ANDREA BAZARIAN VOSGUERITCHIAN
ORIENTADOR: PROF. DR. UALFRIDO DEL CARLO

Universidade de São Paulo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura

Projeto realizado com o apoio da FAPESP - Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo a partir de 01.08.2005

A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas.

Palavras-chave: Edifícios sustentáveis – Avaliação; Inovações tecnológicas; Impactos ambientais

Andrea Bazarian Vosgueritchian

Orientador Prof. Dr. Ualfrido Del Carlo

Dissertação de mestrado

São Paulo, 2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA CIENTÍFICA, EXCLUINDO QUAISQUER FINALIDADES COMERCIAIS, DESDE QUE CITADA A FONTE.

ANDREA BAZARIAN VOSGUERITCHIAN
E-MAIL: bazarian@gmail.com

Vosgueritchian, Andrea Bazarian

V968a A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia , materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas / Andrea Bazarian Vosgueritchian.- - São Paulo, 2006.

247 p.: il.

Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.

Orientador: Ualfrido Del Carlo.

1. Edifícios sustentáveis – Avaliação 2. Inovações tecnológicas 3. Impactos ambientais I. Título

CDU 721:504

DEDICATÓRIA

A Mouses, meu pai, por seu apoio integral;
A Ivany, minha mãe, por seu eterno sorriso;
A Noni, minha irmã, por sua fiel convicção;
Ao Aldo, pelo contínuo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao imensurável estímulo e energia do meu orientador Prof. Dr. Ualfrido Del Carlo, sem o qual a completude desta pesquisa não teria tido o mesmo gosto. Seu entusiasmo e sabedoria serão marcas eternas na minha formação.

Ao sério apoio da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - para a realização desta pesquisa.

À Joana Carla S. Gonçalves e a Denise Duarte pela atenção e suporte em todas as etapas da pesquisa.

À Roberta Kronka Mulfarth e a Maria de Assunção Ribeiro Franco pelas sugestões e apoio para finalização deste trabalho.

À Márcia Alluci pelas conversas e questionamentos essenciais, não apenas para a pesquisa como para a existência.

Às amigas e também pesquisadoras: Cecília Mattos Mueller, Giselle de Benedetto, Mônica Marcondes, Alessandra Prata, Daniela Laudares, Sandra Regina Pinto e Rita Buoro, pela troca de experiências, pelo companheirismo, compreensão e apoio nas dificuldades.

Também aos professores, pesquisadores e companheiros do LABAUT – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - pelas idéias, discussões e esforços compartilhados: Prof. Anésia Frota, Anna Miana, Bruna Luz, Carolina Gaspar Leite, Daniel Cóstola, Érika Eumakoshi, Joerg Spangenberg, José Ovídio, Leonardo Monteiro, Paula Shinzato, Rafael Brandão, Rodrigo Castro Cavalcante e Norberto Moura.

À minha prima Carla Bazarian pela amizade e cuidadosa revisão.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

*"A terra provê o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os homens,
mas não sua ganância"*

Mahatma Gandhi

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi elucidar o modo como os sistemas de avaliação de sustentabilidade na arquitetura ponderam o impacto ambiental e as tecnologias referentes à energia, aos materiais e à água.

Para este fim foram selecionados sete sistemas de avaliação de sustentabilidade, como o: BREEAM - Reino Unido, 1990; GBTool - Internacional, 1996; LEED - Estados Unidos, 1996; SