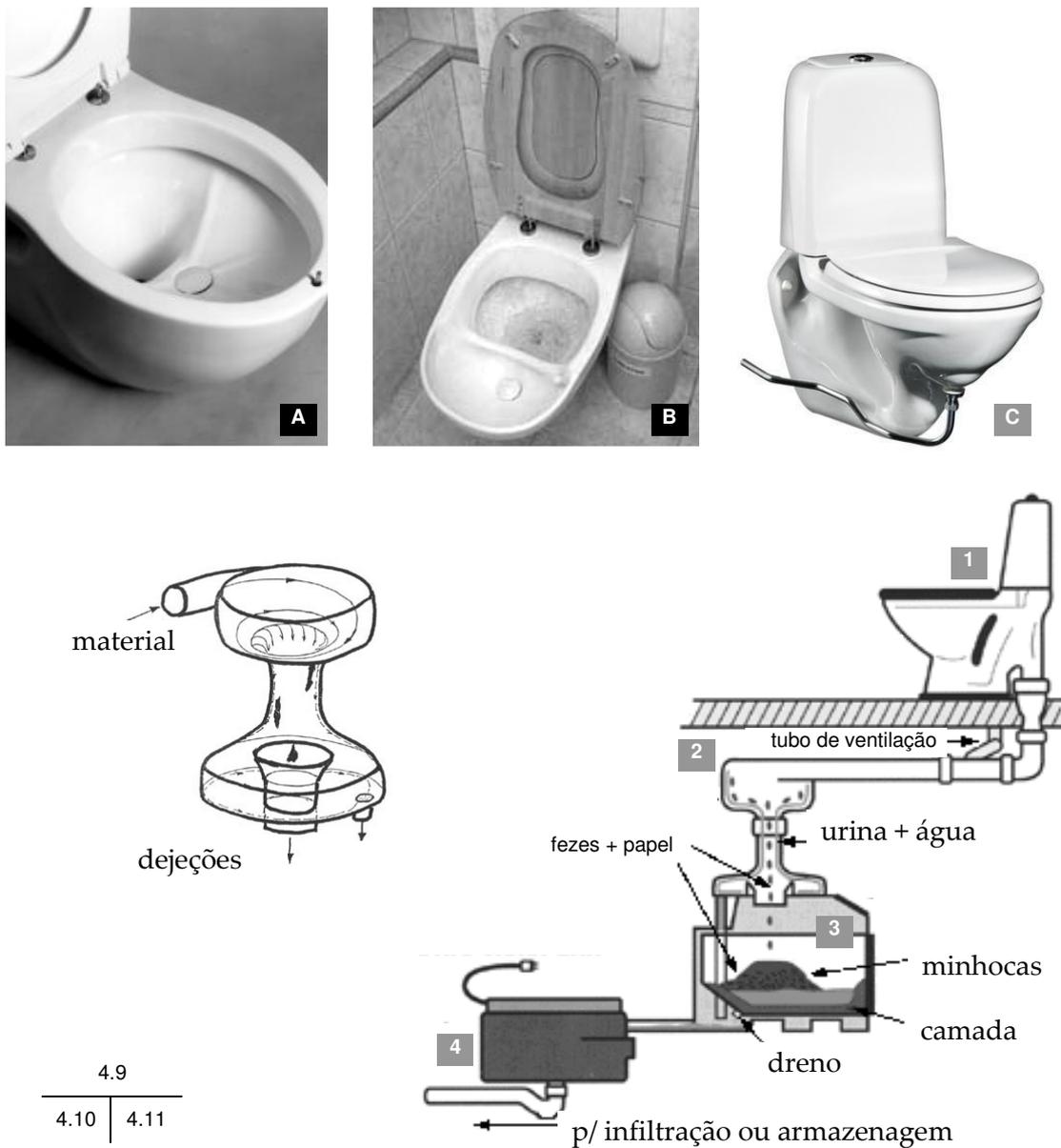


Figura 4.9 Modelos de bacia sanitária com separação de urina: A. NoMix (Roediger Vakuum und Haustechnik GmbH, Alemanha), Fonte: NOVAQUATIS, 2005[?]; B. WC-Dubbletten (BB Innovatör/ BB Innovation & Co AB, Suécia), Fonte: BB INNOVATÖR/ BB INNOVATION & CO AB, s/d; C. WC 393U (Villeroy & Boch Gustavsberg AB, Suécia/Alemanha) Fonte: GUSTAVSBERG, 2006.

Figura 4.10 Separador *Aquatron* (Aquatron International AB, Suécia). Separa até 98% da urina contida na defluência de uma bacia sanitária com volume reduzido de descarga (3-6 l), por meio de força centrífuga, gravitacional e da força cinética da água de descarga. Fonte: AQUATRON INTERNATIONAL AB, s/d, tradução nossa.

Figura 4.11 Sistema sanitário *Aquatron 4x100* (Aquatron International AB, Suécia). A partir de uma bacia sanitária com volume reduzido de descarga (3-6 l) (1), a água servida atravessa o separador *Aquatron* (2) para separação de fezes e urina. As fezes são lançadas na bio-câmara para vermicompostagem (3), enquanto a urina atravessa uma unidade de ultra-violeta (4) para desinfecção, podendo ser infiltrada no solo ou armazenada para posterior utilização como fertilizante. Fonte: AQUATRON INTERNATIONAL. s/d, tradução nossa.

Prancha 4.2 Gestão das águas servidas: Manejo das fezes

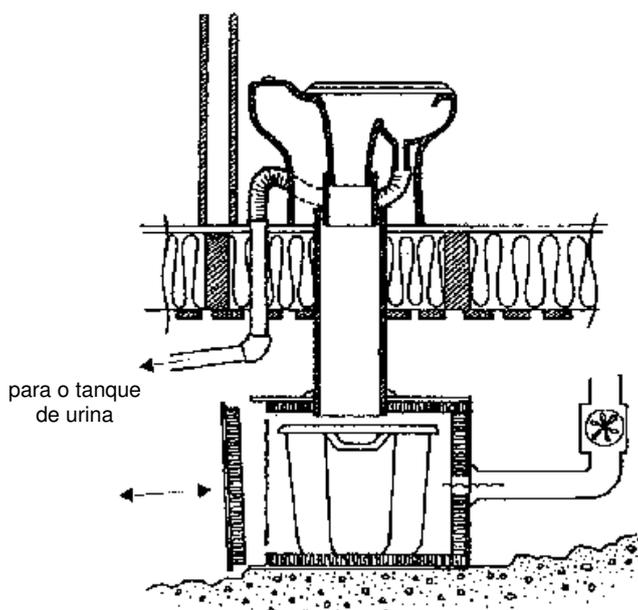
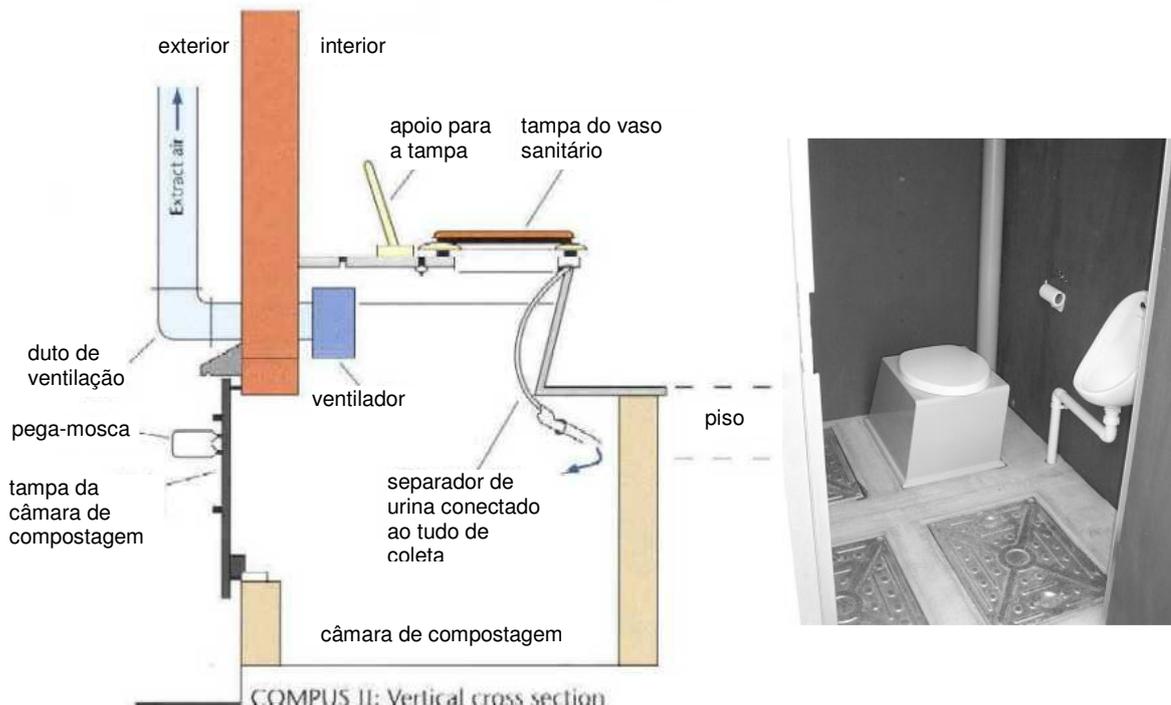


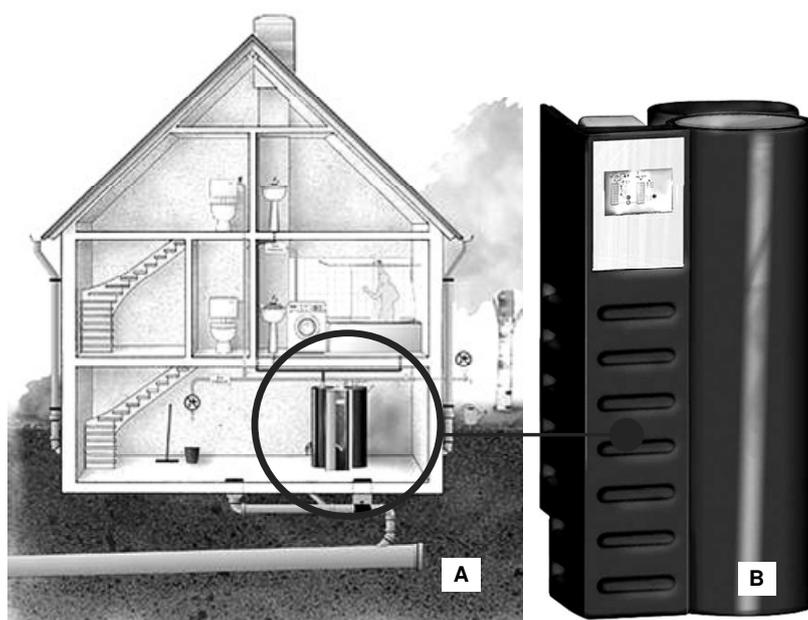
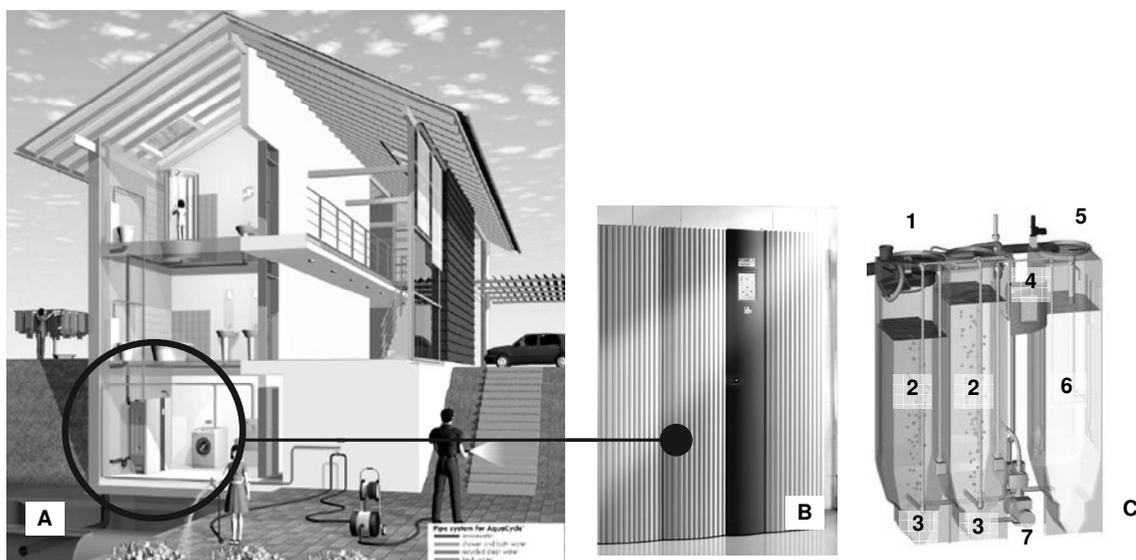
Figura 4.12 Sistema sanitário COMPUS II (Natsol Ltd, Reino Unido), corte transversal. Sistema de fossa seca com tratamento primário das fezes por compostagem. Fonte: ENGLAND AND WALES, s/d.

Figura 4.13 Sistema sanitário COMPUS TWIN (Natsol Ltd, Reino Unido), vista interna do banheiro. Utilização de bacia sanitária com separação de urina instalada em caixa protetora em termoplástico. Sistema de fossa seca com duas câmaras de processamento primário por desidratação. Cada uma é utilizada até o limite de sua capacidade, por cerca de seis meses. Durante os seis meses seguintes, enquanto a segunda câmara está em uso, a primeira é isolada até que se complete o processo de desidratação. Fonte: NATSOL, em 2005.

Figura 4.14 Sistema sanitário WM-Barrel (Wost Man Ecology AB, Suécia), corte transversal. Sistema de fossa seca que utiliza bacia sanitária com separação de urina e acomodação das fezes em um recipiente plástico conectado a um duto de ventilação mecânica de baixa voltagem. Fonte: ETNIER et al, 1997 apud WEST, 2001.

4.12	4.13
4.14	

Prancha 4.3 Sistemas comerciais compactos (Alemanha)



4.15

4.16

Figuras 4.15 Sistema *Aquacycle* de reaproveitamento da água servida proveniente de lavatórios, chuveiros e banheira. A. Ilustração esquemática mostrando a localização do módulo de depuração no subsolo da casa e suas conexões com os pontos de coleta de água servida e de consumo da água depurada. B. Vista externa do módulo de depuração. C. Ilustração esquemática dos componentes internos do módulo de depuração: 1. Unidade de filtragem com controle automático; 2. Câmaras primárias e secundárias de filtragem mecânica e biológica; 3. Evacuação do lodo residual para a rede convencional de esgoto sanitário; 4. Painel de controle; 5. Unidade de radiação ultra-violeta; 6. Armazenagem da água depurada; 7. Bomba. Fonte: AQUACYCLE 900..., s/d.

Figura 4.16 Sistema *WME - 4* de reaproveitamento da água servida proveniente de lavatórios, chuveiros e banheira. A. Ilustração esquemática mostrando a localização do módulo de depuração no subsolo da casa e suas conexões com os pontos de coleta de água servida e de consumo da água depurada. B. Vista externa do módulo de depuração. Fonte: GFP LIMWFI TTECHNIK s/d.

Prancha 4.4 Sistema Traiselect (Bélgica)

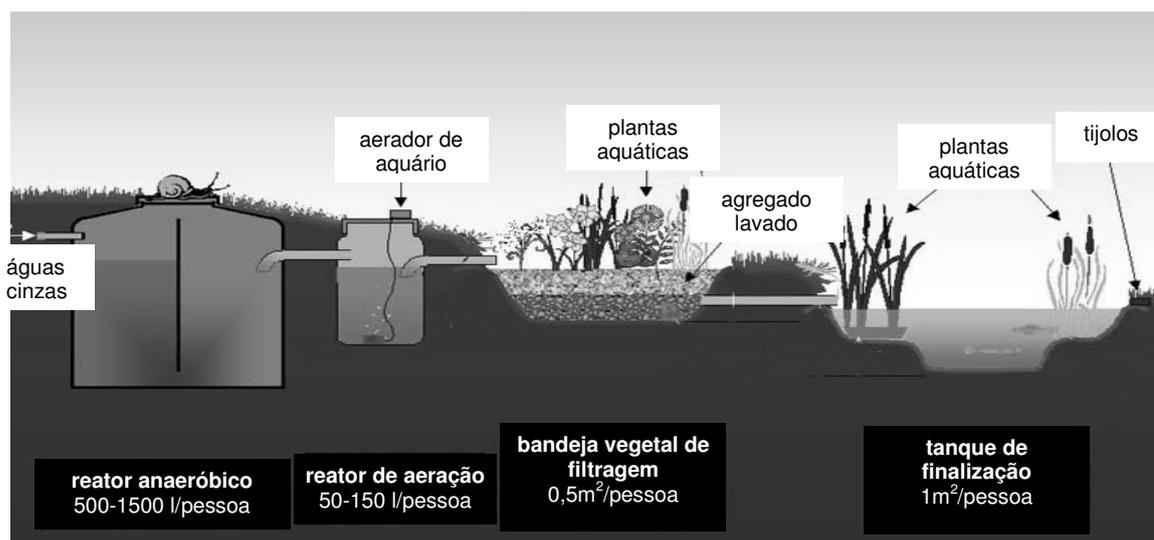


Figura 4.17 Sistema *Traiselect* de depuração de águas cinzas. Ilustração esquemática. Fonte: ORSZÁGH, 2000.

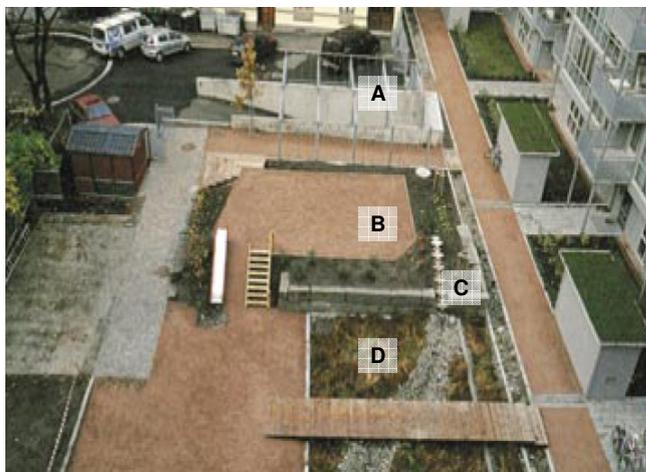
Figuras 4.18 Exemplo de "bandeja filtrante" utilizada como elemento ornamental integrado ao jardim da residência. Fonte: ORSZÁGH, 2000.

Figura 4.19 Exemplo de "bandeja filtrante". Detalhe mostrando espécies vegetais utilizadas em climas temperados. Fonte: ORSZÁGH, 2000.

Figura 4.20 Exemplo de tanque de finalização construído em caixa de madeira acima do nível do solo e dimensionado para uma família de 4 pessoas. Fonte: ORSZÁGH, 2000.

4.17	
4.18	4.19
4.20	

Prancha 4.5 Edifício Klosterenga (Noruega)



4.21	4.22
4.23	
4.24	

Sistema de biofiltro e leito cultivado para depuração de águas cinzas, Edifício Klosterenga, Oslo, Noruega. A. Pérgola do jardim; B. Talude (abriga os biofiltros aeróbicos); C. *Flowform*; D. Leito cultivado subsuperficial.

Figura 4.21 Vista aérea durante a fase final de construção. Fonte: ECOSAN NORWAY, 2003.

Figura 4.22 Vista da pérgula do jardim, mostrando à direita parte do talude, na fase final de construção. Fonte: SPREAD CD RES, 2002.

Figura 4.23 Vista da fachada sul do edifício, mostrando o sistema instalado na área de convivência do edifício, no interior do quarteirão, integrado ao paisagismo. Fonte: THE IDEAS BANK, s/d.

Figura 4.24 Detalhe do talude que abriga os biofiltros aeróbicos, mostrando a *Flowform*, elemento paisagístico que permite aeração extra da água durante os meses de verão. Fonte: NORSKE ARKITEKTERS LANDSFORBUND, s/d. O *Flowform Method* foi descoberto e descrito pelo escultor John Wilkes, e resulta em cavidades conformadas para acomodar ciclos espontâneos de propagação de ondas de forma assimétrica e rítmica a partir de um fluxo constante de água (KILNER; YANG, 2000).

Prancha 4.6 Projeto BedZed (Reino Unido)

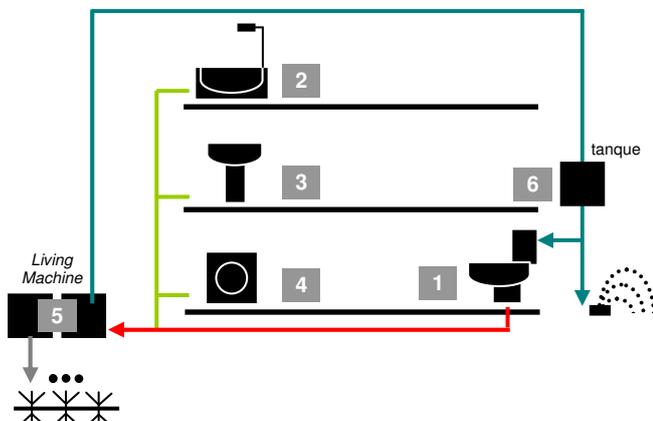


Figura 4.25 Representação esquemática do sistema de manejo de águas servidas do conjunto BedZE . As águas negras, provenientes de bacias sanitárias de fluxo dual e volume reduzido de descarga (1), e as águas cinzas, provenientes de banheiras e chuveiros (2), lavatórios (3), máquinas de lavar roupa (4) e pias de cozinha, são processadas conjuntamente em uma *Living Machine* (5), que retorna um sedimento de cuja compostagem se obtém adubo, e água depurada, que é armazenada conjuntamente com a água pluvial coletada (6) e reutilizada na rega de jardins e no acionamento das bacias sanitárias. Fonte: autor, a partir de ANTUNES, 2004; TWINN, 2003.



4.25	
4.26	4.27
4.28	



Figura 4.26 Bill Dunster Architects (atual ZEDfactory), Clubhouse at BedZED, Londres (1999-2001), vista externa mostrando ao centro a estufa onde encontra-se instalada a *Living Machine* para depuração das águas servidas. À esquerda da estufa, central de produção de energia e calor (CPH); à direita, centro de convivência e vestiários. Fonte: ITZKAN, 2006.

Figura 4.27 Bill Dunster Architects (atual ZEDfactory), Clubhouse at BedZED, Londres (1999-2001), vista parcial da *Living Machine* instalada no interior do edifício. FONTE: ZEDFACTORY, s/d.

Figura 4.28 Representação esquemática da *Living Machine* instalada no conjunto BedZed, Reino Unido. 1. Reator Anaeróbico; 2. Drenagem de sujeira (tanque fechado); 3. Zona de baixo teor de oxigênio; 4. Reator aeróbico fechado; 5. Reatores aeróbicos abertos; 6. Clarificador; 7. câmaras ecológicas; 8. Água depurada para reutilização; 9. Tanque de biosólidos; 10. Sedimento para reciclagem; 11. Descarga de material limpo. Fonte: ANTUNES, 2004. *Living Machine* é uma tecnologia de origem norte-americana, desenvolvida no começo da década de 1990, que utiliza uma seqüência de tanques contendo plantas, algas, peixes, crustáceos, moluscos e uma diversidade de microorganismos, constituindo micro-ecossistemas “projetados” para digerir ou decompor resíduos (LIVING MACHINE, 2007, WOLOVITZ, 2000).

Prancha 4.7 Edifício Wohnen und Arbeiten (Alemanha)

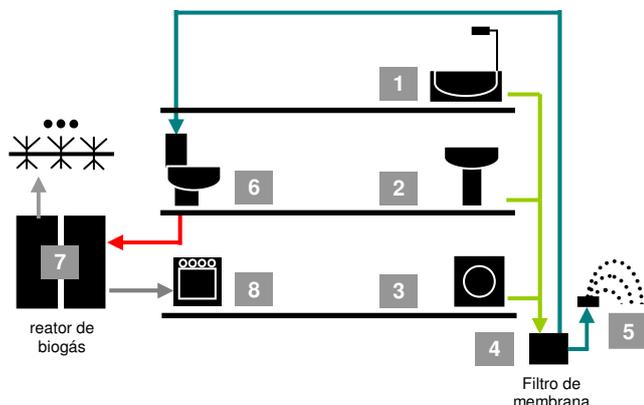
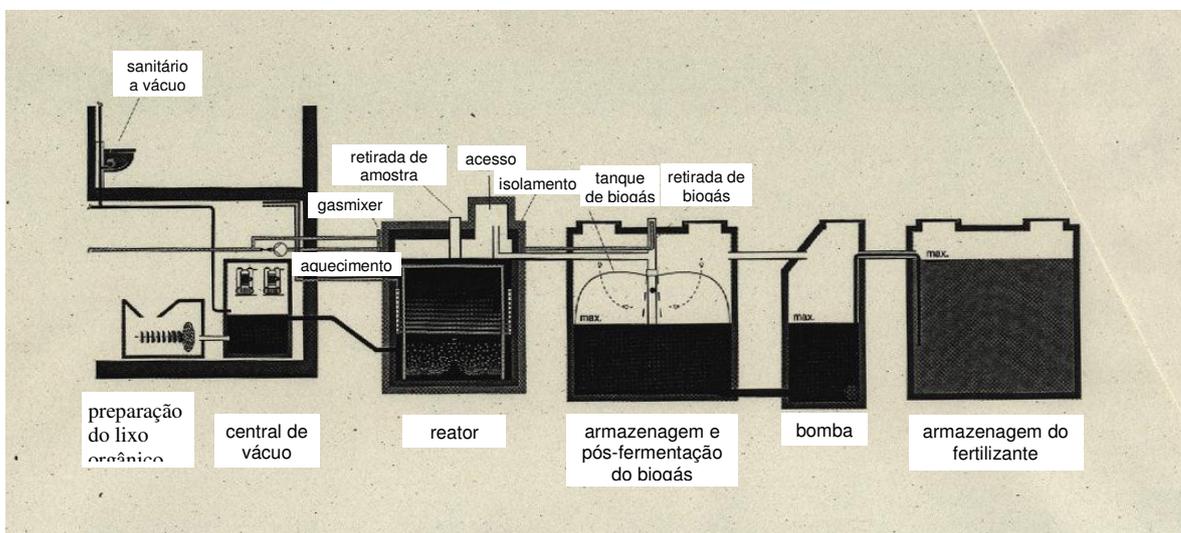


Figura 4.29 Representação esquemática do sistema de manejo de águas servidas do edifício *Wohnen und Arbeiten*. As águas cinzas provenientes de banheiras e chuveiros (1), lavatórios (2) e máquinas de lavar roupa (3) são depuradas em um filtro de membrana (4) e reaproveitadas para a rega de jardins (5) e o acionamento das bacias sanitárias à vácuo (6). As águas negras provenientes das bacias sanitárias são conduzidas conjuntamente com os restos de cozinha para um biorreator (7), de cujo processamento se obtém biogás para a alimentação das cozinhas (8) e fertilizante para a agricultura. Fonte: autor, a partir de GAUZIN-MÜLLER, 2002; KOETSE, 2005; DELLESKE; LANGE; MÜLLER-CLEMM, 2005[?].



4.29		
	4.30	
4.31	4.32	4.33

Figura 4.30 Representação gráfica das instalações de processamento das águas fecais e dos restos de cozinha para a produção de biogás e fertilizante. Fonte: HOFFMANN, 2000.

Figuras 4.31 e 4.32 Vistas externas do domus do reator de biogás (instalado no subsolo, ao lado do edifício). Fonte: DELLESKE; LANGE; MÜLLER-CLEMM, 2005[?] e PASSIVHAUS..., s/d.

Figura 4.33 Vista do filtro de membrana utilizado para a depuração das águas cinzas. Fonte: DELLESKE; LANGE; MÜLLER-CLEMM, 2005[?].

Prancha 4.8 Edifício Ekoporten (Suécia)

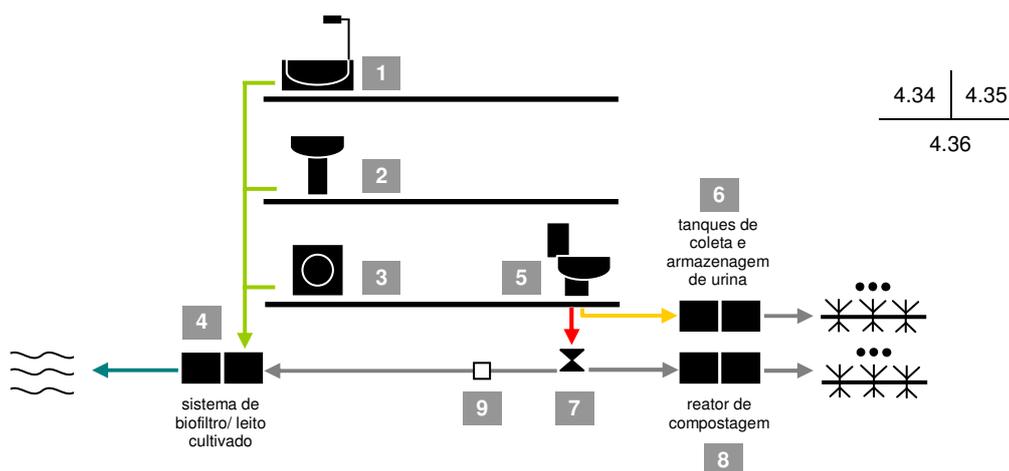


Figura 4.34 Wiberg, Krister; Morling Johan. Edifício Ekoporten, Norrköping, Suécia (reabilitação ecológica, 1994-1996; construção original, 1967); vista da fachada sul. Fonte: EKOPORTEN..., 1998. O edifício abriga 18 apartamentos em 3 pavimentos, tendo sido acrescentado um quarto pavimento que abriga áreas coletivas de recreação e estudo.

Figura 4.35 Equipamento de compostagem utilizado no edifício Ekoporten. Fonte: WIMBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004.

Figura 4.36 Representação esquemática do sistema de manejo de águas servidas do edifício *Ekoporten*, Norrköping, Suécia (construção original, 1967; reabilitação ecológica, 1994-1996). As águas cinzas provenientes de banheiras e chuveiros (1), lavatórios (2) e máquinas de lavar roupa (3) são depuradas em um sistema de biofiltro/leito cultivado (4) e lançadas em um córrego próximo. O edifício utiliza bacias sanitárias com separação de urina e descarga hídrica (5), a partir das quais a urina é conduzida para um tanque de coleta e um de armazenamento (6), e posteriormente utilizada por agricultores locais para a fertilização de pastagens, enquanto as águas negras são conduzidas a separadores *aquatron* (7), que separam o conteúdo sólido (fezes) do líquido (água de descarga). O conteúdo fecal é processado em um reator de compostagem (8), conjuntamente com os restos de cozinha, cortes de poda e lascas de madeira, produzindo adubo utilizado pelos próprios moradores na horta e nos jardins do edifício, enquanto a parte líquida é submetida a um processo de desinfecção por exposição a radiação ultravioleta (9) e depurada conjuntamente com as águas cinzas (4). Esse sistema permite a recuperação de 93% do nitrogênio, 92% do fósforo e 87% do potássio contido nas dejeções humanas. Fonte: autor, a partir de COST ACTION C8, s/d; VINNÉRÁS; JÖNSSON, 2003; WIMBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004)

Capítulo 5

A questão dos materiais

5.1 A questão dos materiais

Se no âmbito da arquitetura sustentável a questão da energia e da água diz respeito fundamentalmente ao padrão de consumo desses recursos ao longo da vida útil do edifício, a questão dos materiais envolve um escopo mais amplo de análise. O problema pode ser interpretado como a necessidade de uma transformação do “metabolismo” da construção civil em direção a um padrão mais sustentável. “Metabolismo sócio-econômico” é definido como o fluxo de materiais e de energia entre a sociedade e a natureza (FISCHER-KOWASKI; WEISZ, 1999). Essa metáfora expressa a idéia de que a economia, compreendida como o conjunto das atividades humanas relacionadas à produção, distribuição, troca e consumo de bens e serviços, é como um organismo, um sistema físico que extrai recursos de seu meio externo, e sobre ele despeja os resíduos resultantes de seus processos materiais internos (FISCHER-KOWASKI; HABERL; PAYER, 1994; MARTINEZ-ALIER, 2004).⁷⁹

O século XX testemunhou uma transformação radical do metabolismo sócio-econômico mundial, marcada pelo aumento exponencial do fluxo de matérias-primas retiradas do meio-ambiente, do volume de resíduos lançados ao meio-ambiente e da multiplicidade de materiais produzidos e utilizados pelo homem. Alguns dados podem sinalizar a extensão desse fenômeno: ao longo do século XX, o número de elementos químicos utilizados pela indústria passou de cerca de vinte para todos os 92 que compõem a tabela periódica; nesse período, foram introduzidas mais de 100 mil substâncias químicas sintéticas, produzidas a partir do processamento do petróleo e freqüentemente tóxicas ou resistentes à reabsorção pelo meio ambiente após sua vida útil; em 1995 apenas, cerca de 10 bilhões de toneladas de minerais, metais, produtos da madeira e materiais sintéticos foram extraídos ou produzidos mundialmente, sendo que esse valor se duplicaria ou triplicaria com a inclusão dos fluxos latentes de materiais residuais, sem valor comercial e não incluídos na estatística oficial, associados à extração de matérias primas (GARDNER; SAMPAT, 1998).

⁷⁹ O conceito de metabolismo, introduzido por Moleschott, em 1857, teria sido aplicado à sociedade pela primeira vez por Marx e Engels, em 1867 (ver Capítulo 1) e a noção de metabolismo dos grupos humanos aparece desde o século XIX em trabalhos de sociologia, antropologia e geografia social, sendo que as primeiras tentativas de quantificar os fluxos metabólicos surgiram na segunda metade da década de 1960. Na década seguinte foram introduzidas as expressões “metabolismo industrial”, “ecologia industrial” e, posteriormente, “metabolismo sócio-econômico” (DUCHIN; HERTWICH, 2003; FISCHER-KOWASKI, 2003).

No âmbito da arquitetura sustentável, a questão dos materiais diz respeito aos fluxos metabólicos associados à obtenção, ao uso e ao descarte dos materiais e componentes utilizados na construção do edifício. Esses processos são considerados como integrantes do “ciclo de vida” do edifício, o que implica que a carga ambiental atribuída ao edifício inclui aquela atribuída ao processo de obtenção e ao futuro descarte dos materiais utilizados em sua construção.⁸⁰ Te Dorsthorst e Kowalczyk (2002) propõe representar essa relação como o encadeamento do ciclo de vida dos materiais ao ciclo de vida do edifício, preferindo considera-los como processos autônomos, ainda que imbricados (figura 5.1).

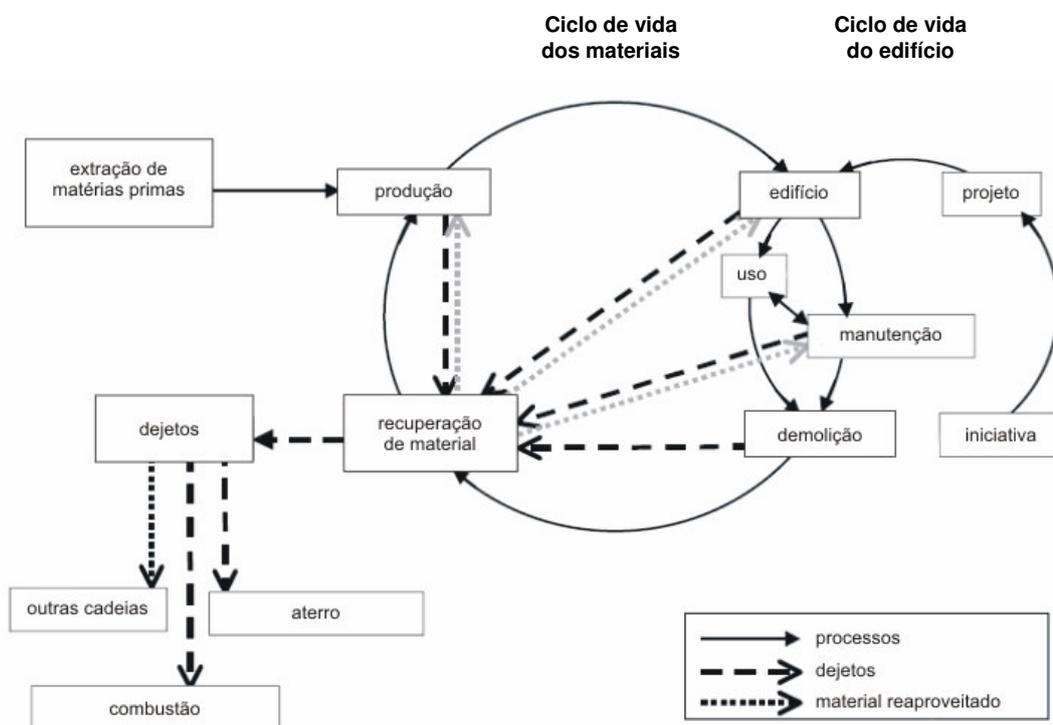


Figura 5.1 Ciclo de vida dos materiais, ciclo de vida do edifício e gestão dos resíduos.

Fonte: TE DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002.

⁸⁰ Cardoso *et al.* (2002) segmentam os insumos da construção em “materiais básicos”, que no canteiro de obra geram operações de conformação (cimento, cal, areia, pedra britada, tijolos, madeira, etc.), “componentes”, que geram operações de associação e/ou montagem (esquadrias, componentes de instalações hidráulicas, etc); e “elementos” e “sub-sistemas”, que geram sobretudo operações de montagem (banheiro pronto, fachadas pré-fabricadas, etc). O termo “materiais”, sem especificação ou indicação em contrário, refere-se às três categorias conjuntamente.

As atividades que constituem o ciclo de vida ⁸¹ dos materiais de construção impõem diferentes tipos de carga ao meio ambiente: emissões atmosféricas, contaminação da água e do solo, degradação de *habitats* naturais e da paisagem, entre outras, as quais vinculam a produção arquitetônica ao esgotamento de recursos naturais, ao rompimento em diferentes escalas do equilíbrio de ecossistemas naturais e à exposição das populações humanas a substâncias e produtos tóxicos (figura 5.2).

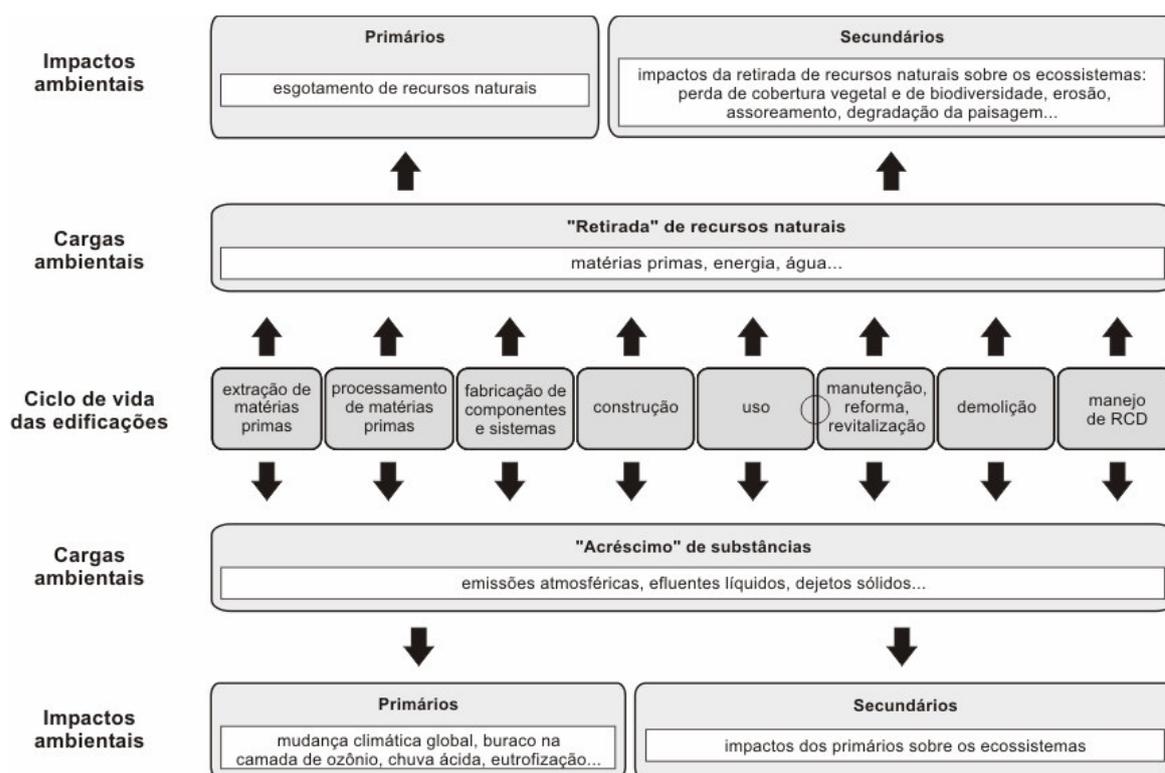


Figura 5.2 Ciclo de vida das edificações, cargas e impactos ambientais. Fonte: modificado de ANNEX 31..., 2004.

O desígnio de uma prática arquitetônica mais sustentável em relação aos sistemas naturais é a redução dessas cargas ambientais. Um edifício construído conforme as práticas convencionais na atualidade é um artefato extremamente complexo do ponto de vista de sua constituição material, correspondendo a um arranjo de grande diversidade de materiais: aço, alumínio e diversos outros metais, concreto, rochas naturais, cerâmica, vidro, madeira e

⁸¹ Na Biologia, a expressão "ciclo de vida" designa a seqüência de estágios pelos quais passa um dado ser vivo do nascimento até a morte. A abordagem do "ciclo de vida" propõe tratar os problemas ambientais sob uma perspectiva sistêmica, reconhecendo a subordinação de processos individuais a cadeias estruturadas que têm como elemento integrador uma função específica. O chamado ciclo de vida dos edifícios é normalmente

outras fibras naturais, plásticos, fibras sintéticas, resinas, solventes e uma grande quantidade de outros produtos químicos. Dessa forma, o conceito de “ciclo de vida” do edifício implica em considerar como um processo integrado, cuja finalidade última é a provisão do abrigo, um conjunto vastíssimo de atividades, inter-relacionadas mas dispersas, envolvendo uma multiplicidade de práticas e tecnologias, em diversas escalas (SRINIVAS, s/d).

A redução dos impactos ambientais associados à construção, manutenção e demolição dos edifícios envolve mudanças incrementais nas práticas e tecnologias utilizadas nos processos individuais que constituem o ciclo de vida dos materiais (AGENDA 21..., 1999; ANNEX 31..., 2004). Esse problema pertence fundamentalmente ao campo da tecnologia da produção e pode ser expresso em termos de aumento da eficiência no uso de recursos (matérias primas, água, energia), redução do volume e aumento do controle dos refugos (emissões atmosféricas, efluentes líquidos, dejetos sólidos), substituição de matérias primas ou produtos intermediários tóxicos, entre outros. Desde o início da década de 1970, esse processo incremental de “modernização ecológica” da produção industrial vem sendo impulsionado nos países centrais pela crise energética, pela competição econômica e pelas políticas ambientais.

No entanto, além de mudanças incrementais nos processos individuais, uma prática construtiva mais sustentável implica em uma transformação substancial do padrão vigente de trocas materiais com o meio ambiente, em direção a um processo de produção mais cíclico, a um sistema tecnológico menos dependente de recursos naturais não-renováveis e de substâncias químicas perigosas, e mais autônomo em escala local, menos dependente, portanto, do transporte de materiais a longas distâncias. Alguns autores comentam ainda a necessidade de um padrão de consumo condicionado menos por fatores como ciclos da moda, *status* social e afluência pessoal. Gardner e Sampat (1998), nesse sentido, referem-se ao conceito de “consumo suficiente”, ao seja, baseado na avaliação das “necessidades reais” dos consumidores.

O modelo de produção hoje predominante no mundo é linear: produtos são projetados, construídos, utilizados e rejeitados, sendo esse processo marcado em seu início pela extração

de matérias primas virgens e em sua etapa derradeira pelo descarte dos materiais processados, agora convertidos em lixo e refugo (AYRES, 1989). Na medida em que os materiais perpassam esse processo em intervalos muito curtos de tempo, ou que o volume de materiais consumidos é muito elevado, esse modelo tende tanto à exaustão dos recursos naturais, quanto à saturação da capacidade dos sistemas naturais de acomodar rejeitos. Alternativamente, em um modelo de produção cíclico, os rejeitos são considerados como matéria-prima secundária e realimentam o sistema produtivo, de onde se espera a redução do volume de refugos a serem descartados e da demanda por matérias primas virgens. Essa prática é denominada genericamente de “reaproveitamento” de materiais ou produtos.

Há três modalidades de reaproveitamento de produtos: a reutilização, que consiste no aproveitamento do produto com procedimentos mínimos de limpeza, conserto ou renovação; a reciclagem, que consiste no aproveitamento não do produto em si, mas de seus materiais constituintes como matéria prima para novos produtos; e a revalorização, que consiste em se extrair valor de produtos dos quais não se poderia beneficiar pelos processos anteriores, como a obtenção de biogás e adubo a partir de lixo orgânico, ou de eletricidade e calor a partir da combustão de dejetos com alto teor energético. Em relação à construção civil, alguns autores consideram ainda a readaptação do próprio edifício, ou de sua estrutura, para novos usos, no lugar de sua demolição, como estratégia de reaproveitamento de seu conteúdo material (figura 5.3)

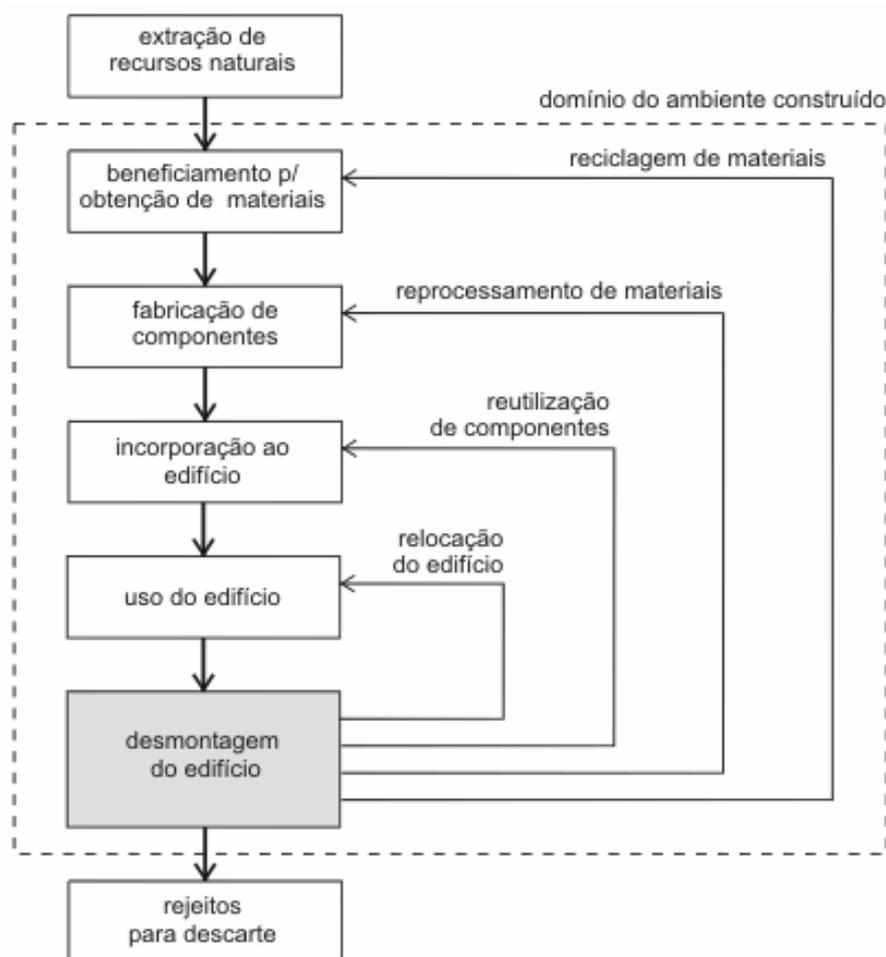


Figura 5.3 Cenários de vida útil possíveis para o estoque edificado. Fonte: CROWTER, s/d.

O sistema tecnológico vigente depende, em grande escala, de recursos naturais não renováveis, inclusive o petróleo e demais matérias primas de origem fóssil. De acordo com Gardner e Sampat (1998), um sistema tecnológico mais sustentável em relação aos sistemas naturais implica na substituição de materiais avançados, derivados de reservas renováveis de combustíveis fósseis, por materiais também avançados, mas derivados de reservas renováveis de biomassa. Swaminathan (apud SACHS, 2002, p. 29) afirma que “uma nova forma de civilização, fundamentada no aproveitamento sustentável dos recursos renováveis, não é apenas possível, mas essencial”. O desafio posto, nas palavras de Sachs, é a “*invenção de uma moderna civilização de biomassa*” (2002, p. 30, grifo do autor), onde as necessidades

materiais humanos são atendidas com base no uso primordialmente de madeira, bambu, fibras naturais, biocombustíveis. Não se trata de um retorno a sistemas tecnológicos tradicionais, mas à “decodificação” e “recodificação” do conhecimento étnico em conjunto com a utilização ao máximo das ciências de ponta, em especial da biologia e da biotecnologia, que tem o papel primordial de propiciar um aumento na produtividade da biomassa e de permitir a expansão da faixa de produtos dela derivados. A invenção de uma moderna civilização da biomassa, ainda segundo Sachs (2002), demanda também o desenvolvimento de uma “química verde”, que venha a complementar, ou mesmo a substituir, a petroquímica.

Diante desse quadro, o discurso adotado formalmente pela União Europeia em seu “Sexto Programa de Acção em Matéria de Ambiente” é a defesa de uma política econômica orientada para a obtenção de uma “dissociação global entre a utilização de recursos e o crescimento econômico”, por meio do aumento significativo da eficiência, da desmaterialização da economia e da prevenção dos resíduos, (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2002). A “Estratégia Temática Sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais” reitera essa posição, estabelecendo como objetivo geral para os países europeus a redução dos “impactos ambientais negativos decorrentes da utilização dos recursos naturais numa economia em crescimento” (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005, p. 4).⁸²

Nos países europeus, não diferentemente dos demais, a construção, manutenção e demolição dos edifícios e obras de infra-estrutura respondem por uma parcela significativa do metabolismo sócio-econômico. Na União Europeia-15,⁸³ o consumo de minerais para a construção civil (areia, cascalho, pedra britada, pedra de corte, argila...) é de cerca de 2,6 bilhões de toneladas ao ano (CONSTRUCTION MINERALS, c1993-2004), e responde por mais de 40% do consumo material total em 10 dos 15 países membros (WEISZ *et al.*, 2005) (figura 5.4).

⁸² Entre as iniciativas da União Europeia no âmbito da reorientação do metabolismo sócio-ambiental encontra-se os projetos ConAccount e Eurostat MFA, o livro verde sobre Política Integrada do Produto e a política de gestão de resíduos.

⁸³ Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, França, Finlândia, Grécia, Itália, Irlanda, Luxemburgo, Países Baixos, Portugal, Reino Unido e Suécia.

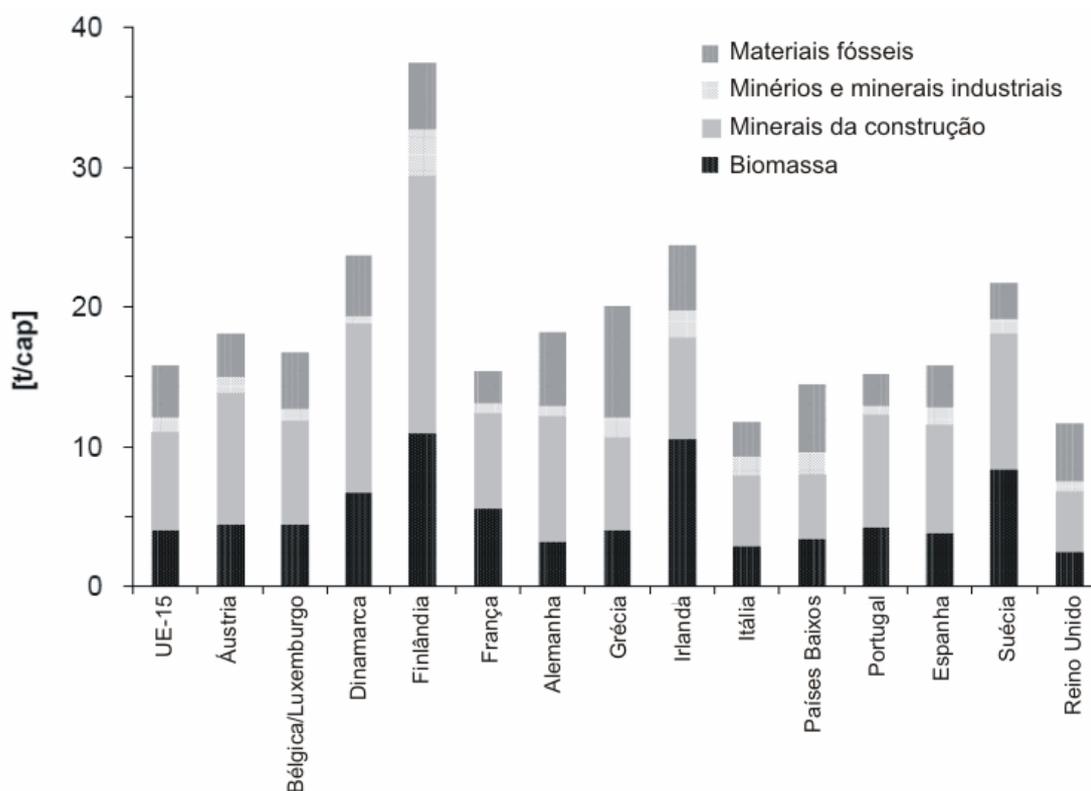


Figura 5.4 Nível e composição do consumo material doméstico *per capita* (*Domestic Material Consumption - DMC*) de países da União Europeia (2000). O DMC corresponde ao total produzido dentro do território em estudo, mais as importações, menos as exportações, sendo usualmente medido em toneladas. Fonte: WEISZ *et al.*, 2005 (tradução nossa).

Convertidos em resíduos de construção e demolição, os minerais para a construção civil respondem por dois terços de todo o lixo produzido na Europa (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY apud CONSTRUCTION MINERALS, c1993-2004). Nessas cifras não está incluída a parcela dos fluxos de biomassa, materiais fósseis e minérios e minerais industriais mobilizados pelas atividades de construção e demolição, do que são exemplos, respectivamente, a madeira, os materiais plásticos e o aço. Nessa mesma região, o índice de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) varia de mais de 80% na Bélgica, Dinamarca e Países Baixos, a menos de 5% na Grécia, Portugal, Espanha e Irlanda (quadro 5.1). No entanto, mesmo nos países com índices mais elevados de reciclagem, quase todo o material reciclado tem destinação de baixo valor agregado, sendo utilizado, em especial, como sub-base em obras de pavimentação.

País membro	RCD (Milhões de Toneladas)	Percentual de reutilização ou reciclagem
Alemanha	59	17
Reino Unido	30	45
França	24	50
Itália	20	9
Espanha	13	< 5
Países Baixos	11	90
Bélgica	7	87
Áustria	5	41
Portugal	3	< 5
Dinamarca	3	81
Grécia	2	< 5
Suécia	2	21
Finlândia	1	45
Irlanda	1	< 5
Luxemburgo	0	
EU 15	180	

Quadro 5.1 Reaproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na União Europeia-15. Fonte SYMONDS, 1999 apud TE DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002 (tradução nossa)

As políticas da União Europeia e dos governos nacionais europeus em relação à questão dos materiais é definitivamente menos incisiva que em relação à questão da energia e, embora haja iniciativas no sentido de promover a ampliação do uso de recursos não renováveis, as áreas em que se pode identificar uma atuação mais consolidada é provavelmente a restrição do uso de materiais e substâncias considerados perigosos ⁸⁴ e o incentivo ao reaproveitamento de materiais, discutido no âmbito de uma política mais ampla de gestão dos resíduos.

Em 1975, a União Europeia adotou sua primeira Diretiva Quadro sobre resíduos, alterada posteriormente por quatro vezes, a última em 2006 (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2006). Esse documento estabelece princípios gerais para a regulamentação das atividades de eliminação de resíduos, entre os quais o objetivo essencial de proteção à saúde

⁸⁴ De utilização na construção pode-se citar, como exemplo, as fibras de amianto (utilizadas principalmente para isolamento térmico), os compostos de arsênio (tratamento da madeira), as tintas com fixação à base de chumbo e o PVC (tubulação hidráulica, encapamento de fios elétricos, revestimento de pisos, paredes e fachadas, coberturas, esquadrias e diversos outros usos).

humana e ao meio ambiente, a necessidade de uma estrutura governamental de gestão dos resíduos responsável pelas atividades de planejamento, organização e fiscalização, e uma hierarquia de prioridades:

Artigo 3º

1. Os Estados-Membros tomarão medidas adequadas para promover:

a) Em primeiro lugar, a prevenção ou a redução da produção e da nocividade dos resíduos ...

....

b) Em segundo lugar:

i) A valorização dos resíduos por reciclagem, reutilização, recuperação ou qualquer outra acção tendente à obtenção de matérias-primas secundárias; ou

ii) A utilização de resíduos como fonte de energia.)

Entre as ações tomadas pelos países membros com vistas ao cumprimento das determinações da União Europeia, encontram-se medidas com vistas a desestimular o descarte de resíduos de construção e demolição. Na Noruega e no Reino Unido, por exemplo, optou-se por um instrumento tributário de coersão, uma taxa cobrada pelo uso de aterro, tendente a valores continuamente mais altos. Na Alemanha e nos Países Baixos, o aterramento de material inerte, passível de reaproveitamento, foi proibido (SCHULTMANN, 2005).

Do ponto de vista do projeto de arquitetura, os esforços na busca de uma prática arquitetônica mais sustentável em relação aos sistemas naturais, no que diz respeito em relação à questão dos materiais, podem ser interpretados em termos da substituição estratégica de materiais e tecnologias e do projeto orientado para a desconstrução e o reaproveitamento de materiais. Como suporte às decisões envolvidas nessas duas práticas, a arquitetura sustentável vem recorrendo crescentemente ao uso da “Análise do Ciclo de Vida” (LCA) como ferramenta de projeto. É sobre o que se comenta a seguir.

5.2 Substituição estratégica de materiais

O conceito de “ecomaterial” emergiu no começo da década de 1990, a partir do debate acadêmico a respeito do futuro dos materiais utilizados pela humanidade em sua relação com o meio-ambiente. Ao lado da capacidade de “expandir as fronteiras humanas” por meio de suas propriedades físicas, químicas, térmicas ou funcionais – característica que tem

norteado a exploração e o desenvolvimento de materiais até o presente, os “ecomateriais” respondem também à necessidade de uma “coexistência harmoniosa” com os sistemas naturais e com a saúde e a sensibilidade das pessoas (BABA, 1999; YAGI; HALADA, 2001). Os “ecomateriais” podem ser divididos em três grupos, de acordo com o papel que desempenham no esforço de redução do impacto das atividades humanas sobre os sistemas naturais: materiais funcionais para proteção ambiental, materiais necessários a sistemas de eficiência energética ou de energia “limpa”, e materiais de substituição estratégica - “ecomateriais” no sentido estrito - utilizados em substituição a materiais de uso convencional por implicarem menor carga ambiental - (YAGI; HALADA, 2001).⁸⁵

No campo da arquitetura sustentável, a questão dos materiais diz respeito fundamentalmente a esse último problema, ou seja, à substituição estratégica de produtos e tecnologias convencionais por outros de menor impacto disruptivo sobre os sistemas naturais e a saúde humana. Nesse sentido, portanto, “ecomaterial” é um conceito relacional, ou seja, só encontra sentido na comparação entre dois termos. Os atributos que definem um material como mais, ou menos adequado, sob a ótica da sustentabilidade ambiental, dizem respeito a cinco variáveis: a natureza das matérias primas utilizadas, as cargas ambientais associadas a sua cadeia produtiva, sua composição química, durabilidade e comportamento como resíduo. Dessa forma, podem ser considerados como “ecomateriais”: materiais com menor teor ou livres de substâncias perigosas, materiais obtidos a partir de matérias primas renováveis, materiais com uso reduzido de matérias-primas raras, materiais naturais, materiais que utilizam dejetos como matéria prima, materiais reciclados, materiais cuja produção implica em menor consumo de energia e menor volume de emissões atmosféricas, materiais com elevado potencial de reciclagem, materiais biodegradáveis, materiais duráveis, materiais que “envelhecem bem”, materiais locais (quadro 5.2).

⁸⁵ São exemplos do primeiro grupo as membranas para separação de emissões atmosféricas e os materiais absorventes para remoção de óleos e graxas e do segundo grupo o silicone de alta qualidade para baterias solares e os materiais para conversão fotoelétrica.

“Ecomateriais” para a Arquitetura Sustentável
Materiais livres de substâncias perigosas
Materiais naturais
Materiais obtidos a partir de matérias primas renováveis
Materiais com uso reduzido de matérias-primas raras
Materiais que utilizam dejetos como matéria prima
Materiais reciclados
Materiais com elevado potencial de reciclagem
Materiais biodegradáveis
Materiais duráveis
Materiais que “envelhecem bem”
Materiais cuja produção implica em menor consumo de energia e menor volume de emissões atmosféricas
Materiais locais

Quadro 5.2 “Ecomateriais” para a arquitetura sustentável. Fonte: autor, a partir de AGENDA 21..., 1999; DOYAMA; YAMAMOTO, 2005; GAUZIN-MÜLLER, 2002; INSTITUT CERDÀ, 1999; YAGI; HALADA, 2001.

Esses atributos em alguns casos se reforçam mutuamente e em outros casos são contraditórios entre si, assim como podem convergir com outros critérios de projeto ou contrapor-se a esses. Diante da complexidade do problema, têm sido propostas ferramentas de avaliação quantitativa para auxiliar na escolha entre diferentes opções de materiais. De qualquer forma, o que tem caracterizado as experiências recentes de arquitetura sustentável na Europa não é a adoção de um conjunto específico de materiais e tecnologias, mas uma certa abordagem de projeto. Ainda que centrada na comparação criteriosa das alternativas disponíveis, e propensa à exploração de soluções técnicas inovadoras, essa abordagem, segundo Gauzin-Müller (2002), envolve uma atitude pragmática, que leva em consideração aspectos como a facilidade de obtenção e o preço dos materiais, os prazos de construção e os saberes locais.

No que diz respeito aos materiais estruturais, aqueles mais amplamente utilizados na atualidade - concreto, aço, madeira e cerâmica - têm perfis bastante distintos quanto ao

desempenho ambiental. Embora objeto de inovações tecnológicas “ecologizantes”,⁸⁶ a necessidade de reduzir a dependência em relação às matérias primas não renováveis e aos processos de produção pesados impõe, não a supressão, mais a limitação do uso do concreto, do aço, e mesmo da cerâmica, em favor da ampliação do uso da madeira, de outras fibras vegetais e da terra crua (GAUZIN-MÜLLER, 2002; INSTITUT CERDÀ, 1999). No que diz respeito aos materiais de revestimentos, caixilharias, tubulações, fiações, aos produtos de isolamento térmico e acústico, às tintas e outros, a arquitetura sustentável europeia caracteriza-se por um esforço em reduzir o uso de materiais sintéticos em favor, seja de materiais tradicionais, como a madeira, a cerâmica, a pedra natural e o linóleo,⁸⁷ seja de novos materiais industriais, desenvolvidos em resposta justamente a essa demanda. Além na natureza dos materiais utilizados, o discurso da arquitetura sustentável europeia e um número de suas experiências recentes é o uso de materiais reaproveitados, a partir da demolição de outros edifícios. Dentro desse quadro, comenta-se a seguir a respeito do uso da madeira e da terra crua, o desenvolvimento de novos materiais comerciais a partir de matérias primas naturais ou recicladas e o reaproveitamento de materiais e componentes.

A madeira é um material natural, renovável, biodegradável, que consome relativamente pouca energia em seu processamento e, ao final de sua vida útil, pode potencialmente ser reutilizado, reciclado ou comburido para a obtenção de energia. Ao mesmo tempo, suas propriedades físicas e qualidades estéticas permitem e favorecem uma multiplicidade de aplicações na arquitetura, inclusive como material estrutural. Essas potencialidades têm-se ampliado com o desenvolvimento de materiais derivados – lamelados colados, contraplacados, OSB, entre outros - obtidos por diferentes processos que envolvem a associação de placas, lamelas ou fibras de madeira por meio de resinas e outros aditivos. Gauzin-Müller afirma que esses produtos, especialmente a partir da última década do século XX, “transformaram a imagem da madeira na construção, aportando as qualidades que lhe

⁸⁶ Têm-se experimentado concretos com a substituição de uma parcela elevada do cimento por escória de alto-forno, por exemplo, e dos agregados naturais virgens (rocha britada, seixos), por agregados reciclados.

⁸⁷ O linóleo foi patenteado e começou a ser produzido comercialmente na década de 1860. Sua fabricação utiliza como matéria prima produtos naturais, em sua maior parte de fontes renováveis: óleo de linhaça, pó de madeira, pó de cortiça, resinas naturais, pó de rocha calcárea, pigmentos, juta. Foi amplamente utilizado nos países centrais, especialmente para o revestimento de pisos, até a Segunda Guerra Mundial, a partir de quando passou a ser substituído principalmente por pisos de PVC (SANZ, 2000).

faltavam para ser um autêntico material industrial capaz de competir com o concreto e com o aço” (2002, p. 112, tradução nossa).

O uso de madeira como material de construção, especialmente em edifícios residenciais, parece fortemente associado à imagem da arquitetura sustentável, principalmente nos países anglo-saxões e escandinavos. Mas seu desempenho ambiental efetivo depende de pelo menos duas variáveis: a origem da madeira utilizada e a química envolvida em seu tratamento, cobertura superficial ou na obtenção dos produtos derivados. Em relação à origem, o discurso da arquitetura sustentável favorece as madeiras locais e demanda que a madeira a ser utilizada seja proveniente de área de manejo florestal sustentável, para o que considera imprescindível a chancela de um selo reconhecido de certificação ambiental. No contexto europeu, essas premissas implicam na valorização das espécies nativas ou aclimatadas à região e na desvalorização, mais ou menos tácita, das madeiras tropicais. Em relação ao tipo de tratamento, a arquitetura sustentável rejeita as técnicas convencionais, baseadas no uso de produtos químicos de alta toxicidade - creosoto, compostos de cobre, cromo e arsênio, pentaclorofenol, dieldrina. Embora sejam apontados como possíveis alternativas o uso de substâncias químicas menos tóxicas (diclofluanida, permetrina, produtos à base de boro e zinco) ou o tratamento térmico, a abordagem de projeto mais adequada, do ponto de vista da sustentabilidade, consiste em assegurar que o nível de resistência natural das madeiras utilizadas corresponda ao nível de exposição a que estarão submetidas, de forma a permitir que a madeira seja utilizada sem tratamento (GAUZIN-MÜLLER, 2002; INSTITUT CERDÀ, 1999). Além do tratamento convencional, o uso de colas e resinas, e a aplicação de tintas, vernizes e outros produtos de acabamento superficial também colocam problemas de ordem ambiental, especialmente em relação à saúde humana e ao comportamento da madeira como resíduo.

Nesse sentido, no contexto da arquitetura sustentável europeia podem ser consideradas experiências exemplares no uso inovador da madeira, o conjunto residencial Looren (Metron Architekturbüro, Affoltern-am-Albis, Suíça, 1997-1999), os edifícios Ölbundt (Hermann Kaufmann, Dornbirn, Áustria, 1996-1997), Wohnen und Arbeiten (Common & Gies Architekten, Freiburg, Alemanha, 1996-1999) e ATT Viikki (Arrak Architects, Helsinque, Finlândia, 1997-2000) – todos com emprego de pré-fabricação de elementos construtivos, o

jardim de infância de Heumaden (Joachim Eble Architektur, Stuttgart-Heumaden, Alemanha, 1995-1998) e o edifício-sede do Instituto Alterra (Behnisch, Behnisch & Partner, Wageningen, Países Baixos, 1993-1998), que utilizam técnicas de aproveitamento de madeira de pequenas dimensões.⁸⁸ Em todos os casos, a madeira utilizada é de extração local. No edifício Salvatierra (Jean-Yves Barrier, Rennes, França, 1998-2001) e no conjunto de residências estudantis da Jungenhald (Schaudt Architekten, Konstanz, Alemanha, 1991-1992), o uso extensivo de madeira na execução das fachadas é em certa medida contraposto, sob a ótica ambientalista, pelo tipo de acabamento superficial empregado - pintura e revestimento asfáltico, respectivamente.

No contexto europeu, à ampliação do uso da madeira como material de construção, sob o discurso da sustentabilidade ambiental na arquitetura, estão associadas políticas públicas que encontram expressão seja na revisão da legislação edilícia, em ações de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e disseminação de informação,⁸⁹ no apoio à articulação setorial ou no financiamento a empreendimentos específicos. De todas as experiências mencionadas acima, por exemplo, apenas o edifício *Wohnen und Arbeiten* não contou com apoio financeiro governamental. Entre as ações da União Européia e de governos nacionais e locais europeus, encontram-se programas e projetos voltados especificamente para a ampliação do uso da madeira. O programa do governo bávaro de arrendamento residencial de interesse social em edifícios de madeira⁹⁰ e os projetos multilaterais *Round Pole* e *Eco House North*, que têm apoio da União Européia, são exemplos desse tipo de iniciativa.

O projeto *Round Pole* (Escócia, Noruega e Finlândia) tem entre seus principais objetivos a identificação e o desenvolvimento de novos usos, em especial na construção civil, para o grande volume de cortes de madeira roliça de pequenas dimensões obtidos como subproduto da prática tradicional de manejo florestal na região. A idéia é permitir um incremento do valor agregado desses cortes de madeira e a ampliação de sua exploração comercial, dinamizando a economia local no contexto de uma prática sustentável de manejo

⁸⁸ Ver pranchas 5.1 a 5.3

⁸⁹ Algumas dos temas abordados são a segurança contra o incêndio, integridade estrutural e o isolamento acústico.

⁹⁰ Ver Capítulo 1, p. 33 e prancha 1.7

florestal (ROUNDPOLE, s/d). O projeto *Eco House North - Econo* (Escócia, Noruega, Finlândia, Suécia e Islândia), por sua vez, tem por objetivo firmar um conjunto de conceitos balizadores de uma arquitetura sustentável em madeira, apropriada às diferentes condições climáticas, econômicas, sociais e de logística na chamada zona periférica norte da Europa, de forma a consolidar a “casa ecológica em madeira” como um produto assimilado pela indústria da construção e pelo mercado imobiliário daquela região. Ambos os projetos envolvem governos locais, empresas privadas e escritórios de arquitetura (ECONO, 2005).⁹¹

A terra crua é um material natural, reciclável, abundante e que carece consideravelmente de menos energia que os materiais convencionais nos processos de transformação das matérias primas.⁹² Por suas propriedades físicas, é apropriada ao controle natural das trocas de calor e de umidade entre o interior do edifício e o ambiente (FEAT..., 2006; MORTON, 2005), bem como à proteção contra radiação eletromagnética (STEINGASS, 2003), sendo, por esse motivo, favorecida sob o aspecto do conforto e da saúde. Trata-se de um material tradicional, virtualmente abandonado pela indústria da construção na Europa Ocidental após a Segunda Guerra Mundial, mas que tem sido objeto de pesquisas tanto no campo da tecnologia quanto da expressão estética, especialmente desde a década de 1980, sob o respaldo do discurso da sustentabilidade ambiental.

As pesquisas e inovações tecnológicas no campo da construção em terra envolvem, entre outras questões, as possibilidades de mecanização, a pré-fabricação, padronização e aperfeiçoamento de moldes e fôrmas, e a estabilização da terra, isto é, a alteração de suas propriedades químicas e físicas por meio da inclusão de armaduras de fibras (palha e outras fibras vegetais, fibras de vidro ou aço) e da adição de materiais naturais ou sintéticos, incluindo-se cimento, betume e resinas sintéticas (LOURENÇO; DE BRITO; BRANCO, 2002). A estabilização da terra crua por meio da adição de produtos industrializados implica na desvalorização desse material sob a ótica da sustentabilidade ambiental, especialmente no caso de aditivos sintéticos ou tóxicos.

⁹¹ Os projetos *Round Pole* e *Econo* são ambos integrantes do programa “Periferia Norte”, financiado pelo Fundo de Desenvolvimento Regional Europeu, da União Européia, com vistas a mitigar os problemas sociais e econômicos da zona periférica norte europeia.

⁹² Tijolos de terra crua consomem 14% da quantidade de energia consumida por seus equivalentes em cerâmica, de acordo com Morton (2005), e entre 26,94% e 60,97%, de acordo com Koch *et al.* (2005).

As técnicas de construção em terra crua mais utilizadas atualmente nos países europeus são a taipa, o adobe, o tijolo extrudado e o bloco de terra comprimido (BTC), sendo que os dois últimos não derivam diretamente de técnicas tradicionais (LOURENÇO; DE BRITO; BRANCO, 2002).⁹³ O adobe, o tijolo extrudado e o BTC são materiais modulares, tipicamente produzidos em série, e sua disseminação, sob o discurso da arquitetura sustentável, tem se apoiado no desenvolvimento de versões proprietárias, produzidas industrialmente – o que inclui também argamassas de assentamento e de revestimento para alvenaria em terra crua, e outros produtos. A taipa da “moderna arquitetura de terra”, por sua vez, utiliza fôrmas metálicas deslizantes e equipamentos mecânicos para bombeamento e compactação, sendo objeto, inclusive, de experiências de pré-fabricação.⁹⁴ Do ponto de vista da linguagem arquitetônica, no conjunto das experiências recentes européias, é possível identificar uma abordagem de projeto que procura tirar proveito das qualidades estéticas dos materiais de terra crua, e outra que parece interessada fundamentalmente em suas propriedades físicas e desempenho ambiental. De qualquer forma, o uso da terra crua como material de construção, nesse contexto, se dá por meio de uma diversidade de técnicas e aplicações, freqüentemente em conjunto com outros materiais, especialmente a madeira.⁹⁵

Apesar dos avanços, a ampliação do uso comercial da terra crua como material de construção é um processo ainda bastante incipiente. No contexto Europeu, destaca-se a experiência alemã. De caráter mais pontal, são exemplos de iniciativas importantes o projeto *Low Cost Earth Brick Construction* (Reino Unido), o edifício *Salvatierra* (França) - construído no âmbito do projeto CEPHEUS (União Européia).

A Alemanha é apontada como o país europeu onde o processo de disseminação da terra crua como material de construção encontra-se mais solidamente estabelecido.⁹⁶ Esse processo,

⁹³ De acordo com Morton (2005), a conversão da terra crua em um material de emprego usual na construção civil requer técnicas simples e produtos similares aos convencionais, como o adobe, o tijolo extrudado e o BTC. A taipa, que exige um tipo de mão de obra especializada e pouco usual, estaria restrita a um nicho específico da produção.

⁹⁴ Ver pranchas 5.4 e 5.5

⁹⁵ Ver prancha 5.6

⁹⁶ Na primeira metade da década de 1990, na região de Berlim-Brandenburg, produtos de terra crua foram utilizados como material de construção em mais de 85 edifícios (RÜGER, 1998 apud STEINGASS, 2003). Na

que Steingass (2003) denomina “renascimento da construção em terra”, iniciou-se na década de 1990, desvincilhado da atitude mais idealista que havia marcado as iniciativas da década anterior, e caracterizado, por um lado, pelo desenvolvimento de produtos proprietários - fabricados em escala comercial por um pequeno setor especializado da indústria da construção civil, e por outro, por esforços concertados com vistas ao estabelecimento de normas técnicas, à qualificação de mão-de-obra e ao *marketing* do material (MORTON, 2005). A atuação da *KirchBauhof*, ONG dedicada à construção sustentável e à qualificação profissional de trabalhadores não especializados, e da *Dachverband Lehm*, associação alemã para a construção em terra e argila, são exemplos dos esforços que têm impulsionado esse processo.

A *KirchBauhof* (Berlim), em meados da década de 1990, implementou um projeto de promoção da construção com terra crua que incluiu apoio técnico a pequenas e médias empresas envolvidas na cadeia produtiva da construção com terra crua, promoção de articulação setorial, divulgação da terra crua como um material de construção moderno, sustentável e acessível, e a qualificação de mão de obra, esta última em associação com o projeto *Training in Environmental Adapted Techniques* (ADAPT-TREAT), da União Européia. Em 1997, a *KirchBauhof* promoveu o primeiro seminário europeu sobre a construção moderna em terra (STEINGASS, 2003). A *Dachverband Lehm*, por sua vez, tem como objetivos institucionais prover orientação técnica, oferecer qualificação profissional, promover o desenvolvimento de novos produtos e técnicas de construção com terra e garantir que sua “qualidade ecológica” seja preservada. A instituição promoveu o trabalho de elaboração de um corpo de normas técnicas para a construção em terra e argila, com apoio da Fundação Federal Alemã para o Meio Ambiente (*Deutschen Bundesstiftung Umwelt*), e logrou obter o reconhecimento do governo alemão, que as publicou em 1999. Com o objetivo de “promover a construção com terra em uma era de industrialização e alta tecnologia”, a instituição informa apoiar “todas as medidas que tornem a terra atrativa e novamente aplicável

primeira metade da década de 2000, a produção de materiais de construção de terra crua aumentou em 20% na Alemanha, enquanto a indústria da construção civil permaneceu estagnada (MORTON, 2005). No uso contemporâneo da Taipa, no entanto, a Austrália é considerada o país mais avançado (LOURENÇO; DE BRITO; BRANCO, 2002).

enquanto material de construção, sob as condições técnicas e econômicas da atualidade” (DACHVERBAND LEHM, s/d).

O projeto *Low Cost Earth Brick Construction: Monitoring and Evaluation* (2003-2005) teve por objetivo avaliar em que medida é possível usufruir os benefícios potenciais da construção com produtos de terra crua no contexto típico da construção civil no Reino Unido, identificar fatores críticos condicionantes de seu desempenho, e disseminar orientação técnica. O projeto envolveu um estudo detalhado desde a fase do projeto até o primeiro ano de ocupação de uma casa térrea construída com alvenaria de adobe (MORTON *et al*, 2005). O edifício foi concebido como uma experiência de arquitetura ecológica, levando em conta um conjunto amplo de variáveis de projeto dentro das limitações orçamentárias típicas de um empreendimento habitacional de baixo custo (MORTON, 2005). A execução do projeto envolveu a Arc Architects, a Universidade de Dundee, a Universidade Robert Gordon e a Errol Brick Company Ltd - empresa fabricante de tijolos, e teve financiamento do departamento de comércio e indústria do governo britânico (*Department of Trade and Industry*) e da agência de habitação do governo escocês (*Communities Scotland*) (MORTON *et al*, 2005).⁹⁷

O edifício Salvatierra (1998-2001) foi concebido como “projeto-vitrine”, demonstração do tipo de abordagem projetual esperado para a ocupação da ZAC Beauregard, área de expansão urbana destinada pelo Plano Diretor da cidade de Rennes, França, para abrigar mais de 2000 unidades residenciais, além de edifícios institucionais e equipamentos públicos. O edifício foi construído por iniciativa conjunta da prefeitura de Rennes e da *Coop de Construction*, cooperativa local de habitação social, e recebeu subsídio da Comissão Europeia no âmbito do projeto CEPHEUS.⁹⁸ A estrutura do edifício é constituída por lajes e paredes internas portantes de concreto armado. A fachada norte e as empenas leste e oeste são de madeira, com estrutura tipo gaiola e fechamento com lambris pintados em fábrica (GAUZIN-MÜLLER, 2002). A fachada sul traz um dos elementos mais inovadores do projeto, uma parede de adobe, de 50 cm de espessura, executada com blocos pré-moldados de 50x50x90 cm, produzidos por uma empresa que atua normalmente no fornecimento de blocos de

⁹⁷ Ver prancha 5.7, figuras 5.41 e 5.42

⁹⁸ Ver prancha 5.7, figuras 5.38 a 5.40

adobe para obras de restauração de monumentos históricos. Depois de moldados e deixados secar ao ar livre pelo período de um ano, os blocos foram assentados com uma argamassa à base de areia, argila e cal, e recobertos interna e externamente com um revestimento à base de cal e terra que lhe confere uma cor ocre natural. A idéia original do arquiteto era utilizar esta técnica em todas as fachadas, mas sua capacidade de isolamento térmico nas fachadas norte, leste e oeste não atingiu as exigências do padrão *passivhaus* do projeto CEPHEUS (POIROT, 2001). Para a utilização do adobe, foi exigida uma *Appréciation Technique d'Experimentation* (Atex) que resultou em um impacto negativo não desprezível sobre o orçamento e o cronograma da construção (DUFFAURE-GALLAIS, 2001).⁹⁹

Em resposta a uma demanda crescente por edifícios menos agressivos ao meio ambiente e à saúde humana, a indústria de materiais de construção na Europa vem desenvolvendo e comercializando, especialmente a partir da década de 1990, novos materiais e produtos, cujo apelo reside, sobretudo, na origem e na natureza de suas matérias primas - naturais, ou resultantes da revalorização de subprodutos de outros setores industriais ou da reciclagem pós-consumo de diversos produtos. O desenvolvimento desses novos materiais encontra-se subordinado à lógica e às exigências próprias dos processos formais de inovação tecnológica voltada para o mercado. Entre esses novos “ecomateriais” encontram-se materiais estruturais, isolantes térmicos e acústicos, revestimentos, tintas e vernizes, entre outros.

nome comercial	uso	matérias primas	fabricante
<i>East Coast Slag Ciment</i>	aglomerante cimentício para mistura em betoneira	escória de alto forno ¹⁰⁰	<i>East Coast Slag Products Ltd.</i> (Reino Unido)
<i>Lytag</i>	agregado para concreto	cinza volante	<i>Lytag Ltd</i> (Reino Unido)
<i>Ecoterre</i>	tijolo de adobe prensado	argila reciclada	Ibstock Brick Ltd. (Reino Unido)
<i>Claytec</i>	tijolo de adobe prensado	argila, areia e palha	<i>Claytec GmbH</i> (Alemanha)

⁹⁹ A *Appréciation Technique d'Experimentation* (Atex) é um procedimento rápido de avaliação técnica de um produto, procedimento ou equipamento em fase experimental de aplicação. A Atex é um procedimento estabelecido pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), agência francesa de pesquisa tecnológica sobre a construção.

¹⁰⁰ Na indústria cimenteira encontra-se consolidado o emprego de subprodutos das indústrias siderúrgicas (escória de alto forno e de aciaria) e termoelétricas (cinzas volantes e de grelha) como matéria prima de diversos produtos: cimento, agregado para concreto, agregado leve para concreto, aglomerante para mixagem em betoneira.

<i>Fermacell</i>	sistema de vedação	papel reciclado, gesso e água, sem aditivos.	<i>Xella International GmbH / Fermacel GmbH</i> (Alemanha)
<i>Themofleece</i>	isolamento térmico	lã de ovelha	<i>Second Nature UK Ltd.</i> (Reino Unido)
<i>Isofloc</i>	isolamento térmico em flocos	papel de jornal reciclado, tratamento com bórax e ácido bórico	<i>Isofloc Wärmedämmtechnik GmbH</i> (Alemanha)
<i>Homatherm</i>	isolamento térmico em placas	papel de jornal reciclado e fibra de madeira, tratamento com bórax	<i>Homatherm GmbH</i> (Alemanha)
<i>Gutex</i>	isolamento térmico em placas	sobras de madeira e resina natural	<i>Gutex GmbH</i> (Alemanha)
<i>Regupol</i>	isolamento acústico	cortiça e borracha reciclada com adesivo de poliuretano	<i>BSW AG/ Regupol GmbH</i> (Alemanha)
<i>Tierrafino ipaint</i>	pintura para paredes	água, argila, giz, porcelana, ácido acético, metilcelulose, óxido de titânio, 0,1% de preservativo sintético	<i>Tierrafino, Carl Giskes V.O.F.</i> (Países Baixos)
<i>Dekorwachs transparent, Einmal-Lasur HS plus, Hartwachs-Öl</i> e outros	vernizes e outros produtos e proteção para madeira	ceras e óleos naturais, pigmentos naturais,	<i>Osmo Holz und Color GmbH</i> (Alemanha)
<i>AURO 770 Casein Colours, AURO 321 Matt Emulsion</i> , e outros	tintas e vernizes	diversos ¹⁰¹	<i>Auro AG</i> (Alemanha)

Quadro 5.3 “Ecomateriais” proprietários. Fonte: autor, a partir de AURO, s/d; BSW, 2007; CLAYTEC, s/d; GUTEX, s/d; HOMATHERM, s/d; ISOFLOC WÄRMEDÄMMTECHNIK, s/d; JOHN, 1999; OSMO HOLZ UND COLOR, s/d; SECOND NATURE UK, c2005; TIERRAFINO, s/d; XELLA, 2007

Ainda mais vantajoso, no entanto, que o emprego de materiais produzidos a partir de matérias primas recicladas, sob a ótica da sustentabilidade ambiental, é o emprego de materiais e componentes reutilizados, ou seja, reaproveitados depois de procedimentos simples de limpeza e preparação, o que evita o consumo de energia e as cargas ambientais associadas aos processos de reciclagem. O Centro de Arte Contemporânea de Dundee (Richard Murphy, Bill Black, James Manson, Dundee, Reino Unido 1996-99) e o edifício Residence Taviel (Ara Architecture, Saintt-Omer, França, 1997), por exemplo, foram ambos designados para terrenos ocupados por edifícios pré-existentes, construídos em alvenaria de

¹⁰¹ O fabricante divulga uma lista de 104 produtos naturais entre solventes, pigmentos vegetais, pigmentos e fillers minerais, auxiliares, adesivos, resinas, óleos, ceras, gorduras e sabões. Entre os itens listados encontram-se cera de carnaúba, óleos de laranja, bergamota, lavanda e eucalipto (solventes), óleos de linhaça e girassol, caseína (proteína extraída do leite), celulose, látex natural, clorofila, índigo, dióxido de titânio, silicato de alumínio (AURO RAW..., s/d). O fabricante refere-se a uma “química suave”, em um discurso convergente com a idéia de uma “química verde” que, de acordo com SACHS (2002) deve ser desenvolvida em complementação à petroquímica hegemônica na atualidade.

tijolos, respectivamente um armazém e uma prisão. Em ambos os casos, adotou-se como uma diretriz de projeto a reutilização dos tijolos disponíveis *in situ*.¹⁰² No conjunto BedZed (ZEDFactory, Londres, 1999-2001) e na nova sede do BRE (Feiden Clegg Bradley Architects, Londres, 1994-96), o planejamento da construção envolveu a sondagem de demolições em curso na região, a partir das quais se pudesse obter materiais a serem reaproveitados. No caso do BedZed, 95% da estrutura metálica e 90% da subestrutura de madeira das paredes internas, além de parte dos tijolos e dos pisos de madeira foram obtidos dessa forma (BEDZED..., 2004).¹⁰³ Na nova sede do BRE, os tijolos e o piso de parquet são reutilizados, e a base do contrapiso foi inteiramente executada com o material obtido pela trituração de tijolos e do concreto proveniente de uma construção previamente existente no terreno.

As “Casas Recicladas” de Lund (P. Lewis Jonsson, Suécia, 1997) e Trondheim (HSØ Arkitektkontor, Noruega, 2002-2003) são o resultado de iniciativas voltadas especificamente para as potencialidades e as implicações da reutilização de materiais de construção. No caso sueco, desenvolvido por ocasião da Bomässan 1997 (feira sueca de arquitetura e construção), foram incorporados tijolos, telhas, madeira e estrutura metálica, além de agregado obtido pela moagem de concreto armado reciclado. Foi estimada uma redução de 30% no consumo de matérias primas (rocha, areia, argila e madeira), 25% no consumo de combustíveis fósseis para a geração de energia e 80% no consumo de diferentes produtos químicos (THORMARK, 2000). No caso norueguês, desenvolvido no âmbito de um projeto piloto da municipalidade de Trondheim, a lista de materiais reaproveitados inclui 85% da estrutura (*reisverk*) e das fachadas (*kledning*) (em madeira), 50% do mobiliário da cozinha (em madeira e aço), todas as portas internas (em madeira), todas as telhas e tijolos (cerâmica), quase todas as janelas (vidro e madeira) e todas as bacias sanitárias, lavatórios e cubas (porcelana) (PETTERSEN, 2005).¹⁰⁴

¹⁰² Ver prancha 5.8 figuras 5.3 a 5.6

¹⁰³ Ver prancha 5.8 figura 5.7

¹⁰⁴ Ver prancha 5.9

5.3 Projeto para a desconstrução e o reaproveitamento de materiais

As técnicas convencionais de demolição restringem significativamente as possibilidades de reciclagem, e especialmente de reutilização dos materiais de construção, principalmente porque o entulho produzido consiste em um amontoado de diferentes tipos de material cuja separação adequada envolve dificuldades técnicas intransponíveis e custos proibitivos (DURMISEVIC; BROWER, 2002, GUY; SHELL, 2002; MORGAN; STEVENSON, 2005). Diante desse quadro, em substituição à “demolição”, vem sendo proposta a prática da “desconstrução”, que consiste em retirar e acomodar separadamente os diferentes elementos e componentes do edifício. A perspectiva de ganhos ambientais e econômicos, em escala sistêmica,¹⁰⁵ motivou a incorporação da desconstrução como objeto de pesquisa em instituições como o *Building Research Establishment* (Reino Unido), o Instituto Franco-Alemão de Pesquisa Ambiental (Alemanha), a Universidade de Tecnologia de Delft (Países Baixos), o Instituto Norueguês de Pesquisa sobre a Construção (Noruega) e o Conselho Internacional para a Pesquisa e a Inovação na Construção de Edifícios – CIB (Multilateral).

Esses esforços visam reduzir o tempo e os custos da desconstrução, aprimorar as condições de trabalho e assegurar a qualidade dos materiais e componentes recuperados, por meio do aprimoramento das técnicas de planejamento e execução. Com esse escopo, o Instituto Franco-Alemão de Pesquisa Ambiental (DFIU/IFARE) e o *Building Research Establishment* (BRE) desenvolveram, independentemente, ferramentas computacionais de apoio ao planejamento da desconstrução. A metodologia desenvolvida pelo DFIU divide-se em quatro etapas: auditoria do edifício (inventário detalhado dos materiais e componentes existentes); planejamento da desconstrução (seleção das técnicas a serem utilizadas e da seqüência de atividades); planejamento da reciclagem e da reutilização de materiais; e otimização dos trabalhos. O programa inclui um modelo matemático sofisticado de suporte à tomada de decisões, que permite elaborar projeções de custo e de tempo de execução para diferentes estratégias de desconstrução (SCHULTMANN, 2005).

¹⁰⁵ Um conjunto de estudos de caso realizados na França e na Alemanha entre 1991 e 1998, por exemplo, aponta uma média de 93% de material reaproveitado mediante o emprego da desconstrução (SCHULTMANN, 2005).

Apesar dos esforços de aprimoramento, a prática da desconstrução defronta-se com dificuldades técnicas decorrentes de um fato incontornável: o estoque edificado, e em especial os edifícios legados pelo período do segundo pós-guerra não foram preparados para a desconstrução e o reaproveitamento de seus materiais e componentes. Entre as dificuldades habituais, a literatura menciona o emaranhamento de instalações hidráulicas, elétricas e de CVAC dentro das paredes, pisos e forros; os elementos e componentes fora da escala em relação às capacidades do trabalho não mecanizado; a desestabilização das estruturas durante o processo de desconstrução; e a impossibilidade de reaproveitamento de componentes em função de perfurações, cortes e do uso de grampos, adesivos e revestimentos (GUY; SHELL, 2002, JOHN, 1999). Por esse motivo, Hurley *et al.* (2002) afirmam que, se a prioridade no médio prazo (próximos 30 anos) é o desenvolvimento das técnicas e dos equipamentos necessários para “desconstruir” o estoque edificado presente, no longo prazo (próximos 100 anos) a prioridade é desenvolver as técnicas e as estratégias de projeto e de construção para a desconstrução. Essas técnicas e estratégias receberam a denominação de “projeto para desconstrução e reaproveitamento de materiais”, ou apenas “projeto para desconstrução” (DfD).¹⁰⁶

Apesar de seu desígnio eminentemente prático, o projeto para a desconstrução converge com uma linha de investigação teórica, estabelecida desde pelo menos a década de 1960, a partir da constatação de que as “histórias de vida” dos edifícios e do estoque edificado são mais dinâmicas do que a cultura arquitetônica costuma ter em conta, não correspondendo à imagem estabelecida de “arquitetura como permanência”. (CHINI; BALACHANDRAN, 2002; HABRAKEN, 1998 apud KENDALL, 2001). De acordo com Brand (1994), do início do projeto à demolição final, os edifícios são conformados e reconformados recorrentemente em decorrência da constante transformação das correntes culturais, dos valores imobiliários e dos usos. Habraken (1998 apud KENDALL, 2001) e o movimento *Open Building* advogam que tanto a estabilidade quanto a mudança fazem parte do

¹⁰⁶ A proposta teria emergido no início da década de 1990, na indústria de bens de consumo, como “design para desmontagem” (*Design for Disassembly - DfD*), ou “tecnologia separável”, com o objetivo de recriar os objetos de forma a serem facilmente desmontados e reciclados depois de terminada sua vida útil (PAPANEEK, 2001). Em português, registram-se as expressões “design para desmontagem”, “design orientado à desmontagem”, “projeto voltado para a desmontagem”. No caso mais específico da construção civil, a literatura em inglês utiliza mais frequentemente a expressão *Design for Deconstruction*. No presente trabalho é adotada a tradução “projeto para desconstrução”, mas mantida a sigla DfD.

ambiente construído contemporâneo, e definem, como problema a ser enfrentado pela arquitetura, aprender a projetar tanto para a longevidade quanto para a mudança. Essas questões do campo da teoria da arquitetura encontram uma correspondência no campo da sustentabilidade ambiental quando se constata que parte significativa do fluxo de materiais na construção civil – envolvendo tanto o consumo de recursos naturais quanto a produção de resíduos - está associada não à construção de edifícios novos ou à demolição de edifícios antigos, mas às obras de renovação ou adequação, ou seja, à transformação contínua do estoque edificado existente (MORGAN; STEVENSON, 2005).

O projeto para a desconstrução tem, entre suas premissas teóricas, que o edifício corresponde a uma estrutura sistêmica hierarquizada, que os diferentes sistemas que o constituem têm diferentes tempos de vida útil, e que a destinação planejada para os materiais e componentes ao fim de sua vida útil submete-se a uma dada ordem de prioridades.

O edifício é uma estrutura sistêmica, um conjunto funcional definido pelo arranjo hierárquico dos elementos construtivos que o constituem e das relações entre esses elementos (DURMISEVIC; BROUWER, 2002; MORGAN; STEVENSON, 2005). Durmisevic e Brouwer (2002) propõem quatro níveis hierárquicos: elemento ou material, componente, sistema e edifício, em ordem crescente de complexidade. O edifício corresponde ao conjunto articulado dos sistemas portadores de suas principais funções (sustentação, mediação com o ambiente externo, divisão do espaço interno, provisão de água e eletricidade, e outros); cada sistema corresponde ao conjunto articulado dos componentes que são portadores de suas principais funções (transmissão horizontal de cargas, isolamento térmico, acabamento, distribuição); cada componente corresponde ao conjunto articulado de elementos ou materiais portadores de suas principais funções (concreto armado, celulose bombeada, pintura sobre reboco, tubo de PVC). Os edifícios convencionais são caracterizados pela máxima integração de todos os elementos em uma única estrutura dependente.

Os diferentes sistemas, componentes, elementos e materiais que constituem o edifício têm diferentes tempos de vida útil, de forma que a vida útil do próprio edifício se caracteriza pelo encadeamento e pela sucessão de diversos ciclos mais curtos de renovação ou substituição. De acordo com Brand (1994, apud CROWTHER, s/d), esses ciclos duram de 7 a 15 anos para as instalações, por exemplo, e de 20 anos para as fachadas (figura 5.5). Duffy afirma, nesse sentido, que um edifício concebido adequadamente “corresponde a diversas camadas de longevidade de componentes construídos” (apud DURMISEVIC; BROUWER, 2002).

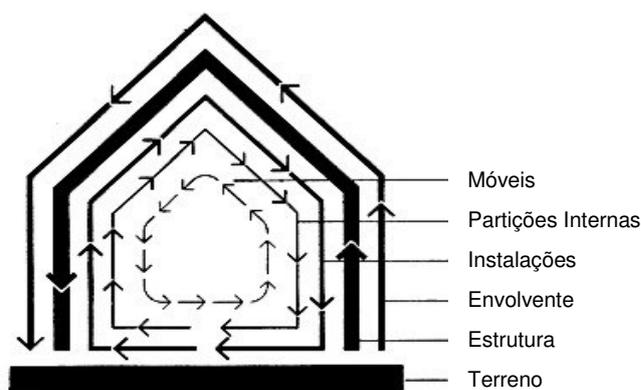


Figura 5.5 Hierarquia das partes do edifício com base na duração de sua vida útil (Linhas mais espessas correspondem a componentes de maior longevidade). Fonte: BRAND, 1994 apud KILBERT, 2002, tradução nossa.

A destinação planejada para os materiais, elementos, componentes e sistemas constituintes do edifício, ao final da vida útil de cada um, submete-se a uma dada ordem de prioridades: o prolongamento ao máximo da vida útil por meio da adaptação a novos usos ou exigências;¹⁰⁷ o reaproveitamento, com prioridade para os processos que mais conservam a energia, o trabalho e o valor agregados; a combustão com aproveitamento do potencial energético dos materiais; o retorno aos sistemas naturais, por meio de processos como a compostagem e a biodegradação; e a disposição em aterro.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Ver prancha 5.11

¹⁰⁸ A lógica dessa estrutura mantém-se constante, embora as hierarquizações adotadas por distintos autores e instituições apresentem diferenças entre si, especialmente quanto ao número de opções: Diretiva 2006/12/EC, da União Européia (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2006); *Land of Landsink*, do governo

O projeto para a desconstrução contempla a autonomia funcional e mecânica das partes do edifício –“desconstrutibilidade” no sentido estrito, a especificação de materiais e componentes apropriados para reaproveitamento e retorno aos sistemas naturais ao final de sua vida útil, e a adaptabilidade do edifício a novos usos e exigências. De acordo com Durmisevic e Brouwer (2005), os dois principais critérios para a “desconstrutibilidade” são a independência e a intercambialidade das partes do edifício. Um elemento, componente ou sistema poderá ser “desconstruído” se houver sido definido como uma parte autônoma da estrutura funcional do edifício, e se suas interfaces com outras partes forem “desmontáveis”. A “desconstrutibilidade” opera em três domínios - a estrutura hierárquica do edifício, os elementos construtivos e as interfaces, manifestando-se nos seguintes aspectos do projeto: decomposição funcional, agrupamento e sistematização, hierarquia aberta ou fechada, especificação do elemento base, seqüência de construção, geometria das interfaces e tipo de conexão. Os três primeiros dizem respeito ao estabelecimento de uma estrutura funcional constituída em todos os seus níveis por partes funcionalmente independentes e relacionadas conforme uma hierarquia definida com clareza. Os quatro últimos aspectos dizem respeito à configuração construtiva que permite a separação física dos distintos elementos e componentes.¹⁰⁹

Com vistas à gestão dos materiais e elementos construtivos “desmobilizados” pela desconstrução do edifício, em conformidade com a ordem de prioridades mencionada acima, o projeto para a desconstrução envolve também um conjunto de prescrições relativas aos materiais de construção: identificar os distintos materiais utilizados no edifício, evitar o uso de materiais tóxicos e de materiais compostos, em favor do uso de monomateriais recicláveis (CHINI; BALACHANDRAN, 2002). Papanek (2001) refere-se a evitar um “amalgama” de materiais diferentes. McDonough (2002 apud GUY; DA ROCHA, 2005) condena especificamente o que denomina “monstros híbridos” - amálgamas de materiais naturais (madeira, fibras vegetais, cerâmica, barro) e industrializados (concreto, metais, vidro), pois

neerlandês (SDU, 1980 apud DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002), a *National Waste Strategy: Scotland 1999*, do governo escocês (SCOTLAND, 2003), e também Hendriks (apud DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002), e Morgan e Stevenson (2005), entre outros. A *Delft Ladder* (Hendriks, 2000) adota uma ordem flexível, e incorpora três ferramentas de análise destinadas a comparar os tipos de destinação possível e fixar, caso a caso, as opções mais vantajosas do ponto de vista econômico e ecológico: *Life Cycle Assessment*, *Eco-cost Value Ratio* e *Degradation Factor* (DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002).

¹⁰⁹ Ver pranchas 5.10

essa combinação dificulta o retorno tanto daqueles primeiros aos ciclos naturais quanto desses últimos aos processos industriais.

O projeto para desconstrução contempla também aos atributos do edifício que permitem uma vida útil mais extensa e sujeita ao menor número possível de intervenções que impliquem em fluxos materiais significativos, o que inclui a capacidade do edifício de adaptar-se a novos usos e exigências. Além da autonomia e intercambialidade das partes do edifício, que facilitam e reduzem o impacto dos processos de reparo e substituição de elementos e componentes construtivos, o conjunto de critérios de projeto que definem o nível de adaptabilidade do edifício a novos usos e exigências inclui: a distribuição dos vãos entre os pilares, a altura do pé direito, a concentração e o posicionamento de áreas servidas e de circulação, entre outros (MORGAN; STEVENSON, 2005). Presig *et al.* (apud MORGAN; STEVENSON, 2005) apresenta como exemplo de adaptabilidade, o projeto de um edifício residencial, no qual, a partir apenas na mudança na posição das portas é possível obter três configurações distintas em relação ao número e aos tipos de apartamento (figura 5.6). Te Dorsthorst e Kowalczyk (2005) apresentam um edifício em Schinjndel (Países Baixos) que abriga uma escola no pavimento térreo e apartamentos nos dois pavimentos superiores. O projeto foi elaborado para que salas de aula pudessem ser convertidas em apartamentos e vice-versa, de forma que o edifício pudesse de adaptar às flutuações esperadas na demanda por vagas escolares no bairro.¹¹⁰

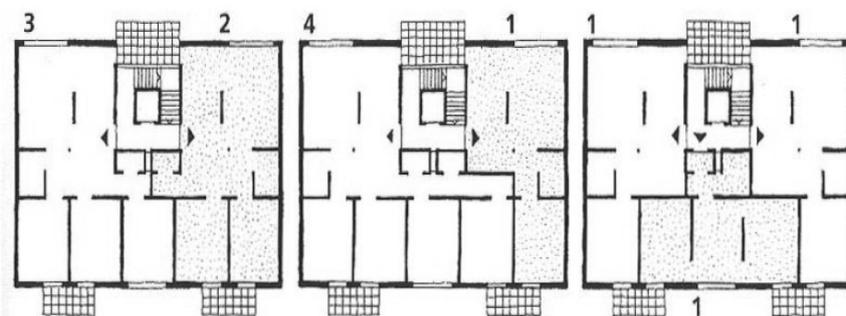


Figura. 5.6 Exemplo de projeto de edifício voltado para a adaptabilidade. Fonte: Presig *et al.*, apud MORGAN; STEVENSON, 2005.

¹¹⁰ Ver prancha 5.12

Entre as iniciativas que se inserem na lógica do projeto para a desconstrução, desenvolvidas recentemente na Europa, pode-se citar os sistemas *Byggesystem for ombruk* (BfO) e *Assemble for DIS-Assembly* (ADISA) ¹¹¹ (Noruega) e o conceito de edifício Industrializado, Flexível e Desmontável (IFD), desenvolvido inicialmente nos Países Baixos.

O sistema BfO, desenvolvido pelo grupo Gaia Architects (Noruega, Reino Unido), se baseia em três princípios: independência dos diferentes sistemas funcionais do edifício; fácil desmontagem e substituição de componentes dentro de cada sistema funcional (uso extensivo de parafusos, argamassa fraca nas paredes de alvenaria, restrição ao uso colas); e emprego de monomateriais. O sistema é composto por 88 componentes de madeira e concreto, sendo utilizados especialmente cortes pequenos de madeira. O projeto piloto consistiu na construção de um pavilhão que, desconstruído, teve seus componentes reutilizados na construção de uma residência unifamiliar. ¹¹² A partir da experiência do BfO, foi desenvolvido o sistema ADISA, com um número menor de componentes especiais e o emprego de sessões maiores de madeira. Algumas de suas idéias e princípios foram empregados na construção de um conjunto de casas geminadas em Kristiansand –Prestheia (MYHRE, 2005).

Na expressão “edifício industrializado, flexível e desmontável” (IFD), o termo “industrializado” refere-se a sistemas de construção aberta montados a partir de componentes pré-fabricados (potencialmente produzidos por diferentes fornecedores); “flexível” refere-se à capacidade do edifício de adaptar-se ao perfil de usuários individuais e de responder às necessidades de mudanças funcionais ao longo de sua vida útil; e “desmontável”, finalmente, corresponde à possibilidade de retirada de componentes para reparo ou reaproveitamento, em outro local ou de outra forma (quadro 5.4) (VAN DER BRAND *et al.*, 2003; QUAH *et al.*, 2004).

¹¹¹ *Byggesystem for ombruk* e *Assemble for DIS-Assembly* podem ser traduzidos, respectivamente, como “Sistema Construtivo para Reutilização” e “Montar para DES-Montagem”.

¹¹² Ver prancha 5.13

Princípio	Característica	Explicação
Industrialização	Montagem	Produção preparada em fábrica, canteiro de obras apenas para montagem, sem improvisações no canteiro de obra.
	Desenvolvimento de produto independente de projeto	Uso repetido de produtos desenvolvidos, reaproveitamento de conhecimento e experiências.
	Independência em relação às restrições climáticas	O andamento da construção não depende do clima ou do vento.
Flexibilidade	Liberdade de escolha	Há atenção suficiente à liberdade de escolha por parte dos primeiros usuários.
	Adaptabilidade	Usuários sucessivos adaptam o edifício a seus usos específicos
“Desmotabilidade”	Reutilização do edifício	Edifícios podem ser adaptados para novas funções
	Reciclagem	Componentes ou partes do edifício são apropriados para reutilização
	Redução dos resíduos	A produção de resíduos é reduzida.

Quadro 5.4. Princípios e características do edifício IFD. Fonte: VAN DER BRAND et al. (2003, tradução nossa)

O IFD tem suas raízes em um estudo encomendado em 1997 pelo Ministério da Economia (EZ) dos Países Baixos, que concluiu que a industrialização, a flexibilidade e a “desconstrutibilidade”, enquanto conceitos integrados, têm o potencial de fazer convergir interesses econômicos e ambientais, pois oferecerem soluções inovadoras para o uso de recursos naturais, trabalho e tecnologia (VAN DER BRAND *et al.*, 2003).¹¹³ Em resposta, o próprio EZ e o Ministério do Meio Ambiente e Habitação (VROM) lançaram conjuntamente o programa *IFD Bouwen'* (1999-2004), que financiou cerca de 80 projetos de demonstração, escolhidos a partir de um processo público de seleção de propostas.¹¹⁴ Como desdobramento desse programa, são apontados os conceitos de *Design for Recycling* (2012 Architecten), *Design for Lifespan* (J. Post) e *Transformable Building Structures* (E. Durmisevic), todos nos Países Baixos, além do projeto *IFD Building*, da União Européia, e o sistema comercial *Open House* (Suécia).

¹¹³ Apesar de adotar por princípio da “desconstrutibilidade” e o reaproveitamento de componentes e materiais, o IFD parece ter seu apelo mais no potencial econômico que no ecológico, e, nesse sentido, sua proposta parece promissora especialmente frente a um contexto como o da indústria da construção civil nos Países Baixos, e em particular da produção habitacional, caracterizada por uma crise econômica de natureza estrutural (baixa demanda, baixa lucratividade, baixa competitividade) e pela insatisfação geral dos usuários com o preço elevado e a baixa qualidade dos imóveis novos, além de tradição sólida de industrialização da construção.

¹¹⁴ Ver prancha 5.14

O projeto *IFD Buildings: Social-Technological-Commercial Process Model and Supporting Communication/Information System for Design and Delivery of Industrialized, Flexible and Demountable Buildings* (2001-2003), ou simplesmente *IFD Buildings*, financiado pela União Européia, envolveu a participação nove instituições em cinco países: Reino Unido, Finlândia, Países Baixos, França e Itália. O projeto teve como objetivo desenvolver um modelo para o estabelecimento de consórcios dedicados ao desenvolvimento, comercialização e produção de edifícios IFD. Os atributos definidos para o sistema incluem a possibilidade de escolha de componentes, materiais e acabamentos a partir de um catálogo IFD, a flexibilidade de *lay-out*, a possibilidade de reciclagem dos componentes e a redução dos custos de manutenção em decorrência da facilidade de desmontagem, conserto e substituição dos componentes do edifício e das instalações prediais. O sistema desenvolvido utiliza tecnologias, componentes e materiais disponíveis no mercado europeu e foi aplicado ao projeto de uma “Casa IFD” e de um “Edifício de Escritórios IFD” (D’ARCHITETTURA, 2004).¹¹⁵

O sistema comercial *Open House* (Suécia)¹¹⁶, outro exemplo de aplicação dos princípios do IFD, utiliza uma tecnologia patenteada de construção modular, (desenvolvida pelo arquiteto Peter Bromberg, Universidade de Lund), que se baseia no uso de perfis leves de aço, permite a construção de edifícios de até oito pavimentos e serve à aplicação dos princípios de flexibilidade e adaptabilidade do edifício (CASE STUDY..., 2007; LIGHT STEEL..., c2006). Entre as vantagens ambientais do sistema *Open House*, LIGHT STEEL... (c2006) menciona o nível elevado de incorporação de materiais reciclados e a possibilidade de completo reaproveitamento dos materiais e elementos. O sistema foi utilizado na construção do conjunto de casas geminadas Risdkolan (200?), em Helsingborg, e do bairro Annestad (2003-2006), em Malmö, este último envolvendo a construção de 1.200 unidades residenciais distribuídas em cerca de quarenta edifícios, à época, o maior empreendimento residencial em construção na Suécia (CASE STUDY..., 2007; LIGHT STEEL..., c2006).¹¹⁷

¹¹⁵ Ver pranchas 5.15

¹¹⁶ O termo *Open House* designa tanto o sistema quanto a empresa constituída especificamente para sua produção e comercialização.

¹¹⁷ Ver pranchas 5.16 e 5.17

Converter o reaproveitamento de materiais e componentes em uma prática habitual na construção civil pressupõe o estabelecimento de uma infra-estrutura e de uma logística de desconstrução, transporte, armazenagem e redistribuição para a reutilização. Morgan e Stevenson (2005) afirmam que as cargas ambientais geradas pelo transporte do material recuperado podem sobrepujar os ganhos ambientais obtidos com a recuperação, de forma que sua reutilização deve se dar o mais próximo possível do local da desconstrução. Isso implica que a disseminação da desconstrução como origem de insumos para novos edifícios, sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental, tem o potencial de produzir ciclos sucessivos de recuperação e reutilização de materiais, circunscritos a uma área geográfica restrita e, portanto, de atuar como fator de dinamização das economias locais. A *BauElemente Lager* (Alemanha) e a *BauteilBörse* (Áustria) são duas experiências que procuraram associar a recuperação de materiais e componentes de construção à geração de emprego e renda.

O projeto “Armazém de Materiais para a Construção” - *BauElemente Lager* (BEL) foi iniciado em 1991, em Berlim, com o objetivo de recuperar e comercializar materiais de construção usados, provenientes de projetos de reabilitação urbana, e, simultaneamente, qualificar trabalhadores desempregados com dificuldade para a obtenção de trabalho (BASEL..., 1998). A “Bolsa de Materiais para a Construção” – *BauteilBörse* (Suíça) foi inaugurada em Basileia, em 1995, e oferece o serviço de catalogação e revenda de componentes provenientes de canteiros de obra e demolição. A *BauteilBörse* mantém na *internet* um catálogo virtual com os produtos disponíveis, indica profissionais habilitados aos serviços de limpeza e renovação dos componentes e opera um Mercado de Componentes de Construção (*Bauteilladen*), reservado a artigos históricos ou de maior valor. A iniciativa expandiu-se para outras quatro cidades e se articula atualmente em uma rede nacional que envolve governos locais, organizações não-governamentais e a iniciativa privada (BASEL..., 1998; BAUTEILNETZ SCHWEIZ, s/d).¹¹⁸

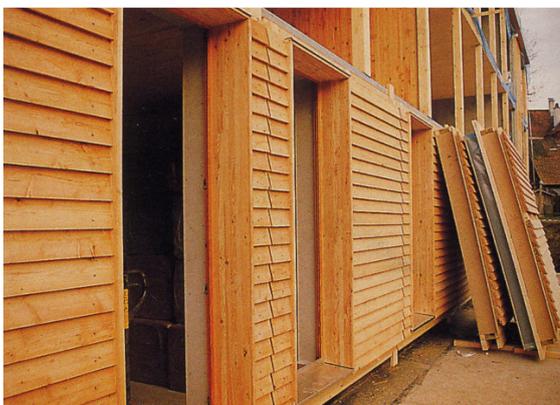
Converter o reaproveitamento de materiais e componentes em uma prática habitual na construção civil pressupõe um processo de modulação de componentes e de estabelecimento de normas técnicas para materiais reciclados, e o projeto de arquitetura a partir de um

¹¹⁸ Ver prancha 5.18

conjunto dado de componentes pré-existentes incorpora novos condicionantes: modelos, tamanhos, quantidade disponível de materiais e componentes. Por outro lado, é nessa transformação operacional e cultural onde provavelmente se encontra o aspecto mais inovador do projeto para a desconstrução: entender o estoque edificado como fonte constante de matéria prima para construção, ou, nas palavras de Morgan e Stevenson, “reorientar nossa atitude em relação aos edifícios e percebê-los como depositários de recursos de grande valor” (2005, p. 22). Kohler e Moffatt afirmam que o estoque edificado europeu “deverá substituir a natureza com a principal fonte de recursos no longo prazo” (2003, p. 19), e, segundo Guy e Shell (2002, p. 01).

A prática do DfD permitirá um dia ao estoque de edifícios, novos e existentes, servir como fonte primária de materiais para a substituição de construções, de fato, minar e lavar o estoque de edifícios existentes, aos invés do meio-ambiente natural.

Prancha 5.1 Edifício Ölzbündt (Áustria) e Conjunto Residencial Looren (Suíça)



5.7	5.9
5.8	5.10

Figura 5.7 Hermann Kaufmann, Edifício Ölzbündt, Dornbirn, Áustria (1996-1997). Vista a partir do oeste. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 5.8 Idem. Montagem dos elementos de fachada pré-fabricados. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Estrutura em madeira, pré-fabricada pelo sistema K-Multibox, desenvolvido pelo arquiteto em conjunto com a empresa empreiteira. Pilares de madeira local (abeto do norte) lamelada colada; pavimentos e cobertura em peças pré-fabricadas com estrutura de abeto do norte; paredes externas em peças pré-fabricadas, com paramento externo em madeira local (alerce) sem tratamento; varandas e passarelas em aço galvanizado.

Figuras 5.9 e 5.10 Metron Architektbüro. Conjunto residencial Looren. Affoltern-am-Albis, Suíça (1997-1999). Vista parcial do conjunto a partir do sul. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Estrutura em madeira: vigas e pilares em madeira local (abeto do norte) lamelada colada; paredes externas executadas com painéis pré-fabricados de grandes dimensões, estruturados com madeira maciça (abeto do norte), fechamento pela parte externa com chapa de fibras de madeira branca e pela parte interna com placas de Fermacell (ver quadro 5.3); estrutura das varandas e revestimento das fachadas com madeira local (pinheiro do Oregon) sem tratamento. Caixilharia em madeira (abeto do norte); tabiques de Fermacell revestidos com pintura à base de caseína sobre papel de aveia; pavimentos em cerâmica, parque ou linóleo (GAUZIN-MÜLLER, 2002).

Prancha 5.2 Edifícios ATT Viikii (Finlândia) e Wohnen und Arbeiten (Alemanha)



5.11	5.12
5.13	5.14

Figura 5.11 Arrak Architects, Edifício ATT Viikki, Helsinque, Finlândia (1997-2000). Vista parcial da fachada sul, mostrando varandas e passarelas. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 5.12 Idem. Vista parcial da fachada sul, durante a construção. Pode-se ver os painéis portantes de concreto armado e a montagem dos elementos de fachada pré-fabricados em madeira. Fonte: ARRAK, 2005.

Estrutura mista de concreto e madeira: elementos portantes (painéis transversais) de concreto armado pré-fabricado; laje de concreto alveolar; cobertura estruturada em madeira maciça; fachadas compostas por elementos pré-fabricados em madeira; varandas e passarelas com estrutura de madeira lamelada encolada e madeira micro laminada *kerto*, e piso de pinus, tratado em autoclave. A inércia térmica do concreto armado é explorada como elemento do sistema misto (passivo/ativo) de condicionamento ambiental. “Ecomateriais” não estruturais: isolamento térmico de celulose bombeada e revestimento das fachadas em painéis compostos de papel reciclado e resina.

Figura 5.13 Commons & Gies Architekten. Edifício *Wohnen und Arbeiten*. Freiburg, Alemanha (1996-1999). Fachada norte. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 5.14 Idem. Fachada sul durante a construção. Pode-se ver as paredes portantes em bloco sílico-calcáreo e a montagem dos elementos de fachada pré-fabricados em madeira. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Paredes portantes de alvenaria de blocos sílicos-calcários, lajes em concreto armado, fachadas principais em elementos pré-fabricados de madeira (esqueleto de madeira branca e fechamento em chapa de aglomerado *Agepan*, pintada de azul, ou lambris de pinheiro do Oregon), varandas e passarelas com estrutura de perfis leves de aço galvanizado, caixalhas de madeira (abeto do norte), eliminação quase completa dos produtos de PVC.

Prancha 5.3 Jardim de Infância em Heumaden (Alemanha) e Instituto Alterra (Países Baixos)



5.15	
5.16	5.17
5.18	5.19



Figuras 5.15 e 5.16 Joachim Eble Architektur. Jardim de infância em Heumaden, Stuttgart, Alemanha (1995-1998). Vistas externas. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 5.17 Idem. Vista do pátio interno. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Estrutura exclusivamente em madeira maciça (toda a madeira utilizada foi retirado de um bosque próximo); paredes, pavimento e apoios da cobertura em tábuas de abeto do norte de segunda categoria; isolamento acústico à base de fibras de coco; revestimento dos pisos em linóleo; produtos de acabamento superficial da madeira compostos exclusivamente de matérias-primas naturais (solvente à base de óleo de laranja, pigmento à base de óleo de linho...), que colorem deixando transparecer os veios naturais da madeira.



Figura 5.18 Behnisch, Behnisch & Partner. Instituto Alterra, Wageningen, Países Baixos (1993-1998). Vista externa parcial. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Figura 5.19 Idem. Átrio. Vista interna. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Estrutura em concreto armado; fachadas internas com estrutura de madeira local (alerce) sem tratamento (técnica de tábuas coladas para aproveitamento de pequenas sessões); fachadas externas com estrutura de aço e fechamentos em vidro, fibrocimento e madeira, também sem tratamento (falsa acácia, única espécie local resistente nessas condições). A escolha dos materiais envolveu uma análise quanto ao uso e ao impacto ambiental.

Prancha 5.4 Produtos proprietários em terra crua e construção mecanizada em taipa

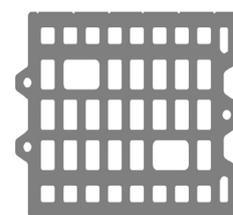


Figura 5.20 Imagem promocional de divulgação dos produtos para construção em terra crua produzidos pela fabricante Claytec (Alemanha): tijolos extrudados (abaixo, à esquerda), blocos de terra comprimida -BTC (abaixo, à direita), e diversos tipos de argamassa (ao fundo), entre outros. Fonte: CLAYTEC, s/d.

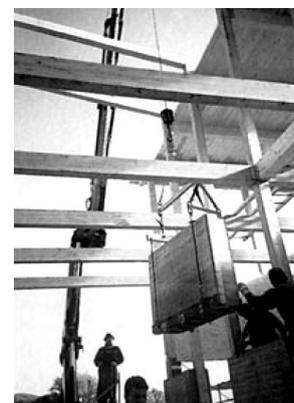
Figuras 5.21 e 5.22 Tijolo extrudado em terra crua desenvolvido pela fabricante WIENERBERGER AG (Alemanha) em parceria com a ONG *Lower Áustria Green Building Cluster* e a Universidade Técnica de Viena, entre outros participantes. Fonte: KOCH; KUNZE; SEIDL, 2005.

Figuras 5.23 a 5.25 Processo mecanizado de execução de taipa: lançamento, compactação e retirada das fôrmas, respectivamente (Capela da Reconciliação, Berlim). Execução: Lehm Ton Erde (Áustria). Fonte: WIECKHORST, 2003.



5.20	5.21
	5.22
5.23	5.24
	5.25

Prancha 5.5 Taipa com emprego de técnicas mecanizadas



5.32	5.33
5.34	
5.35	
5.36	5.37



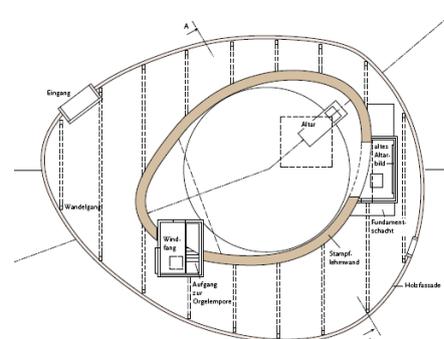
Figura 5.32 Ablinger, Vedral & Partner. Sede de indústria gráfica. Pielach, Áustria (1999-2000). Uso de elementos de taipa pré-fabricados. Pavimento superior, área de circulação. Fonte: LEHMBAU..., s/d.

Figuras 5.33 Idem. Módulos pré-fabricados de taipa durante a construção. Fonte: idem.

Figura 5.34 Idem. Corte longitudinal mostrando na área colorida os elementos de taipa. Fonte: idem.

Figuras 5.35 e 5.36 Rudolf Reiterman, Peter Sassenroth. Capela da Reconciliação, Berlim. Vista Externa e interna, respectivamente. Fonte: WIECKHORST, 2003.

Figura 5.37 Idem. Planta Baixa, mostrando na área colorida a parede de taipa. Fonte: WIECKHORST, 2003.



Prancha 5.6 Alvenaria em terra crua



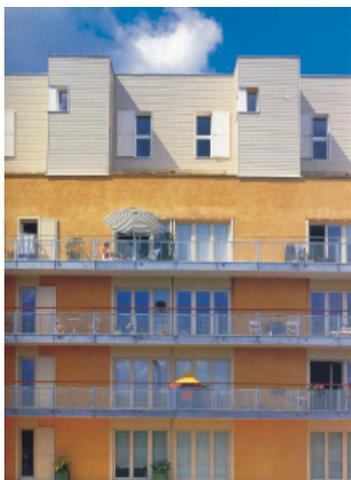
5.26	5.27
5.28	5.29
5.30	5.31

Figuras 5.26 e 5.27 Schauer+Volhard. Ateliê. Darmstadt, Alemanha (1995-96). Paredes externas em elementos pré-fabricados de madeira, preenchidos com tijolos de terra crua e revestidos em ambas as faces com argamassa de terra crua. Fonte: EARTHEN..., s/d (a)

Figuras 5.28 e 5.29 Kerstin Vogel. Residência. Taubach, Alemanha (1998). Estrutura em madeira, com fechamento interno em alvenaria de terra crua, revestida com argamassa de terra crua, e fechamento externo em chapa de madeira branca revestida com lambris de madeira. Fonte: EARTHEN..., s/d (b)

Figuras 5.30 e 5.31 AwerK Günter zur Nieden. Conjunto Blesseahl (habitação de interesse social), Lübeck, Alemanha (1998). Paredes, pavimentos e cobertura compostos por painéis pré-fabricados de madeira. Alvenaria de terra crua utilizada nos vãos de circulação vertical, para isolamento acústico e proteção contra incêndio. Fonte: EARTHEN..., s/d (b)

Prancha 5.7 Ed. Salvatierra (França) e Projeto *Low Cost Earth Brick Construction* (Reino Unido)



5.38 | 5.39 | 5.40

Figuras 5.38 e 5.39 Jean-Yves Barrier. Edifício Salvatierra, Rennes, França (1998-2001). Vista das fachadas sul (adobe) e norte (madeira), respectivamente. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

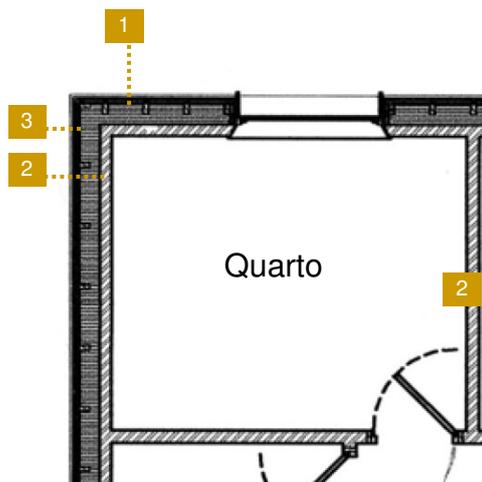
5.42 | 5.41

Figura 5.40 Idem. Vista parcial da fachada sul (adobe) durante a construção do edifício. Fonte: GAUZIN-MÜLLER, 2002.

Estrutura em concreto armado; fachada sul e empenas estruturadas em madeira, com paramento externo no primeiro pavimento em *Éterclin* (aglomerado de fibras de madeira e cimento), e nos demais em madeira local (falso abeto) pintada em fábrica; isolamento térmico à base de lã de carneiro; fachada sul em adobe.

Figura 5.41 Arc Architects. Residência, Dalguise, Reino Unido (2003-2005). Vista aérea. Fonte: MORTON, 2005.

Figura 5.42 Idem. Detalhe da planta, mostrando a estrutura das paredes externas: (1) Pelo lado externo, paramento em lambris de madeira local (alerce), sem tratamento, tabique em chapa de madeira e estrutura portante em madeira branca; (2) Internamente, alvenaria de terra crua revestida com argamassa de terra crua; (3) No vazio intermediário, isolamento em celulose à base de papel reciclado. Fonte: MORTON *et al.*, 2005.



Prancha 5.8 Edifício Taviel (França), Dundee CAC e Projeto BEDZed (Reino Unido)



Figura 5.43 Richard Murphy, Bill Black, James Manson. Centro de Arte Contemporânea de Dundee, Dundee, Reino Unido (1996-99). Vista externa. Fonte: RICHARD..., c1991-2007

Figura 5.44 Antigo armazém existente no local antes da construção do Centro de Arte Contemporânea e cujos tijolos foram reutilizados no novo edifício. Fonte: RICHARD..., c1991-2007

Figura 5.45 Ara Architecture. Edifício Taviel, Saint-Omer, França (1997). Projeto de habitação social *Rex HQE*. Vista externa. Fonte: IDEA, s/d.

Figura 5.46 Antiga prisão existente no local antes da construção do edifício Taviel e do qual foram reaproveitados os tijolos e as tábuas de madeira do piso, utilizadas para fabricar os alisares das portas e janelas. Fonte: IDEA, s/d.

Figura 5.47 Bill Dunster Architects. BedZED, Londres (1999-2001). Vista parcial. Fonte: Ursa, s/d.

5.43	5.45	5.46
5.44		
5.47		

O BedZED teve como uma de suas diretrizes de projeto a utilização ao máximo de materiais disponíveis em um raio de 35 milhas (± 56 km) de distância do local da obra. Cascalho existente no próprio terreno foi utilizado na sub-base das vias de circulação (a idéia inicial de utilizá-lo como agregado para o concreto mostrou-se inviável economicamente). Os edifícios têm paredes externas duplas: alvenaria de bloco de concreto na parte interna e alvenaria de tijolo cerâmico, ou tabique de lambris de madeira local certificada (carvalho), na parte externa. Tanto os blocos de concreto quanto os tijolos cerâmicos são produzidos localmente. As divisões internas dos edifícios são compostas de placas de gesso fixadas a montantes de madeira (90% reaproveitada). As áreas de escritório têm estrutura em aço (95%) reaproveitado. O revestimento dos pisos é de madeira reaproveitada, linóleo ou cerâmica. (BEDZED..., 2004)



Prancha 5.9 Casas Recicladas (Suécia, Noruega)



5.48

5.49

5.50

5.51

Figura 5.48 P. Lewis Jonsson, Återvunna Huset (Casa Reciclada), Lund, Suécia (1997). Fonte: THORMARK, 2000.

Figura 5.49 HSØ Arkitektkontor. Gjenbrukshus ("Casa Reciclada"), Trondheim, Noruega (2002-2003). Fonte: HSØ ARKITEKTKONTOR, s/d.

Figura 5.50 Em primeiro plano, a "Casa Reciclada", que utiliza percentual elevado de materiais reaproveitados, de procedência local: madeira da estrutura e dos paramentos externos, telhas, tijolos, portas e janelas, entre outros; em segundo plano, casa construída conforme o mesmo projeto de arquitetura, mas utilizando materiais convencionais. Fonte: HSØ ARKITEKTKONTOR, s/d.



Figuras 5.51 HSØ Arkitektkontor. Gjenbrukshus ("Casa Reciclada"), Trondheim, Noruega (2002-2003). Detalhe da estrutura em madeira, durante a construção. É possível observar as marcas deixadas na madeira por uso anterior. Fonte: PETERSEN, 2005.



Prancha 5.10 Tipos de conexão entre elementos construtivos

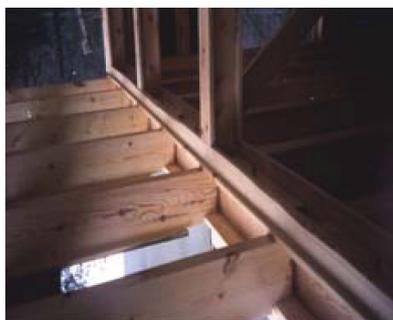
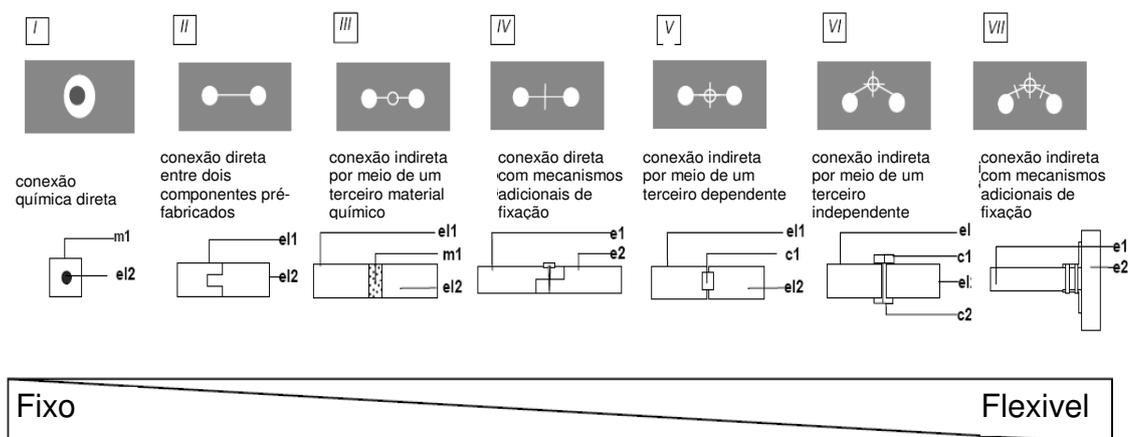


Figura 5.52 Sete princípios de conexão (m=material, c=conector,el=elemento). Fonte: DURMISEVIC; BROWER, 2002.

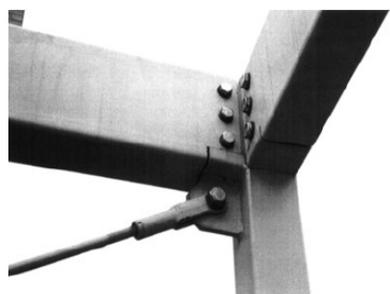
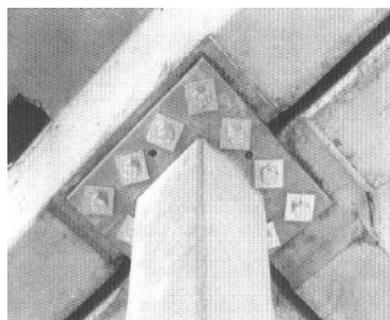
Exemplos de conexões “flexíveis” entre elementos estruturais, conforme os princípios do DfD.

Figura 5.53 Gaia Architects. Sistema BfO de construção em madeira (Noruega). Fonte: BERGE, 2005.

Figura 5.54 Sistema MXB-5 de construção em concreto pré-fabricado (Países Baixos). Fonte: VAN DIJK *et al*, 2002.

Figura 5.55 Robert Winkel. *Smart House*, Sistema IFD em estrutura metálica (Países Baixos).Fonte: D'ARCHITETTURA, 2004.

Figura 5.56 Gaia Architects. Glencoe Visitors Center, Glencoe, Reino Unido (2000-2002). Estrutura em madeira local (carvalho) sem tratamento. Fonte: THE WELSH SCHOOL OF ARCHITECTURE, c2004.



5.52

5.53	
5.54	
5.55	5.56

Prancha 5.11 Desconstrução e revitalização de edifícios (Países Baixos)



Conjunto habitacional Burgemeesterswijk, Maassluis, Países Baixos (1998-2006). Projeto de revitalização urbana, compreendendo ações de desconstrução, renovação e reaproveitamento de estruturas um conjunto habitacional construído na década de 1960, com a utilização do sistema *Elementum* de pré-fabricação em concreto.

Dos 6 edifícios, dois foram reformados e acrescidos de mais 1 pavimento, três tiveram os dois pavimentos superiores retirados e dois restantes convertidos em residências unifamiliares geminadas e o sexto edifício foi completamente removido, com reaproveitamento das fundações para a construção também de um bloco de casas geminadas.



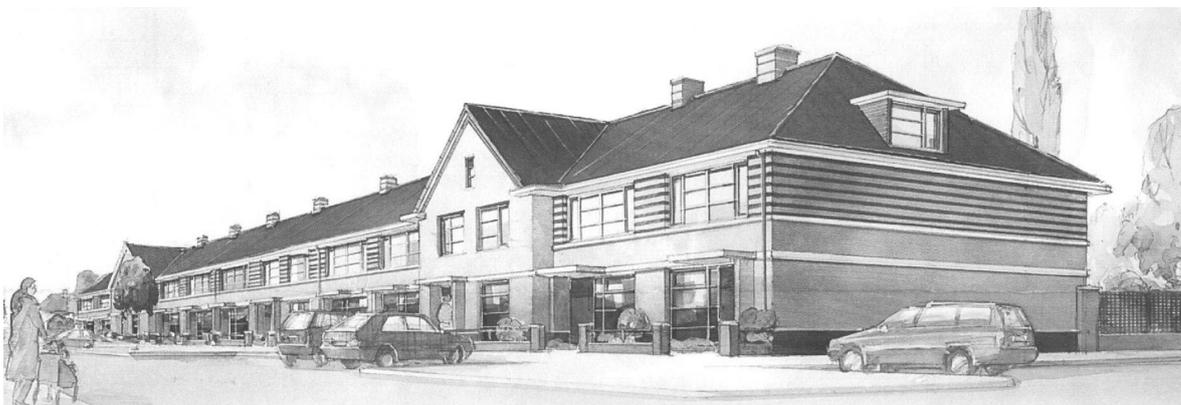
Figura 5.57 Em primeiro plano um dos edifícios nas condições originais. Ao fundo, um dos edifícios reformados, acrescido de um pavimento. Fonte: TE DORSTHORST; KOWALCZYK, 2005.

Figuras 5.58 Em primeiro plano, a estrutura de um dos edifícios que sofreu a retirada de seus quatro pisos superiores. Ao fundo, edifício reformado, acrescido de um pavimento. Fonte: Op. cit.

Figura 5.59 Scala Architecten. Casas geminadas. Projeto. O novo bloco de residências unifamiliares reaproveita a estrutura dos dois primeiros pavimentos do antigo edifício de apartamentos. Fonte: Op. cit.

5.57	
5.58	

5.59	



Prancha 5.12 Escola primária De Regenboog (Países Baixos)



5.60	5.61
5.62	5.63

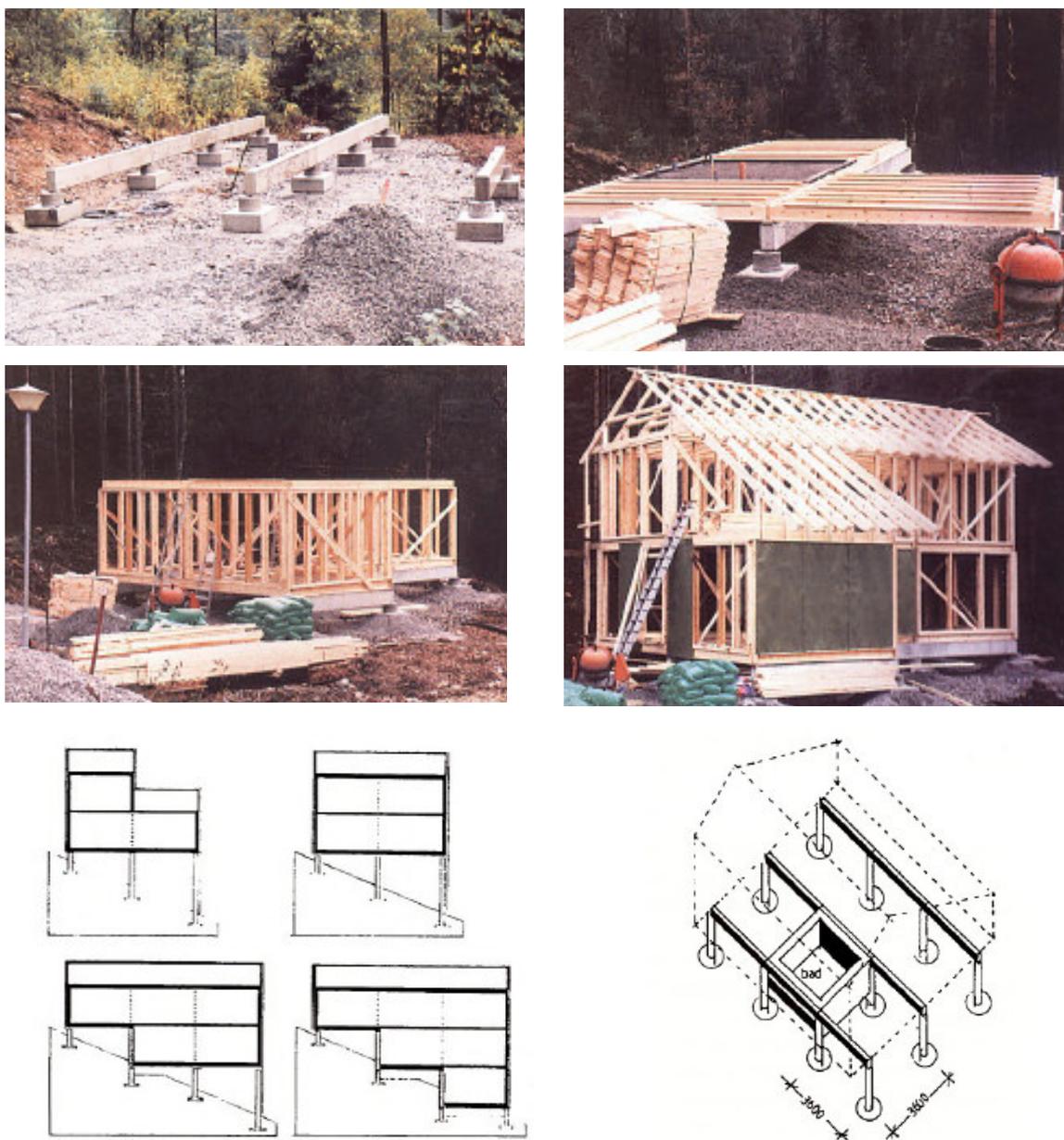
Figura 5.60 Escola Primária De Regenboog, Schijndel, Países Baixos (2000). Fachada principal, ao final da construção do edifício. Fonte: DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002.

Figura 5.61 Idem. Fachada posterior.

Figuras 5.62 e 5.63 Idem. Vistas internas, respectivamente de um dos apartamentos e de uma das salas e aula.

Exemplo de aplicação do princípio da adaptabilidade. O edifício está localizado em um bairro novo (Hoevenbraak) onde há perspectiva de uma demanda elevada por vagas no ensino fundamental ao longo dos próximos anos. O projeto previu a implantação da escola no pavimento térreo e em parte do segundo pavimento, sendo o restante ocupado por apartamentos. O projeto foi elaborado de forma que salas de aula possam ser facilmente convertidas em apartamentos, e vice versa, conforme as mudanças de demanda ao longo do tempo (DORSTHORST; KOWALCZYK, 2002).

Prancha 5.13 Sistema BfO (Noruega)



5.64	5.65
5.66	5.67
5.68	5.69

Figuras 5.64 a 5.67 Gaia Architects (Noruega, Reino Unido). Protótipo do Sistema BfO de construção em madeira, projetado para a desconstrução. Seqüência de etapas do processo de construção: execução das fundações; montagem das vigas do primeiro pavimento; elevação da estrutura de madeira; montagem das paredes. Fonte: BERGE, 2005.

Figura 5.68 Sistema BfO. Esquemas de utilização do sistema conforme diferentes configurações arquitetônicas (corte transversal). Fonte: Op. cit.

Figura 5.69 Gaia Architects (Noruega, Reino Unido). Sistema BfO. Modulação (perspectiva axonométrica). Fonte: Op. cit.

Prancha 5.14 Programa “Edifícios IFD” (Países Baixos)



Figura 5.70 Faro Architecten. 28 casas em Almere, Almere, Países Baixos (2001). Fonte: NIJHUIS BOUW, s/d.

Figura 5.71 Hulshof Architecten. Conjunto residencial Terbregse, Rotterdam, Países Baixos (2000-2002). Fonte: HULSHOF ARCHITECTEN, 2002.

Figura 5.72 Damen Consultants. Edifício-sede da Damen Consultants, Delft, Países Baixos (1999-2001) Fonte: QUAH *et al.*, 2004.

Figura 5.73 Universidade Técnica de Eindhoven. Edifício-protótipo do sistema *IFD Today*, Eindhoven, Países Baixos (2001). Fonte: VAN GASSEL, 2002.

Figura 5.74 Robert Winkel. Projeto de demonstração do sistema *Smart House*, em estrutura metálica, Rotterdam, Países Baixos. Fonte: EURO-BUILD..., s/d.



5.70	5.71
5.72	5.73
	5.74

Prancha 5.15 Casa IFD - Projeto "IFD Building" (União Européia)

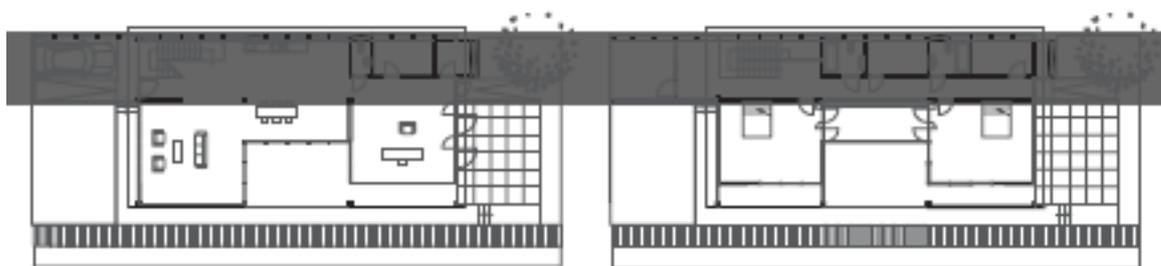


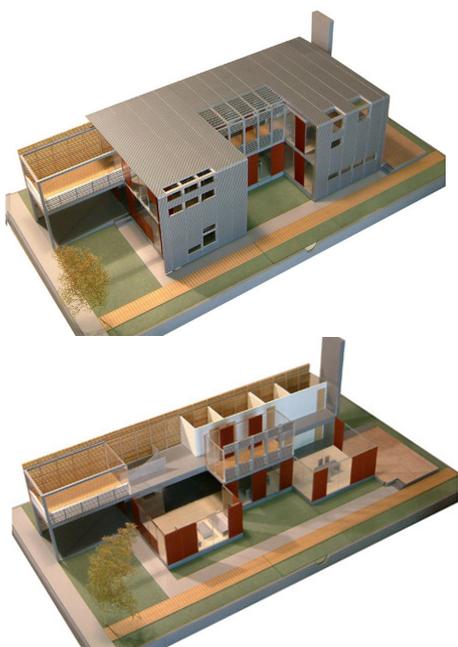
Figura 5.75 Ipostudio Architetti Associati. Casa IFD, projeto. Planta baixa (à esq.) e planta do primeiro pavimento (à dir.). A área sombreada indica o "núcleo" do edifício. Fonte: D'ARCHITETTURA, 2004.

Figura 5.76 Idem. Vista da fachada principal e da "casca" do edifício, a partir de modelo reduzido. Fonte: Op. cit.

Figura 5.77 e 5.78 Idem. Vista aérea com, e sem a "casca", respectivamente, a partir de modelo reduzido. Fonte: Op. cit.

Figuras 5.79 Idem. Vista da fachada posterior a partir de modelo reduzido. Fonte: Op. cit.

O sistema é composto por três macro-módulos: núcleo (*core*), módulos funcionais (*functional modules*) e casca (*shell*). O núcleo é inteiramente pré-fabricado, e quase inteiramente montado em fábrica, e abriga as partes centrais das instalações prediais e equipamentos, as áreas úmidas, as áreas de circulação, entre outros. O núcleo tem função central também no processo de construção, sendo o primeiro elemento a ser instalado e servindo de base para a instalação dos demais (D'ARCHITETTURA, 2004).



5.75

5.76	
5.77	
5.78	5.79



Prancha 5.17 Bairro Annestad (Suécia)



5.85	5.86
5.87	5.88
5.89	

Figura 5.85 Landskronagruppen e Open House Production. Bairro residencial Annestad, (2003-2006). Vista aérea. Fonte: LIGHT STEEL..., c2006.

Figuras 5.86 a 5.88 Landskronagruppen e Open House Production. Edifícios no bairro de Annestad, Malmö, Suécia. Exemplo de “bandeja filtrante” utilizada como elemento ornamental integrado ao jardim da residência. Fonte: LIGHT STEEL..., c2006; ÅBERG, 2006; e CASE STUDY..., 2007, respectivamente.

Figura 5.89 Conjunto residencial Risdkolan, Helsingborg, Suécia. Fonte: BERGSTEN, 2005



Prancha 5.18 *Bauteilnetz Schweiz* (Suíça)



5.90	5.91
5.92	5.93
5.94	

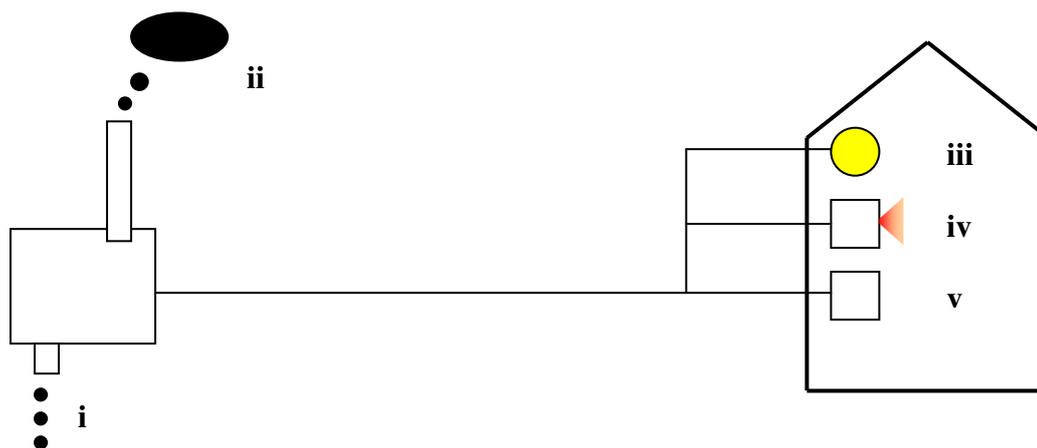
Figuras 5.90 a 5.94 Produtos provenientes de canteiros de obra e demolição, à venda para reutilização pela rede suíça de componentes de construção (*Bauteilnetz Schweiz*), respectivamente: piso parque, tijolos cerâmicos, caixilharia com vidro, madeira para construção. Fonte: Bauteilnetz Schweiz, s/d.

Olhando em retrospectiva, o presente trabalho se divide claramente em duas partes. A primeira reúne os dois primeiros capítulos e corresponde a um esforço para situar o problema da arquitetura sustentável em relação à questão mais ampla da sustentabilidade, e para identificar algumas linhas estruturadoras da multiplicidade de vozes do movimento da arquitetura sustentável. A lição mais importante foi que o domínio da arquitetura sustentável encontra-se na relação dialética entre o mundo da natureza objetiva e mundo das representações e das relações sociais. Não é possível falar em arquitetura, na sua relação com o meio ambiente, sem tratar de fluxos reais, mensuráveis, de matéria e energia. Ao mesmo tempo, será inútil pretender compreender a natureza da arquitetura sustentável ignorando que se trata de construção social, ou seja, de uma abstração forjada da visão de mundo de uma época específica, a partir dos elementos de um dado contexto cultural. Mais ainda, é importante compreender que o debate ecológico encerra um conflito ideológico que pode colocar em questionamento alguns dos valores basilares e das bases estruturais sobre os quais o nosso mundo e a nossa vida cotidiana se constroem. Mais ainda, o debate ecológico encerra conflitos de interesses e disputas de poder. Ao arquiteto que se envereda pelo discurso da sustentabilidade cabe ter clara consciência da posição que ocupa nesse embate.

A segunda parte do trabalho, que envolve os últimos três capítulos, procurou identificar como a questão ambiental se traduz em uma agenda para o projeto de arquitetura. Em primeiro lugar, essa agenda se divide em três temas: energia, água e materiais. Em relação à questão da energia, o projeto de arquitetura orientado para a sustentabilidade ambiental deverá se ocupar de promover o aumento da eficiência energética do edifício e de avaliar a pertinência e a conveniência de acomodar em se corpo a geração de parte, ou da totalidade da energia nele consumida. A promoção do aumento da eficiência energética começa por assegurar que as características estruturais do edifício trabalhem a favor do conforto humano, frente às condições climáticas: a arquitetura sustentável é, por premissa, arquitetura em equilíbrio com o clima. De postura pragmática, a arquitetura sustentável européia advoga que as soluções passivas devem ser articuladas com as soluções ativas de forma a assegurar os melhores resultados, em relação ao conforto, ao meio ambiente, e aos custos.

Em relação à questão da água, o projeto de arquitetura orientado para a sustentabilidade ambiental deverá avaliar a forma mais responsável e proveitosa de lidar, tanto com a água limpa que chega ao edifício, quanto com a água que se contamina pelo uso no próprio edifício. Os principais temas de projeto são a racionalização do uso da água, o aproveitamento da água da chuva, a gestão das águas servidas e o uso de coberturas verdes, que em certa medida, reconstituem, em pequena escala, o ciclo hidrológico natural. No que diz respeito à questão dos materiais, o projeto de arquitetura orientado para a sustentabilidade em relação aos sistemas naturais deve preocupar-se com duas questões: a origem dos materiais utilizados, e sua destinação futura. Essas preocupações se manifestam como dois temas: a substituição estratégica de materiais e o projeto voltado para o seu reaproveitamento.

Uma tal agenda tem por objetivo reverter um conjunto de práticas que se tornaram convencionais com a revolução industrial e, mais especificamente, a partir da Segunda Guerra Mundial: em relação à energia, um consumo elevado e freqüentemente perdulário, que no contexto europeu, é baseado majoritariamente na queima de combustíveis fósseis e na fissão nuclear – tecnologias com graves impactos sobre o meio-ambiente (figura C1); em relação à água, a rápida conversão de um recurso precioso e caro – a água potável – em esgoto, a ser rapidamente descartado (figura C2); em relação aos materiais, a retirada de uma enorme quantidade de recursos naturais e sua conversão em uma enorme quantidade de rejeitos, em um processo que movimenta muita energia, gera muita poluição e manipula uma grande quantidade de produtos perigosos (figura C3). A agenda da sustentabilidade implica em uma mudança de olhar do arquiteto: uma ampliação do campo de visão, que o leva a preocupar-se com a história pretérita e futura do edifício, antes de depois dos limites de sua atuação direta. A sustentabilidade ambiental implica em uma mudança de consciência, e exige uma postura de responsabilidade ampliada.

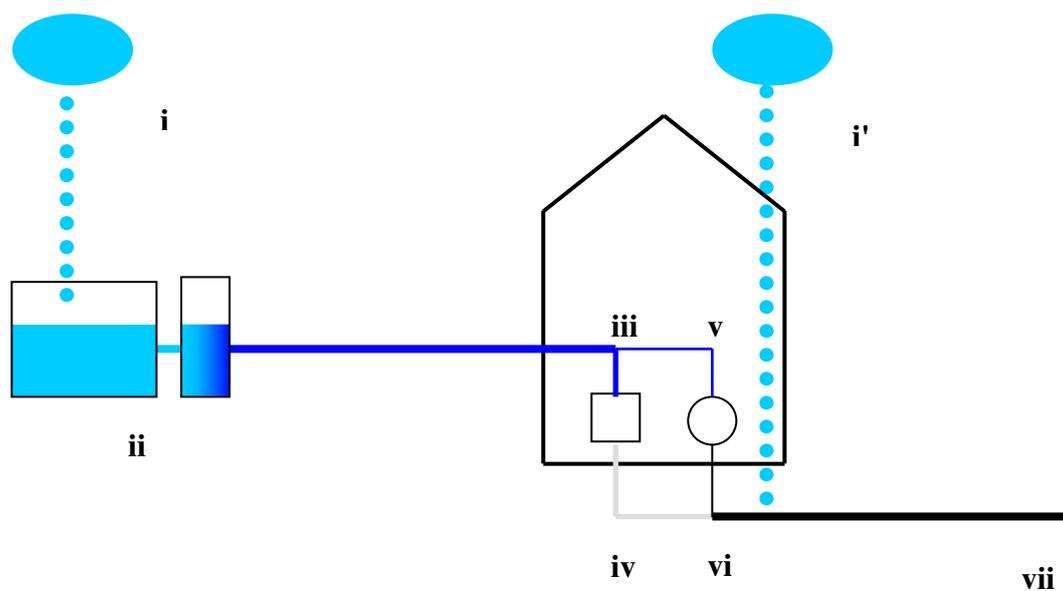


A. Produção de Energia

B. Consumo de Energia

i. petróleo, carvão, gás natural; ii. gases de efeito estufa; iii. iluminação artificial; iv. calefação, ar condicionado, ventilação mecânica; v. eletrodomésticos, equipamentos de escritório, outros equipamentos.

Figura C.1



A. Captação e tratamento de água

B. Consumo de água

i. água de mananciais distantes; ii. tratamento caro ao nível de potabilidade; iii. Chuveiros, banheiras, lavatórios, máquinas de lavar roupa; iv. água cinza; v. bacias sanitárias; vi. águas negras; vii. esgoto; i'. água da chuva não aproveitada.

Figura C.2



Figura C.3

O presente trabalho examinou a forma como essa agenda tem encontrado expressão concreta no contexto específico dos países europeus, e essa delimitação do objeto de pesquisa exige cautela. Enquanto a Europa tem preservado apenas cerca de 1% de sua cobertura vegetal original, o Brasil tem mais de 80%; nos países europeus, em geral, as atividades econômicas e o aumento da população exercem uma forte pressão sobre o território e os recursos naturais, e seu padrão de vida exige a mobilização de grande quantidade de recursos naturais de outras partes do mundo; a construção civil está inserida em uma economia industrializada e altamente tecnologicada e a demanda por novas construções é relativamente baixa. As experiências de arquitetura sustentável aqui examinadas emergiram nesse contexto, a partir de suas possibilidades, e frente a seus desafios. E no caso do Brasil? Qual será a expressão de arquitetura orientada para a sustentabilidade ambiental no contexto brasileiro? Como ela se colocará diante das distâncias continentais, do enorme déficit habitacional, da enorme disponibilidade de recursos naturais e da fragilidade dos ecossistemas, da necessidade de equilibrar a ocupação do território e a relação entre a cidade e campo, do elevado nível de informalidade da economia e do baixo nível de governança da sociedade, da diversidade geográfica e da rica herança cultural, inclusive arquitetônica? São questões importantes no momento em que o debate sobre a arquitetura sustentável começa a despontar no país, sob os riscos de importar os modelos e os programas estrangeiros, sem a crítica necessária.

Finalmente, cabe dizer que esse trabalho deixa abertas inúmeras rotas de pesquisa. Do ponto de vista teórico, foi deixado absolutamente inexplorado o problema da relação entre a questão ecológica e a dimensão da arquitetura como representação fenômeno histórico. Em

relação à dimensão tecnológica, muitos dos temas abordados parecem pertinentes ao nosso contexto, entre os quais pode-se citar: o aproveitamento da água da chuva, o uso de coberturas verdes, o aproveitamento da energia solar, e o desenvolvimento de novas abordagens para o uso de materiais naturais tradicionais, como a terra crua, a madeira e outras fibras naturais. Outro tema de pesquisa promissor que emerge dessa discussão são os arranjos institucionais aos quais os países europeus têm recorrido para impulsionar o desenvolvimento da arquitetura sustentável. Em especial figura do projeto de demonstração, em torno do qual se articulam agências governamentais, universidades, empresas privadas e entidades da sociedade civil organizada, em um trabalho que envolve simultaneamente o desenvolvimento e a disseminação de tecnologia, em um arranjo que parece potencializar recursos e esforços.

Referências Bibliográficas

textos consultados em versão impressa

ACOT, Pascal. **História da Ecologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990. 212 p. Tradução de: Histoire de l'écologie. Paris: Presses Universitaires de France, 1988.

ALEXANDER, Christopher. **Notes on the synthesis of form**. New York: Havard University Press, 1970.

ALMINO, João. **Naturezas Mortas: A Filosofia Política do Ecologismo**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG): Instituto de Pesquisa de Relações Internacionais (IPRI), 1993. 155 p.

AMORIM, Cláudia Naves David. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II: Sistema Inovadores para a Luz Natural** (mimeo). Texto básico da disciplina Estudos Especiais em Tecnologia – Iluminação Natural e Eficiência Energética no Projeto de Arquitetura, FAU-UnB, 2/2002.

ARONIN, Jeffrey Ellis. **Climate and Architecture**. New York: Reinhold, 1953. 304 p.

AYRES, Robert U. Industrial Metabolism. In: AUSUBEL; SLADOVICH (Eds.). **Technology and Environment**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1989. p. 23 –49.

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide**. London: E&FN Spon, 2000. 224p.

BANHAM, Reyner. **The Architecture of the Well-tempered Environment**. London: The Architecture Press, 1969.

BODE, Klaus. Educação, Comunicação e Tecnologia. São Paulo: AU, n. 104, out./nov. 2002. p. 70- 73. Entrevista concedida a Joana Gonçalves.

CAMPAJOLA, Viviana; FANCHIOTTI, Aldo; GALLO, Cettina; ZEVI, Luca (Curadores). **Architettura Bioclimatica/ Bioclimatic Architecture**. Roma: De Luca , 1983. 79 p. Catálogo da Mostra ENARCH' 83: Comitato nazionale per la ricerca e per lo sviluppo dell'energia nucleare e delle energie alternative (ENEA)/ Istituti Nazionale di Architettura (IN/ARCH).

FOLADOLI, Guillermo. **Limites do desenvolvimento sustentável**. Tradução de Marise Manoel. Campinas, SP: Editora da Unicamp; São Paulo: Imprensa Oficial, 2001. 221 p. Tradução de: Los limites del desarrollo sustentable.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. **Arquitetura Ecológica**. Tradução de Guillermo Landrove. Barcelona: Gustavo Gili, 2002. 287 p. Tradução de: L'Architecture Écologique. Paris: Moniteur, 2001.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1999. 457 p.

HAMBERGER, Sylvia *et al.* (Eds). **Sein oder Nichtsein: Die industrielle Zerstörung der Natur**. München: Raben, 1990. 246 p. Texto em alemão. Acompanha encarte com tradução de sinopse em português. Ser ou Não Ser: a destruição industrial da natureza. São Paulo: Goethe-Institut, 1992. Catálogo da exposição realizada por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – RIO 92.

HOBBSAWM, Eric. **Era dos Extremos: O breve século XX, 1914-1991**. Tradução de Marcos Santarrita. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1995. 598 p. Tradução de: Age of Extremes, The short twentieth century: 1914-1991. Pantheon Books, 1994.

INSTITUT CERDÀ. **Guia de l'Edificació Sostenible**. Barcelona: Fundació Privada Institut Ildefons Cerdà, 1999. 215 p.

JOHN, Vanderley M. Panorama sobre a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: IBRACON CT – 26, 1999. p. 44-55.

JUNGES, José Roque. **Ética ambiental**. São Leopoldo, RS: Editora Unisinos, 2004. 119 p.

KRUFT, Hanno-Walter. **A History of Architectural Theory from Vitruvius to the present**, New York: Zwemmer; London: Princenton Architectural Press, 1994.

LAMBERTS, Robert; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, São Paulo: PW Editores, 1997. 188 p.

LANDSBERG, Helmut E. **The Urban Climate**. New York: Academic Press, 1981.

LEFF, Enrique. **Epistemologia Ambiental**. Tradução de Sandra Valenzuela. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

MEADOWS, Donella H.; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, Jørgen; BEHRENS III, William W. **Limites do Crescimento: um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1978. 200 p. (Coleção Debates). Tradução de: The Limits to Growth.

MONTANER, Josep Maria. A beleza da arquitetura ecológica. In: _____. **A modernidade superada: arquitetura, arte e pensamento do século XX**. Tradução de Esther Pereira da Silva e Carlos Muñoz Gallego. Barcelona: Gustavo Gili, 2002, p. 191-205. Tradução de La modernidad superada: Arquitectura, arte y pensamiento del siglo XX, Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

MYHRE, Lars. The State of Deconstruction in Norway. In: CHINI, Abdol R. (Ed.). **Deconstruction and Materials Reuse: an International Review**. CIB Publication 300; Final Task Report of Group 39 on Deconstruction. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida, 2005.

NOBRE, Marcos. Desenvolvimento sustentável: origens e significado atual. In: NOBRE, Marcos; AMAZONAS, Maurício de Carvalho (Eds.). **Desenvolvimento Sustentável: A Institucionalização de um Conceito**. Brasília: IBAMA, 2002. 367 p.

OLGYAY, Victor; OLGAY, Aladar. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princenton, New Jersey: Princenton University Press, 1963. 190 p.

PAPANEEK, Victor, **Arquitetura e Design: Ecologia e Ética**. Lisboa: Edições 70, 1995.

ROGERS, Tyler Stewart. **Thermal Design of Buildings: A guide to economically sound thermal design of heat, air conditioned, or refrigerated buildings for use by architects, home builders, and building owners during preliminary design stages**. New York: John Wiley & Sons, 1964. 196 p.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3 ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SERRA FLORENSA, Rafael. La domótica podría efectuar grandes aportaciones a la vivienda sostenible. **El Mundo de la domótica**, n. 40, dic. 2002. p. 30-32. Entrevista concedida a Víctor Badenas.

SCHNAIBERG, Allan. **The Environment: from Surplus to Scarcity**. New York: Oxford University Press, 1980. 464 p.

SCHULTMANN, Frank. Deconstruction in Germany. In: CHINI, Abdol R. (Ed.). **Deconstruction and Materials Reuse: an International Review**. CIB Publication 300; Final Task Report of Group 39 on Deconstruction. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida, 2005.

SILVERSTEIN, Michael. **A revolução ambiental: como a economia poderá florescer e a terra sobreviver no maior desafio da virada do século**. Tradução de Álvaro Sá. Rio de Janeiro: Nórdica, 1995. 199 p. Tradução de: *The Environmental Economic Revolution*. Nova York: St. Martins, 1993.

SIMMONS, Ian Gordon. **Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History**. 2. ed. Oxford, UK: Blackwell, 1996. 464 p.

SOUZA, Renato Santos de. **Entendendo a Questão Ambiental: temas de economia, política e gestão do meio ambiente**. Santa Cruz do Sul, RS: EDUNISC, 2000. 461 p.

TE DORSTHORST, Bart J. H.; KOWALCZYK, Ton. State of Deconstruction in the Netherlands. In: CHINI, Abdol R. (Ed.). **Deconstruction and Materials Reuse: an International Review**. CIB Publication 300; Final Task Report of Group 39 on Deconstruction. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida, 2005.

THÉBERT, Yvon. Vida privada e arquitetura doméstica na África Romana. In: ARIÈS, Philippe; DUBY, George (Dir.); VEYNE, Paul (org.). **História da Vida Privada**. Vol.1: Do Império Romano ao Ano Mil. São Paulo: Companhia das Letras, 1990. p. 300 – 395.

VAN DER RYN, Sim; COWAN, Stuart. **Ecological Design**. Washington, D.C.: Island Press, 1996.

WINES, James. **Green Architecture**. Köln: Taschen, 2000.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987. 400 p.

YEANG, Ken. **El rascacielo ecológico**. Barcelona: Gustavo Gilli, 2001.

Referências Bibliográficas

textos consultados em versão digital

ÅBERG, Ulf. The Open House Concept of an Industrialized Building Process. In: SWEDISH MODELS OF SUSTAINABILITY SEMINAR, London, 2006.

Disponível em: <<http://www.constructingexcellence.org.uk/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ENERGIE (França). **Bâtiment et Démarche HQE**. [S.l.]: 2004. 20p.

Disponível em: <http://www.assohqe.org/docs/brochure%20HQE_ademe.pdf>. Acesso em 25 nov. 2006

AGENDA 21 ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION. Rotterdam: International Council For Research And Innovation In Building And Construction, 1999. CIB Report Publication 237. 120p.

Disponível em: <http://www.cibworld.n1/website/priority_themes/sus0.php>. Acesso em 16 dez. 2006

AQUACYCLE 900: Use your water twice – it's the smart way! Schiltachn (Alemanha): Pontos GmbH: Hansgrohe AG, s/d. Brochura promocional. 10p.

Disponível em: <<http://www.pontos-quacycle.com/>>. Acesso em: 13 set. 2006.

ANNEX 31: Energy-Related Environmental Impact of Buildings. Project Report. [S.l.]:

International Energy Agency; Canada Mortgage and Housing Corporation: 2004.

Disponível em: <<http://www.annex31.org.br>>. Acesso em: 07 jan. 2007

ARRAK Architects. 2005. Helsinque.

Disponível em: <<http://www.arrak.com/home.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2007

ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO. s/d. Recife.

Disponível em: <<http://www.asabrazil.org.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2007

AURO RAW Materials Guide. [S.l.]: Auro Pflanzenchemie AG, s/d.

Disponível em: <<http://www.auro.de/index.php>>. Acesso em: 07 jan. 2007

BABA, Fumiaki. Ecomaterials. **Mitsubishi Electric Advance**, Tokyo, v. 87, p. 17-19, Sept. 1999. Environmental Technology Edition.

Disponível em: <<http://global.mitsubishielectric.com/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

BANTING, Doug; DOSHI, Hitesh; LI, James; MISSIOS, Paul. **Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto**. Toronto, 2005. 88p.

Disponível em: <<http://www.toronto.ca/greenroofs/pdf/fullreport103105.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2006

BASEL: Setting up a building components exchange. In: SURBAN- the Database on Sustainable Urban Development in Europe. European Academy of the Urban Environment. Berlin, 1998.

Disponível em: <<http://www.eaue.de/winuwd/default.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2007

BAUMERT, Kevin; HERZOG, Timothy; PERSHING, Jonathan. **Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy**. Washington, DC.: World Watch Institute, 2005. 122 p.

Disponível em: <<http://www.wri.org/>>. Acesso em: 07 abril 2006.

BAUTEILNETZ SCHWEIZ. s/d. Bern.

Disponível em: <www.bauteilclick.com/>. Acesso em: 07 jan. 2007

BAYERN. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern. **Living on Bavaria: Experimental Housing**. München, 2003[a].

Disponível em: <http://www.experimenteller-wohnungsbau.bayern.de/engl/e_index.html>. Acesso em: 15 out. 2006

BAVIERA. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern. **Living on Bavaria: Experimental Housing: Timber-Built Housing**. München, 2005[b].

Disponível em: <http://www.experimenteller-wohnungsbau.bayern.de/engl/e_index.html>. Acesso em: 15 out. 2006

BEDZED Zero Carbon Housing. **NaturalSpace**. Leeds: NaturalSpace Architectural Design Studio, 2004. Disponível em: <http://www.naturalspace.com/bedzed_broadband/bedzedtext.htm>. Acesso em: 07 jan. 2007

BIOEDILIZIAITALIA: Istituto Qualificazione Bioedilizia. s/d. Fiume Veneto.

Disponível em: <<http://www.bioediliziaitalia.org/index.asp>>. Acesso em: 13 out. 2006

BOOM: Mileukunding Onderzoeken Ontwerpburo. c2006. Delft: Maastricht.

Disponível em: <<http://www.boomdelft.nl/index.php?id=1>>. Acesso em: 5 out. 2006

BRASIL. Presidência da República. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. Secretaria de Política Urbana. **Tecnologias Poupadoras de Água nos Sistemas Prediais**. Brasília: 1999. 43 p. Programa Nacional de Apoio ao Desperdício de Água – PNCDA. Documento Técnico de Apoio DTA-F1. Elaborado por Orestes Marracine Gonçalves, Eduardo Ioshimoto, Lúcia Helena de Oliveira.

Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_F1.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2006

CARDOSO, Luiz Reynaldo de Azevedo; ABIKO, Alex Kenya; GONÇALVES, Orestes Marraccini.

Estudo prospectivo da cadeia produtiva da construção civil no Brasil: produção e comercialização de unidades habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9. Foz do Iguaçu: 2002.

Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em: 07 jan. 2007

CASE STUDY: **The OpenHouse System (SPO25a-EN-EU)**. [Berkshire]: Access Steel, 2007.

Disponível em: <<http://www.access-steel.com/discovery/linklookup.aspx?id=SP025>>. Acesso em: 07 jan. 2007

CENTRE FOR SCIENCE AND ENVIRONMENT. New Delhi, 2006.

Disponível em: <<http://www.rainwaterharvesting.org/Rural/Traditional1.htm#kund>>. Acesso em 12 fev. 2007

CHAPLIN, Scott. **Water Efficiency: The Next Generation**. [Snowmass]: Rocky Mountain Intitute, c1998. 4 p. Draft 5-93.

Disponível em: <http://www.rmi.org/images/other/Water/W98-07_WatEffNxtGen.pdf> Acesso em 4 maio 2006

CHAPPELS, Heather; SHOVE, Elizabeth. **Confort: A review of philosophies and paradigms**. Grã-Bretanha, 2004.

Disponível em: <http://lancs.ac.uk/fss/sociology/research/projects/futcom/fc_litfinal1.pdf>. Acesso em 9 maio 2006

CHINI, Abdol R.; BALACHANDRAN, Shailesh. Anticipating and Responding to Deconstruction through Building Design. In: **Design for Deconstruction and Materials Reuse**. CIB Publication 272; Proceedings of the CIB TASK GROUP 39 – DECONSTRUCTION MEETING, 2002, Karlsruhe. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida; Karlsruhe: French-German Institute for Environmental Research: 2002.

Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. **Green Paper: For a European Union Energy Policy (COM(94) 659/final/2)**, 1995.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>> Acesso em: 24 fev.2007

_____. **Communication from the Commission – Energy Efficiency in the European Community: Towards a Strategy for the Rational use of Energy** (COM (1998) 246 final), 1998.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. **Summary Final Report: Target Project Energy Comfort 2000**. [Bruxelas, 1999a]. 24p.

Disponível em: <http://erg.ucd.ie/EC2000/download_main.html>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. **Green Paper: Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply**, (COM (2000) 769 final), 2001.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007.

_____. **Green Paper: Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply: Technical Document**, [2001]b.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. **Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environmental Action Programme**. Official Journal of the European Communities, Brussels, 10 sept. 2002, L242, p. 1-15.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. Official Journal of the European Communities, 4.1.2003 L 1/65 [EN]. **Directive 2002/91/EC of The European Parliament and of The Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings**. 2003.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. Communication from the Commission to the Council, The European Parliament, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. **Taking sustainable use of resources forward: Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources**. COM(2005) 670 final. Brussels, 2005. 32 p.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. **Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste**. Official Journal of the European Union, Brussels, 27 apr. 2006. L 114, p. 9-20.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

_____. **Livro Verde: estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura** (COM (2006) 105 final), 2006b.

Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 24 fev.2007

COMMERZBANK. **Idea – Is: Corporate Responsibility Report 2005**. Frankfurt am Main, 2005. 70 p.

Disponível em: <http://www.commerzbank.com/konzern/engagement/cr_report.pdf> Acesso em: 13 dez. 2006

CONSTRUCTION MINERALS. In: *Epaedia: Environnemt Explained*. [Copenhagen]: European Environment Agency, c1993-2007.

Disponível em: <<http://epaedia.eea.europa.eu/index.php>>. Acesso em 18 jan. 2007.

COOLING BUILDINGS IN A WARMING CLIMATE. 2004. Sophia Antipolis (França). **Programme**. Sophia Antipolis: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (França): International Energy Agency, 2004.

Disponível em: <<http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/work/2004/cooling/presentations.htm>>. Acesso em: 23 jul. 2006.

COST EFFICIENT PASSIVE HOUSE AS EUROPEAN STANDARDS (CEPHEUS). **Final Technical Report**. Hanover: Passivhaus Institut: Stadtwerke Hanover, July 2001. 127p. CEPHEUS – Projectinformation No. 36. Relatório elaborado por FEIST, Wolfgang; PEPPER, Soren; GÖRG, Manfred. Disponível em: <http://www.passiv.de/07_eng/news/CEPHEUS_finakl_long.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2006

CROWTHER, Philip. **Design of Buildings and Components for Deconstruction**. In: KIBERT, Charles J.; CHINI, Abdol; HENDRIKS, Charles. (Eds.) . *Deconstruction: Techniques, Economics, and Safety*. Trabalho proposto para publicação. Disponível em: <<http://www.dcp.ufl.edu/ckibert/DeconstructionBook/index.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2007

DACHVERBAND LEHM: German Association for Building with Earth. s/d. Weimar. Disponível em: <http://www.earthbuilding.info/index_gb.html>. Acesso em: 07 jan. 2007

DAG HAMMARSKJÖLD FOUNDATION. **What Now – Another Development**: The Dag Hammarskjöld Report on Development and International Cooperation. In: *Development Dialogue*, vol. 1-2, 1975, 129p. Relatório preparado por ocasião da Sétima Sessão Especial da Assembléia Geral da Nações Unidas. Disponível em: <<http://www.dhf.uu.se>>. Acesso em: 3 dez. 2006

D'ARCHITETTURA. **Industrialized flexible durable**. Milano: Motta, n. 24, ag. 2004. Suplemento especial. Disponível em: <<http://www.d-architettura.it/index.php?idnodo=176927>>. Acesso em: 07/01/2007.

DEJNEKA, Leanna. **Green Roof Technology**. 2004. 12 f. Trabalho Acadêmico (Disciplina Energy and Environment: Industry Structure, Performance and Challenges, BUEC 463) Centre for Applied Business Research in Energy and the Environment, University of Alberta School of Business, Alberta, 2004. Disponível em: <<http://www.bus.ualberta.ca/>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

DELLESKE, Andreas; LANGE; Jörg; MÜLLER-CLEMM, Alex. **Passivhaus »Wohnen & Arbeiten«**. Freiburg, c2004-2005. Disponível em <<http://www.passivhaus-vauban.de/warum.en.html>>. Acesso em: 13 fev. 2007.

DOYAMA, Masao; YAMAMOTO, Ryoichi. **Eco-Materials and Environment**. In: MATERIALS WORLD NETWORK: THE NEXT TEN YEARS [Symposium], 2005, Cancun. Disponível em: <http://www.materialsworld.net/mwn/cancun_presentations/Doyama.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2007

DUCHIN, Faye; HERTWICH, Edgar. **Industrial Ecology**. In: Online Encyclopaedia of Ecological Economics. [S.l.]: International Society for Ecological Economics, 2003. Disponível em: <http://www.ecoeco.org/education_encyclopedia.php>. Acesso em: 07 jan. 2007

DUFFAURE-GALLAIS, Isabelle. **Rennes: quarante logements haute qualité environnementale**. CSTB Magazine, Marne La Vallée, n. 137 sept.-oct. 2001, p. 24-26. Disponível em: Acesso em: 07 jan. 2007

DURMISEVIC, Elma; BROWER, Jan. **Design aspects of decomposable building structures**. In: CHINI, Abdol R.; SCHULTMANN, Frank (Eds.). **Design for Deconstruction and Materials Reuse**. CIB Publication 272; Proceedings of the CIB TASK GROUP 39 – DECONSTRUCTION MEETING, 2002, Karlsruhe. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida; Karlsruhe: French-German Institute for Environmental Research: 2002. Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

DVORAK, Bruce; DE LA FLEUR, Marcus. Seeing green up top: The Emerging Culture of Green Roof Technology. **Fabric Architecture**. Sept./Oct. 2004, p. 22-28. Disponível em: <<http://ssl.blueearth.net/ifai2006/images/stories/FAContEd/0904FA%20p22-28.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

ECONO: **Eco House North**. [Oulu?], 2005.

Disponível em: <<http://www.econo.fi/english/project/index.php>>. Acesso em: 07 jan. 2007

ECOSANRES. **The Main Features of Ecological Sanitation**, Stockholm: 2005[a]. EcoSanRes Fact Sheet 2. Disponível em <http://www.ecosanres.org/pdf_files/Fact_sheets/ESR2lowres.pdf>. Acesso em: 15 maio 2006.

_____. **Introduction to Greywater Management**, Stockholm: 2005[b]. EcoSanRes Fact Sheet 8. Disponível em <http://www.ecosanres.org/pdf_files/Fact_sheets/ESR8lowres.pdf>. Acesso em: 15 maio 2006.

EDWARDS, Stephen R. Conserving Biodiversity: Resources for Our Future. In: BAILEY, Ronald (Ed.). **The True State of the Planet: Ten of the World's Premier Environmental Researchers in a Major Challenge to the Environmental Movement**. New York: The Free Press, 1995. p. 211-265.

Disponível em: <http://www.resourceafrica.org/documents/1995/1995_biodiversity_conserve.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2006.

ENORMOUS POTENTIAL for Passive and Lowest-Energy Houses. FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME. Press Release. July 2004

Disponível em: <<http://www.fraunhofer.de/fhg/EN/index.jsp>>. Acesso em: 11 out. 2007

ENGLAND AND WALES. Environment Agency. **Conserving Water in Buildings**. [Bristol]: 2001. Factsheets 1-11. Disponível em <<http://www.environment-agency.gov.uk/>>. Acesso em: 07 jul. 2006.

ESREY, Steven A.; ANDERSSON, Ingvar. Ecological Sanitation: Closing the Loop. In: **UA-Magazine**, Ottawa, vol. 1, n. 3, p. 35-37, Mar. 2001. Health aspects of urban agriculture.

Disponível em: <<http://www.ruaf.org/node/150>>. Acesso em 6 maio 2006.

EURIMA INSULATION THICKNESS SURVEY 2004. Brussels: European Insulation Manufacturers Association, 2004. Disponível em: <<<http://www.eurima.org/>>>. Acesso em: 12 set. 2006

EUROPEAN GREEN CITIES NETWORK (EGCN). s/d. Copenhagen.

Disponível em: <<http://www.europeangreencities.com/>>. Acesso em: 21 out. 2006.

EUROPEAN GREEN BUILDING FORUM 2. **Green file**. 2001. 9 p. Relatório elaborado por RAO, S; BROWNHILL, D. Disponível em: <<http://www.egbf.org/1/f1.htm>>. Acesso em: 23 maio 2006.

RESEARCH UNITS in the Office of Arid Lands Studies. **Arizona Land & People**, Vol. 46, Number 1, 1997. Special Issue, Part III: The Agricultural Experiment Station Today. The University of Arizona College of Agriculture. ISSN 0033-0744.

Disponível em: <http://ag.arizona.edu/pubs/general/azlp46-1/research_units.html>. Acesso em: 12 fev. 2007.

FACTEUR 4: LA MODERNISATION ÉCOLOGIQUE. [Ottignies]: Institut pour un Développement Durable. 3 ed. 2006. Disponível em: <<http://users.skynet.be/idd/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

FEAT of clay. **Materials World**, London, p. 23-24, Jan. 2006.

Disponível em: <<http://www.iom3.org/materialsworld/jan06/cijan06.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2007

FEIST, Wolfgang, PEPPER, Søren, KAH, Oliver e VON OESSEN, Matthias. **Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results**. PEP Project Information No. 1. Stadtwerke Hannover: 2005.

Disponível em: <www.passivhaustagung.de>. Acesso em: 07 jan. 2007

FEIST, Wolfgang. **Firts Steps: What Can be a Passive House in Your Climate ?**, s/d

Disponível em: <www.passivhaus.de> Acesso em: 07 jan. 2007

FISCHER-KOWALSKI, Marina; , HABERL, Helmut; PAYER, Harald. A plethora of paradigms: Outlining an information system on physical exchanges between the economy and nature. In: AYRES,

Robert U.; SIMONIS, Udo E. (Eds.). **Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development**. Tokyo: The United Nations University, 1994.
Disponível em: <<http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/80841e/80841E00.htm#Contents>>. Acesso em: 13 jul 2006.

FISCHER-KOWALSKI, Marina; WEISZ, Helga. Society as Hybrid Between Material and Symbolic Realms: Toward a Theoretical Framework of Society-Nature Interaction. **Advances in Human Ecology**, vol. 8, p. 215-251, 1999.
Disponível em: <http://www.iff.ac.at/socec/pubs/pubs_downloads/socec1281.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2006.

FISCHER-KOWALSKI, Marina. On the History of Industrial Metabolism. In: BOURG, Dominique; ERKMAN, Suren (Eds.). **Perspectives on Industrial Ecology**. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2003. p. 35-45. Disponível em: <http://www.iff.ac.at/socec/pubs/pubs_downloads/socec11210.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2006.

FONTOURA, Ana Elisa Sparano; BRAUN, Ani Maria Swarowsky; FREITAS, Elisete Maria de. **Emoção, Contrato Social e Ecodesenvolvimento: Parâmetros do Paradigma Emergente**. In: Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, [Porto Alegre], vol. 13, jul./dez. 2004. 15 p.
Disponível em: <<http://www.remea.furg.br/edicoes/vol13/art1.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2006.

GARDNER, Gary; SAMPAT, Payal. **Mind Over Matter: Recasting the Role of Materials in Our Lives**. Washington D.C.: Worldwatch Institute, 1998. Worldwatch Paper 144. 60p.
Disponível em: <<http://www.worldwatch.org/node/846>>. Acesso em: 21 nov. 2006.

GELT, Joe. Home Use of Graywater, Rainwater Conserves Water – and May Save Money. In: **Arroyo**. Tucson: University of Arizona, Water Resources Research Center, Summer 1993.
Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/AZWATER/arroyo/071rain.html>>. Acesso em: 8 maio 2006.

GEP UMWELTTECHNIK: **intelligentes wassermanagement nutzen**. s/d. Eitorf (Alemanha).
Disponível em: <<http://www.gep.info/>>. Acesso em: 13 fev. 2007.

GESELLSCHAFT FÜR ÖKOLOGISCHE FORSCHUNG. München, 2004?.
Disponível em: <<http://www.oekologische-forschung.de/son.htm>>. Acesso em: 3 mar 2006.

GUY, Bradley; DA ROCHA, Cecília. A Building Lifecycle Model Based on a Design for Deconstruction Approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em: 07 jan. 2007

GUY, Bradley; SHELL, Esherick. Design for Deconstruction and Materials Reuse. In: CHINI, Abdol R.; SCHULTMANN, Frank (Eds.). **Design for Deconstruction and Materials Reuse**. CIB Publication 272; Proceedings of the CIB TASK GROUP 39 – DECONSTRUCTION MEETING, 2002, Karlsruhe. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida; Karlsruhe: French-German Institute for Environmental Research: 2002.
Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

GUY, Simon. Alternative Developments: Logics of Environmental Innovation. In: RICS CUTTING EDGE PROPERTY RESEARCH CONFERENCE, 1997, Dublin.
Disponível em: <<http://www.rics.org/>>. Acesso em: 6 jul. 2006.

HALL, Jeremiah. History of the Environmental Movement. In: MONTANANS FOR MULTIPLE USE, Kalispell, c1999-2007. Disponível em <<http://www.mtmultipleuse.org/>>. Acesso em: 12 ago. 2006.

HARDING, R. Ecologically sustainable development: origins, implementation and challenges. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATED CONCEPTS ON WATER RECYCLING, 2005, Wollongong (Austrália). **Desalination**. [Amsterdam], n. 187, 2006, Integrated Concepts In Water Recycling. p. 229-239. Disponível em: <<http://www.desline.com/articoli/6972.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2006.

HEIJNEN, Han A. **Rainwater Harvesting in Bangladesh**. [Geneva], 2002.
Disponível em: <<http://irha-h2o.org/doc/text/bangladesh.doc>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

HOCKERTON HOUSING PROJECT Trading Ltd. s/d. Hockerton.
Disponível em: <<http://www.hockertonhousingproject.org.uk>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

HURLEY, James *et al.* **Design for Deconstruction – Tools and Practices**. In: CHINI, Abdol R.; SCHULTMANN, Frank (Eds.). Design for Deconstruction and Materials Reuse. CIB Publication 272; Proceedings of the CIB TASK GROUP 39 – DECONSTRUCTION MEETING, 2002, Karlsruhe. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida; Karlsruhe: French-German Institute for Environmental Research: 2002. Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE HOUSES, 10., 2006, Bregenz.
Disponível em: <<http://www.passivhaustagung.de/zehnte/englisch/index.html>>. Acesso em: 11 out. 2006

ITALIA. Ente per le Nuove Tecnologie, L'Energia e L'Ambiente. Progetto Aquasave: Risparmio dell'acqua nelle abitazioni residenziali. Roma [2002?].
Disponível em: <<http://www.bologna.enea.it/ambtd/aquasave-doc/aquas-ita.htm>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

JANSSEN, Rod. **Towards Energy Efficient Buildings in Europe**. Final Report. Euroace – The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings, June 2004 (with Update of Annexes, July 2005). Disponível em: <www.euroace.org>. Acesso em: 07 jan. 2007

JAPAN SUSTAINABLE BUILDING CONSORTIUM. **CASBEE for New Construction** -Technical Manual 2004 Edition. Tokyo: Institute For Building Environment And Energy Conservation (IBEC), March 2005. 231 p.
Disponível em: <<http://ibec.or.jp/CASBEE/english/download.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2006.

JENSSEN, Petter D.; VRÅLE, Lasse. Greywater Treatment in combined Biofilter/Constructed Wetlands in Cold Climate. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2. Lübeck, 2003. **Ecosan - closing the loop**: Proceedings ... Eschborn: GTZ: IWA, 2004.

Disponível em: <<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-ecosan-symposium-luebeck-session-i-2004.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

JOINT DECLARATION FOR A EUROPEAN DIRECTIVE TO PROMOTE RENEWABLE HEATING AND COOLING. Brussels: European Renewable Energy Council, 2005.
Disponível em: <<http://www.erec-renewables.org>>. Acesso em: 25 ago. 2006.

KENDALL, Stephen. Notes on Teaching Agile or Open Architecture. In: AGILE ARCHITECTURE CONFERENCE, 2001, Delft. **Proceedings**... Delft, 2001. p. 123-132.
Disponível em: <<http://www.bsu.edu/web/capweb/bfi/documents/Pedagogy.htm>>. Acesso em: 7 maio 2006.

KOCH, Gerhard; KUNZE, Christine; SEIDL, Josef. **Loam Construction: from a niche product to an industrial building system**. In: SB05 - WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE 2005, Tokyo, 2005. Disponível em: <<http://www.staywithclay.com/default-en.asp>>. Acesso em: 07 jan. 2007

KOETSE, Erwin. **The implementation of DESAR concepts in two projects in Germany**. 2006. Dissertação (Master of Science, Environmental Sciences), Urban Environment Group, Wageningen University, Wageningen, 2006. 133 f.
Disponível em: <www.passivhaus-vauban.de>. Acesso em: 13 fev. 2007.

KOHLER, Nikklaus; MOFFATT, Sebastian. Life-cycle analysis of the buildt environment. In:

Unep Industry And Environment. Paris: United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics (UNEP DTIE), v. 26, n. 2-3, April/Sept. 2003.

Disponível em: <http://www.uneptie.org/division/media/review/vol26no2-3/vol26_no2-3.htm>. Acesso: 05 out. 2006.

LACEY, Rachel de. **EE in schools: what is the problem?** In: NEW ZEALAND ASSOCIATION FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION, Wellington, c2007.

Disponível em: <<http://www.nzae.org.nz/eeinschool.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

LAUSTSEN, Jens; LORENZEN, Kirstine. **Danish Experience in Energy Labelling of Buildings**. [Copenhagen]: Danish Energy Authority, 2003. 40 p.

Disponível em <http://www.eva.ac.at/publ/pdf/forum_experience_dk.pdf>. Acesso em: 21 out. 2006.

LEIS, Héctor Ricardo. Meio Ambiente, Ética e Religião na Sociedade Contemporânea. In: CASCINO, Fábio (Org.). **Educação, Meio Ambiente e Cidadania: Reflexões e Experiências**. São Paulo: SMA: CEAM, 1998. p. 97-102. Disponível em: <<http://www.projekte.org/meioambiente99>>. Acesso em: 19 jul. 2006.

LEWIS, J. Owen. Developing a Low Energy Architecture for Europe. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 17., 2000, Cambridge (Reino Unido). Disponível em: <http://erg.ucd.ie/enerbuild/docs/PLEA_2000_Cambridge.doc>. Acesso em: 23 ago. 2006.

LIGHT STEEL Housing using Open House 3D modules: steel in residential building for adaptable and sustainable construction. [Berkshire]: The Steel Construction Institute, c2006.

Disponível em: <<http://scinews.steel-sci.org/Articles/pdf/Lightsteelhousing.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2007

LIMA, Gustavo Ferreira da Costa. O debate da sustentabilidade na sociedade insustentável. In: **Política & trabalho**, João Pessoa, v. 13, 1997, p. 202-222.

Disponível em: <<http://chip.cchla.ufpb.br/ppgs/politica/13-lima.html>>. Acesso em: 28 jul. 2006.

LIVING MACHINE. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2007.

Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Living_machines>. Acesso em: 23 fev. 2007.

LOURENÇO, Patrícia; DE BRITO, Jorge; BRANCO, Fernando. **Novas tecnologias na aplicação de terra crua na construção**. Companhia de Arquitetura e Design, Lisboa, 2002.

Disponível em: <http://www.planetacad.com/presentationlayer/estudo_00.aspx?canal_ordem=0403>. Acesso em: 07 jan. 2007

LOVINS, Amory B. Energy Strategy: the road not taken? In: **Foreign Affairs**, Jan. 1977. Errata from Oct. 1976. p. 186-218. Disponível em <<http://filebox.vt.edu/j/jrudd/STSrelevant/LovinsOCR.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2007

MARTINEZ-ALIER, J. Metabolic Profiles of Countries and Ecological Distribution Conflicts. In: **Documents de Treball**, Universitat Autònoma de Barcelona, Unitat d'Història Econòmica Barcelona, n. 25, 2004. Disponível em: <<http://www.h-economica.uab.es/papers/25-2004.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2006.

MORGAN, Chris, STENVENSON, Fionn. **Design and Detailing for Deconstruction**. Edinburgh: Scottish Ecological Design Association, 2005. SEDA Design Guides for Scotland: No. 1. 68 p.

Disponível em <<http://www.seda2.org>. Acesso em: 07 jan. 2007

MORTON, TOM. Unfired earth brick building. **Building for a Future**, Carmarthenshire-Wales, v. 15, n. 2, p. 24-27, Autumn 2005.

Disponível em: <<http://www.buildingforafuture.co.uk/autumn05/index.php>>. Acesso em: 07 jan. 2007

MORTON, Tom; STEVENSON, Fionn; TAYLOR, Bruce; SMITH, Nicholas Charlton. **Low Cost Earth Brick Construction: 2 Kirk Park, Dalguise: Monitoring & Evaluation**. Arc Architects, Auchtermuchty, 2005. Disponível em: <<http://www.arc-architects.com/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

NAREDO, Jose Manuel. Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. In: **La construcción de la ciudad sostenible: Primer catálogo español de buenas prácticas**. Madrid: Ministerio de Obras Publicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996.

Disponível em: <<http://habitat.aq.upm.es/cs/lista.html>>. Acesso em: 23 jun. 2006

NOSS, R.F. Sustaining Ecological Integrity. In: **Global Bioethics**. Firenze, v. 12, n. 1-5, 2000. p. 11-19.

Disponível em: <http://eprints.unifi.it/archive/00000936/01/02_Noss.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2006

ORSZÁGH, Joseph. Eautarcie: ou comment devenir indépendant par rapport au réseau de distribution d'eau et par rapport aux égouts. In: **JOURNÉES INFORMATION EAU**, 14., 2000, Poitiers.

Disponível em: <<http://www.eautarcie.com/>>. Acesso em: 7 jan. 2007.

PEABODY TRUST SUSTAINABILITY STRATEGY. London: Peabody Trust, 2002. 17 p.

Disponível em: <<http://www.peabody.org.uk/>>. Acesso em: 05 out. 2006

PECK, Steven; KUHN, Monica. **Design Guidelines for Green Roofs**. Ontário: Ontario Association of Architects: Canada Mortgage and Housing Corporation, 2003. 22 p.

Disponível em: <<http://www.cmhc.ca/>>. Acesso em: 5 maio 2006.

PETTERSEN, Njål. **Pilotprosjektet Gjenbrukshus i Trondheim**: Em bro fra destruksjon til konstruksjon. Trondheim: Trondheim Kommune, 2005.

Disponível em: <<http://www.gjenbrukshus.no/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

PEUPOORTIER, Bruno; KOHLER, Niklaus; BOONSTRA, Chiel. **European Project REGENER Life Cycle Analysis of Buildings**. In: **BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT INTERNATIONAL CONFERENCE**, 2., 1997, Paris. 8 p.

Disponível em: <<http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/pdf/regenersummary.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2006.

PIEBALGS, Andris. **Challenges and perspectives of the EU energy policy**. Discurso proferido no encontro do grupo de embaixadores do Sul da Ásia, Extremo Oriente e Sudeste da Ásia (SAFESEA). **SPEECH/06/285**. Brussels, 10 May 2006.

Disponível em: <<http://europa.eu/rapid/>>. Acesso em: 20 set. 2005.

PIERRI, Naína. Historia del concepto de desarrollo sustentable. In: FOLADOLI, Guillermo; PIERRI, Naína. **Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable**. México, DF: Miguel Angel Porrúa, 2005, p. 27-81. (Colección America Latina y el Nuevo Orden Mundial).

Disponível em: <http://estudiosdeldesarrollo.net/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad5.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2006.

PINKHAM, Richard. **21th Century Water Systems: Scenarios, Visions, and Drivers**. Snowmass: Rocky Mountain Institute, 1999. Documento W99-21. 20 p.

Disponível em: <<http://www.rmi.org/sitepages/pid117.php>>. Acesso em: 19 jun. 2006.

POIROT, Serge. Salvatierra, l'immeuble qui aime la Terre. In: **Journal Ouest-France**, 26 /02/ 2001. Disponível em : <<http://www.sortirdunucleaire.org/info14/li1406.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2007

POUEY, Maria T. F.; SATTLER, Miguel A.; SCHNEIDER, Paulo S. Coberturas verdes: análise de desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., Florianópolis, 1998. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998, v.1, p. 473-481. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/capa.asp>>. Acesso em: 6 maio 2006.

QUAH, Lee Kiang; VAN DEN BRAND, Geert; DI GIULIO, Roberto. Process Innovation for Design and Delivery of IFD Buildings. In: B4E – BUILDING FOR A EUROPEAN FUTURE (Conferência), Maastricht , 2004. Disponível em: <www.bwk.tue.nl/ade/includes/download.php?fileId=328>. Acesso em: 07 jan. 2007

RAINWATER Harvesting System: Product List 2005/2006. Kefenrod: Wizy AG Haustechniksysteme, Filtertechnik, [2006?]. Disponível em: <<http://www.wisy.de/>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

REINO UNIDO. Office of the Deputy Prime Minister. **Proposals for amending Part L of the Building Regulations and Implementing the Energy Performance of Buildings Directive: A consultation document**. London: ODPM Publications, July 2004. 332 p.

Disponível em: <http://www.diag.org.uk/pdf/odpm_PartL_consultation2004.pdf> (Acesso em: 24 maio 2006.

ROUNDPOLE. [Edinburgh], s/d.

Disponível em: <<http://www.gaiagroup.org/Research/RI/PAS/roundpole/index.htm#routemap>>. Acesso em: 07 jan. 2007

ROVERS, Ronald *et al.* **Sustainable housing policies in Europe**. Relatório preparado pela agência neerlandesa para a energia e o meio ambiente (Nederlandse Organisatie voor Energie en Milieu - NOVEM) para os Ministérios da habitação das regiões de Valônia e de Bruxelas, por ocasião da Terceira Conferência dos Ministros da Habitação da União Européia. Genval (Bélgica), 2002.

Disponível em <http://mrw.wallonie.be/dgatlp/logement/logement_euro/Dwnld/Sustainable%20Housing%20english.pdf>. Acesso em: 28 maio 2006.

RUNCI, P.J. **Energy R&D in the European Union** . PNNL-12218. Richland (WA): Pacific Northwest National Laboratory: Battelle Memorial Institute, 1999. 32 p.

Disponível em <<http://energytrends.pnl.gov/eu/documents/eu.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2006.

SANZ, Cynthia. Linoleum Lives On: Linoleum makes a comeback and proves it's not what you think. **This Old House**. New York: This Old House Ventures, jan./fev. 2000.

Disponível em: <<http://www.thisoldhouse.com/toh/knowhow/interiors/article/0,16417,202857,00.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

SCHERTENLEIB, Roland. Principles and Implications of Household Centred-Approach in Environment Sanitation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOLOGICAL SANITATION, 1. Nanning, China, 2001. **Proceedings...** Stockholm: EcoSanRes, 2002. 7 p.

Disponível em: <http://www.ecosanres.org/pdf_files/Nanning_PDFs/Eng/Schertenleib%2009_E46.pdf>. Acesso em: 9 maio 2006.

SCOTLAND. Scottish Executive. Scottish Environment Protection Agency. **The National Waste Plan 2003**. S.I., 2003. Disponível em: <<http://www.sepa.org.uk/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela Gomes; AGOPYAN, Vahan. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: estágio atual e perspectivas para o desenvolvimento no Brasil. Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 3., 2003.

Disponível em: <http://pcc5100.pcc.usp.br/10_Sistemas_de_avaliacao/Artigo%20Revista%20AC_silva_silva_agopyan.pdf>. Acesso em: 23 out. 2006.

SRINIVAS, Hari. **Looking at the Big Picture: Life Cycle Thinking for the Building and Construction Sector.** S.l.:s/d. Disponível em: <<http://www.gdrc.org/uem/green-const/sbc-lca.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

STANDARDS de construction pour des maisons efficientes sur le plan énergétique. Schaan: Commission Internationale pour la Protection des Alpes: CLIMALP, s/d.
Disponível em: <http://www.climalp.info/datenbank/climalp.asp?n_LanguageID=3>. Acesso em: 23 out 2006.

STEINGASS, Peter. New Chances for Modern Earth Building. In: MODERN EARTH BUILDING 2003 [Conferência Internacional], 2003, Stuttgart.

Disponível em: <<http://www.moderner-lehmbau.com/english/programm/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE. **Project Summary.** [S.l.], c2003.
Disponível em <http://www.she.coop/english/pres_proj.asp?id=37>. Acesso em: 22 maio 2006.

SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE. **State of Art of Italy**, July 2003a. 24 p. Relatório elaborado por BALLAROTTO, Roberto; LUSARDI, Alain; MINGOZZI, Angelo; BOTTIGLIONI, Serge. Identifier SHE/ 1a/SoA_IT/V.1.0/RB-AL-AM-SB-FM-BB 15-07-2003.
Disponível em: <<http://www.she.coop/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

SUSTAINABLE HOUSING IN EUROPE. **State of the Art Report: France.** July 2003b. 40 p. Relatório elaborado por CHARLOT-VALDIEU, Catherine; GIBERT, Michel; OUTREQUIN, Phillipe. Identifier SHE/ 1a/SoA_FR/V.1.0/MG-PO-CCV 15-07-2003.
Disponível em: <<http://www.she.coop/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

TAMBOSI FILHO, Elmo. **Estratégias de desenvolvimento concernentes com a relação sociedade e natureza:** um estudo de caso. 1997. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta97/tambosi/>>. Acesso em: 7 dez. 2006.

TE DORSTHORST, Bart J. H.; KOWALCZYK, Ton. Design for Recycling. In: **Design for Deconstruction and Materials Reuse.** CIB Publication 272; Proceedings of the CIB TASK GROUP 39 – DECONSTRUCTION MEETING, 2002, Karlsruhe. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida; Karlsruhe: French-German Institute for Environmental Research: 2002.
Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

THE ENERGY PERFORMANCE of Building Directive: a summary of its objectives and contents. CIBSE Briefing 6. London: Chartered Institution Of Building Services Engineers, c2003.
Disponível em: <<http://www.diag.org.uk/documents.jsp>>. Acesso em: 20 nov. 2006

THORMARK, C. Environmental analysis of a building with reused building materials. **International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings.** v. 1, 2000.
Disponível em: <http://www.byv.kth.se/avd/byte/leas/pdf/LEASART_07_1999.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2007

TOITURE VÉGÉTALE. In : Wikipedia, The Free Encyclopedia. [S.l., 2007].
Disponível em: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Toit_vert>. Acesso em: 12 fev. 2007.

TAMBOSI FILHO, Elmo. **Estratégias de desenvolvimento concernentes com a relação sociedade e natureza:** um estudo de caso. 1997. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

UNEP INDUSTRY AND ENVIRONMENT. Paris: United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics (UNEP DTIE), v. 26, n. 2-3, April/Sept. 2003.

Disponível em: <http://www.uneptie.org/division/media/review/vol26no2-3/voL26_no2-3.htm>. Acesso: 05 out. 2006.

UNEP/UNCTAD SYMPOSIUM ON PATTERNS OF RESOURCE USE, ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT STRATEGIES, 1974, Cocoyoc (México). **The Cocoyoc Declaration.**

Disponível em: <<http://www.southcentre.org/publications/conundrum/toc.htm#TopOfPage>>. Acesso em: 3 dez. 2006.

UNIÃO EUROPEIA. **Investigação e inovação: introdução**, s/d.

Disponível em <<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/i23000.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2007

US GREEN BUILDING COUNCIL. **Leadership in Energy & Environmental Design: Green Building Rating System for New Construction & Major Renovations (LEED-NC). Versão 2.1.** [Washington, D.C.]: Us Green Building Council, 2002.

Disponível em: <<http://www.usgbc.org/>>. Acesso em: 5 maio 2006

VAN DEN BRAND, Geert-Jan; VAN GURCHON, Hans; DAMEN, Ton. IFD Building in Europe: A blueprint for production and delivery of customer satisfaction oriented buildings. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 20, Eindhoven, 2003.

Disponível em: <<http://www.sev-realisatie.nl/ifd/content/documents/IFDBuilding.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2007

WACK, Hans Otto. **Rainwater utilization in housing.** [S.l], s/d.

Disponível em: <<http://www.poerschke-umwelttechnik.de/pdf/OTTO-Wack2-uk.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

WEISZ, Helga *et al.* **The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption.** Social Ecology Working paper 76. Institute for Social Ecology, Faculty for Interdisciplinary Studies, Klagenfurt University, Vienna: 2005.

Disponível em: <<http://www.iff.ac.at/socec/>>. Acesso em: 07 jan. 2007.

WEST, Sarah. Innovations From Scandinavia: Increasing The Potential For Reuse. In: ON-SITE '01 CONFERENCE: ADVANCING ON-SITE WASTEWATER SYSTEMS: DESIGN AND MAINTENANCE, Armidale, 2001.

Disponível em: <<http://www.geocities.com/sarahmwest/scaninno01.html>>. Acesso em: 17 jun 2006.

WIMBLAD, Uno; SIMPSON-HÉBERT, Mayling. **Ecology Sanitation:** revised and enlarged edition. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2004. 141 p.

Disponível em: <http://www.ecosanres.org/pdf_files/Ecological_Sanitation_2004.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2006.

WOLOVITZ, Jeff . The Living Machine. **ResearchPennStateOnline**, University Park, vol. 21, issue 3, sept. 2000. Disponível em: <<http://www.rps.psu.edu/0009/index.html>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

YAGI, K.; HALADA, K. Ecomaterials. In: EUROPEAN WHITE BOOK ON FUNDAMENTAL RESEARCH IN MATERIALS SCIENCE. Max-Planck Institute für Metall-forschung. Stuttgart, 2001. cap. 6, p. 228-232.

Disponível em: <<http://www.mpg.de/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

ZINCO GmbH: green roofs, roof gardens and skygarden worldwide. s/d.Unterensingen (Alemanha).

Disponível em: <<http://www.zinco.de/ausland/english/index.php>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

Fontes dos gráficos, quadros e figuras

não incluídas entre as referências bibliográficas

ACORN Environmental Systems: Solutions to waste and surface water problems. s/d. Bridgwater (Reino Unido). Disponível em: <<http://www.acornsystems.com/>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

ANTUNES, Bianca. Por uma nova atitude. *AU*, São Paulo, n. 123, p. 50-59, jun. 2004.

AQUATRON INTERNATIONAL AB. s/d. Kungshamn (Suécia)

Disponível em: <www.aquatron.se>. Acesso em: 23 fev. 2007.

ARCHISEEK: online architecture resources. c1996-2006.

Disponível em: <<http://germany.archiseek.com>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

AURO: Naturfarben. s/d. Braunschweig (Alemanha).

Disponível em: <<http://www.auro.de/index.php>>. Acesso em: 07 jan. 2007

BAPTISTA, Horácio Luís. O Projecto Beddington Zero Energy Development (BedZED). In: **SmartEngineering**, 31 out. 2006.

Disponível em: <http://smartengineering.blogspot.com/2006_10_01_archive.html>. Acesso em 24 fev. 2007.

BB INNOVATÖR/ BB INNOVATION & CO AB. Bromma (Suécia).

Disponível em: <<http://www.dubblatten.nu/english-presentation/WCdubblatteneng.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

BERGSTEN, Susan. **Industrialised Building Systems**: Vertical extension of existing buildings by use of light gauge steel framing systems and 4D CAD tools. 2005. Tese (Licenciatura)- Department of Civil and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, 2005.

Disponível em: <<http://epubl.ltu.se/1402-1757/2005/23/LTU-LIC-0523-SE.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2006.

BERGE, Bjørn. Demonterbarhet og tilpasningsdyktige konstruksjoner: Behov og diskusjon av løsningsstrategier. In: **WORKSHOP OM MILJØTEKNOLOGI I BYGGENÆRINGEN**, Oslo, 2005.

Disponível em: <http://www.miljoteknologi.no/aktuelt/seminarer/bygg_workshop/bygg_2005_erfaring/>. Acesso em: 08 dez. 2006.

BSW. 2007. Bad Berleburg (Alemanha).

Disponível em: <<http://www.berleburger.de/de/index.html>>. Acesso em: 07 jan. 2007

CASE STUDY: Source Separating Wastewater System in Ekoporten, Norrköping, Sweden.

EUROPEAN COOPERATION IN THE FIELD OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH ,

COST Action C8 - Best practice for sustainable urban infrastructures, Working Group 2. S/l. (Versão preliminar).

Disponível em: <<http://www.cardiff.ac.uk/archi/programmes/cost8/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

CLAYTEC: Baustoffe aus Lehm. s/d. Viersen-Boisheim (Alemanha).

Disponível em: <<http://www.claytec.com/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

COELHO, António Baptista. Prémio Europeu de Energia Sustentável 2007 para projecto europeu SHE e conjunto residencial cooperativo na Ponte da Pedra – José Coimbra e A.B.Coelho. In:

INFOHABITAR, Lisboa: Grupo Habitar – APPQH – Associação Portuguesa para a promoção da Qualidade Habitacional, 29 nov. 2006.

Disponível em: <<http://infohabitar.blogspot.com/2006/11/proposito-da-iniciativa-por-um.html>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEÍAS. **Summary Final Report:** [Programme] Thermie: [Project] EC 2000: Anglia Polytechnic University... [Bruxelas, 1999?b], 8p. Elaborado por ECD Energy and Environment.

Disponível em: <http://erg.ucd.ie/EC2000/download_main.html>. Acesso em: 24 fev. 2007.

_____. **Summary Final Report:** [Programme] Thermie: [Project] Energy Comfort 2000: Tax Office Extension... [Bruxelas, 1999?c], 8p. Elaborado por W/E Consultants e ECD Energy and Environment.

Disponível em: <http://erg.ucd.ie/EC2000/download_main.html>. Acesso em: 24 fev. 2007.

DADART VIRTUAL GALLERY. Middle Age: Massimiliano Fuksas. 1997. Firenze (Itália)

Disponível em: <www.art.dada.it/fuksas/bio/homwork.htm>. (site da)_Acesso em: 24 fev. 2007.

DETAIL. Holzkonstruktionen = Timber Construction = Construire em bois. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, serie 1997, issue 1, jan. 1997.

DURMISEVIC, Elma; BROWER, Jan. Systematic Approach to Design of Building's Transformation. In: SB2000 - WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE 2000, Maastricht, 2000.

Disponível em: <www.4darchitects.nl/download/SB2000.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2007.

EARTHEN building – case study: Atelier for an artist, Darmstadt. Weimar: Dachverband Lehm, s/d.

(a).Disponível em: <<http://www.dachverband-lehm.de/>>. Acesso em: 13 jan 2007.

EARTHEN building – case study: Detached House, Taubach, Germany. Weimar: Dachverband Lehm, s/d. (b). Disponível em: <<http://www.dachverband-lehm.de/>>. Acesso em: 13 jan 2007.

EARTHEN building – case study: Ecologically-sound social housing, Lübeck. Weimar: Dachverband Lehm, s/d. (c). Disponível em: <<http://www.dachverband-lehm.de/>>. Acesso em 13 jan 2007.

ECOSAN NORWAY. Ås: Agricultural University of Norway [atual Norwegian University of Life Sciences = Universitet for Miljø- og Biovitenskap (UMB)], n. 1/2003.

Disponível em : <<http://www.umb.no/research/ecosan/vedlegg/publikasjoner/nyhetsbrev/ecosan103.pdf>> . Acesso em: 25 fev. 2007.

EKOPORTEN: Kretsloppsanpassad ombyggnad av flerfamiljhus, Norrköping. SWECO FNSS. Stockholm, 1998. (em sueco)

Disponível em: <http://www.sweco.se/upload/02/ffns/projekt/miljo_ekologi/pdf/ekoporten.pdf> Acesso em: 23 fev. 2007.

EKOSTADEN Malmö. c2002-2005. Malmö (Suécia).

Disponível em: <<http://www.ekostaden.com>>. Acesso em: 26/01/2007 .

ENERGIEINSTITUT VORARLBERG. 2004. Dornbirn (Áustria).

Disponível em: <<http://www.energieinstitut.at/?sID=285>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

ENGLAND AND WALES. Environment Agency. 2007. Bristol (Reino Unido). Disponível em:

<http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waterres/286587/286911/548861/862159/?lang=_w>. Acesso em: 23 fev. 2007.

EURO-BUILD IN STEEL. Annex 5-B Case Study: Smart house in Rotterdam, s/d. In: ASOCIACIÓN PARA LA PROMOCIÓN TÉCNICA DEL ACERO (APTA). c2007. Madrid.

Disponível em: <http://www.apta.com.es/pdf/smart_house.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2006.

FLORDEPOT International GmbH. s/d. Baesweiler (Alemanha).

Disponível em: <<http://www.flordepot.com/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

FORENINGEN BÆREDYK BYER OG BYGNINGER. FBBB. 1996. København (Dinamarca).

Disponível em: <<http://www.dcue.dk/?ID=332>> (FBBB, Centro Dinarmaquês para a Ecologia Urbana). Acesso em: 24 fev. 2007.

GREENBUILDING: Módulo técnico envolvente do edifício. Elaborado por Lorenzo Pagliano e

Alessandro Dama. s/d. Disponível em: <<http://www.adene.pt/greenbuilding/>>. Acesso em: 8 jun. 2006

GUTEX: Holzfaserplattenwerk . s/d. Waldshut-Tiengen.

Disponível em: <<http://www.gutex.de/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

GUSTAVSBERG (Villeroy & Boch Gustavsberg AB). 2006. Gustavsberg (Suécia).

Disponível em: <<http://www.gustavsberg.com/index.asp>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

HOFFMANN, Almut. Innovative Ecological Sanitation Concept Shows Way Towards Sustainable Urban Development. EcoEng Newsletter 3, December 2000 . Wolhusen, Switzerland: International Ecological Engineering Society, 2000.

Disponível em: <http://www.iees.ch/EcoEng003/EcoEng003_R3.html>. Acesso em: 13 maio. 2006.

HOMATHERM. s/d. Berga.

Disponível em: <<http://www.homatherm.com/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

HSØ Hagestande og Øvrehus Arkitektkontor. s/d. Trondheim (Noruega)

Disponível em: <<http://www.hsoe.no/prosjekter/holbekken/index.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2006.

IDEA: the european assistant for energy efficient architecture.

Disponível em: <http://www.unige.ch/cuepe/idea/_buildings/b_054/frm_obj.htm>. Acesso em: 8 nov. 2006.

IDEAS BANK, THE. s/d. Oslo.

Disponível em: <<http://ide.idebanken.no/bibliotek/ProsjektBilde.asp?DokumentID=201&ProsjektID=218>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

IEA PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME (IEA PVPS). 2006. St. Ursen (Suíça).

Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org/intro/index.htm>>. Acesso em: 28 out 2006.

INTERNORM International.s/d. Traun (Áustria).

Disponível em: <http://www.internorm.at/cps/rde/xchg/internorm_at/?rdeLocaleAttr=de>. Acesso em: 13 fev. 2007.

ISOFLOC Wärmedämmtechnik. s/d. Lohfelden.

Disponível em: <<http://www.isofloc.de/>>. Acesso em: 07 jan. 2007.

ITZKAN, Seth J. **BedZED**. S/l., mar. 2006

Disponível em: <<http://homepage.mac.com/futureseth/Innovation/PhotoAlbum51.html>>. Acesso em: 13 fev. 2007.

KILBERT, Charles. Deconstruction's Role in an Ecology of Construction. In: CHINI, Abdol R.; SCHULTMANN, Frank (Eds.). **Design for Deconstruction and Materials Reuse**. CIB Publication 272; Proceedings of the CIB TASK GROUP 39 – DECONSTRUCTION MEETING, 2002, Karlsruhe. [Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida; Karlsruhe: French-German Institute for Environmental Research: 2002. Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

KILNER, Philip; YANG, Guang-Zhong. Flowforms. In: _____. **The Fluent Heart**. 2000.

Disponível em: <<http://www.doc.ic.ac.uk/~gzy/heart/flowforms/flowforms.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

LA MAISON PASSIVE: un habitat pour demain. 2007.

Disponível em: <<http://perso.orange.fr/archicarou/vauban%20photos.htm>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

LEHMBAU-Projekt: Druckerei in modularer Lehmbauweise, Pielach. Dachverband Lehm, s/d.
Disponível em: <<http://www.dachverband-lehm.de/>>. Acesso em 13 jan 2007.

MAISON MÉDITERRANÉENNE DES SCIENCES DE L'HOMME. MMSH - Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme. s/d. Aix-en-Provence (França).
Disponível em: <<http://www.mmsch.univ-aix.fr/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

MODELLVORHABEN Ökologische Stadtentwicklung – Passivhaussiedlung Im Sonnenfeld:
Projektdokumentation. Stadt Ulm, Juni 2000.
Disponível em: <<http://www.expo.ulm.de/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

NATSOL Ltd: The Compost Toilet Specialists. 2005. Llanidloes (Reino Unido)
Disponível em: <www.natsol.co.uk/>. Acesso em: 23 fev. 2007.

NIJHUIS BOUW. s/d. Rijssen (Países Baixos)
Disponível: <<http://www.nijhuis.nl/>>. Acesso em: 6 dez. 2006.

NORSKE ARKITEKTERS LANDSFORBUND. Ecobox: Projektdatabase. s/d. Oslo.
Disponível em: <<http://www.arkitektur.no/>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

NOVAQUATIS: an integrated research project. 2005 [?]. Duebendorf (Suíça).
Disponível em: <http://www.novaquatis.eawag.ch/english/general_e.html> Acesso em: 23 fev. 2007.

OEKOSIEDLUNGEN.DE: Internetportal für nachhaltige Siedlungen .
Disponível em: <<http://www.oekosiedlungen.de/kronsberg/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

OSMO Holz und Color. s/d. Warendorf (Alemanha).
Disponível em: <<http://www.osmo.de/de/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

OPTIWIN: Der Fernsterpakt. 2007. Ebbs (Áustria).
Disponível em: <<http://www.optiwin.net/>>. Acesso em: 9 jan. 2007.

PASSIVHAUS INSTITUT: Research and development of high-efficiency energy systems. s/d.
Darmstadt (Alemanha). Disponível em: <<http://www.passiv.de/>>. Acesso em: 18 jan. 2007.

PASSIVHAUS “Wohnen & Arbeiten”. s/d. Freiburg (Alemanha).
Disponível em: <<http://www.passivhaus-vauban.de/>>. Acesso em: 18 jan. 2007.

PEPER, Søren; FEIST, Wolfgang; PFLUGER, Rainer. **Ein nordorientiertes Passivhaus**. Darmstadt:
Passivhaus Institut, 2004. 128 p.
Disponível em: < http://www.passiv.de/06_pre/PreMT/43/PH_St.Jakob.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2007.

PROHOLZ AUSTRIA: Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft. c2002. Viena.
Disponível em: <<http://www.proholz.at/zuschnitt/01/modellvorhaben2.htm>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

PROMOTION OF EUROPEAN PASSIVE HOUSES (PEP). **Passive House Solutions**. S.l.: 2005. 50 p.
Relatório elaborado por Isolda Strom, Loes Joosten, Chiel Boostra e DHV. Identificador DHV_WP1.2.
Disponível em:<http://erg.ucd.ie/pep/pdf/Passive_House_Sol_English.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2007.

RH PARTNERSHIP Architects. s/d. Cambridge (Reino Unido).
Disponível em: <<http://www.rhpartnership.co.uk/>>. Acesso em: 18 jan. 2007.

RICHARD Murphy Architects. c1991-2007. Edinburgh (Reino Unido).
Disponível em: <<http://www.richardmurphyarchitects.com/projects/190/>>. Acesso em: 18 jan. 2007.

RUANO, Miguel. **Ecourbanismo: Entornos Humanos Sostenibles: 60 Proyectos/ Ecourbanism: Sustainable Settlements: 60 Case Studies**. Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, 2 ed. 2000.

SECOND NATURE UK. 2005. Cumbria (Reino Unido).

Disponível em: <<http://www.secondnatureuk.com/>>. Acesso em: 07 jan. 2007

SOLARSIEDLUNG. 2007. Freiburg (Alemanha).

Disponível em: <<http://www.solarsiedlung.de/blank.html>>; Acesso em: 18 jan. 2007.

SPREAD CD RES. 2002.

Disponível em: <<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/cdres/intro/en/guide.html>> Acesso em: 23 fev. 2007.

SUSTAINABILITY CENTRES IN THE NORTH SEA REGION (SCNSR). Report on the Local Traffic Planning of Kronsberg district, Hannover. Elaborado por Florian Schott. [Drachten]: 2000[?].

Disponível em: <<http://www.projekte.org/sustainabilitycentres/kronsberg/page2.html>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

SUSTAINABLE Housing in Europe (SHE): moving from the extraordinary to the ordinary, 2007.

Disponível em: <http://www.she.coop/Portugal/index_p.asp>. Acesso em: 24 fev. 2007.

THE ARCHITECTURAL REVIEW. Green Issues. London: EMAP Architecture, v. 207, issue 1235, jan. 2000.

THE NEW Environmental Office: BRE, Watford. Bath: London: Feilden Clegg Bradley Architects LLP, s/d. Ref. 808-PR-Full description. 11 p.

Disponível em: <<http://www.feildenclegg.com/framepage.asp>>. Acesso em: 22 fev. 2004.

THEATER Bibliotheek em Stadhuis Stadserf Schiedam. [Amsterdam, 1997?], 10 p.

Disponível em: <<http://www.hansruijssenaars.nl/9124/9124-buroblad-web.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

TIERRAFINO. s/d. Amsterdam.

Disponível em: <<http://www.tierrafino.com/>>. Acesso em: 07 jan. 2007.

TWINN, Chris. BedZED. In: **The Arup Journal**, vol. 38, issue 1, jan. 2003.

Disponível em: <http://www.arup.com/_assets/_download/download68.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2007.

URSA: high quality products for thermal and acoustic insulation applications. s/d. Teddington (Reino Unido). Disponível em: <<http://www.ursa-uk.co.uk/index.html>>. Acesso em: 8 nov. 2006.

VÄSTRA HAMNEN I MALMÖ . TURNING Torso – utsikten. s/d. Malmö (Suécia)

Disponível em: <<http://www.bizzbook.com/hamnen/index.html>>. Acesso em: 21 jan. 2007.

VAN DIJK, Koen *et al.* State of the Art Deconstruction in the Netherlands. In: KILBERT, J.; CHINI, Abdol R. (Eds). **Overview of Deconstruction in Selected Countries**. CIB Publication 252.

[Rotterdam]: CIB; [Gainesville]: University of Florida: 2002.

Disponível em: <<http://www.cce.ufl.edu/proceedings.html>>. Acesso em: 13 dez. 2006.

VAN GASSEL, Frans. Experiences with the Design and Production of an Industrial, Flexible and Demountable (IFD) Building System. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 19. Gaithersburg, 2002.

Disponível em: <<http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/art153.html>>. Acesso em 14 dez. 2006.

VINNERÅS, Björn; JÖNSSON, Håkan, 2003. Separation of faeces combined with urine diversion – function and efficiency. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., 2003, Lübeck. Disponível em: <<http://www.gtz.de/de/>> Acesso em: 23 fev. 2007.

VIIKKI. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2006.
Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Viikki>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

WELSH SCHOOL OF ARCHITECTURE, THE..c2004. Cardiff (Reino Unido).
Disponível em: <<http://www.cf.ac.uk/archi/dfr/case%20study%20buildings.htm>>. Acesso em 13 dez. 2006.

WEST, Sarah. Innovations From Scandinavia: Increasing The Potential For Reuse. INTERNET CONFERENCE ON ECOCITY DEVELOPMENT. 2003. Session D: Integrative Urban Water Management. Disponível em: <<http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ecocity03/papers/west1/paper.html>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

WIECKHORST, Thomas. Weicher Kern-luftige Hülle: Stampflehmbau: Die Kapelle der Versöhnung in Berlin. Bauhandwerk. Gütersloh: Bauverlag, Nov. 2003.

XELLA International. 2007. Duisburg.
Disponível em: <<http://www.xella.nl/html/ndl/nl/index.php>>. Acesso em: 07 jan. 2007

ZEDFACTORY Ltd. s/d. Surrey (Reino Unido).
Disponível em: <<http://www.zedfactory.com>>. Acesso em: 23 fev. 2007.

ZONNESTROOM Producenten Vereniging. 2004. Países Baixos.
Disponível em: <<http://www.zonnestroomproducenten.nl/paginas/nieuws.htm>>. Acesso em: 23 fev.2007.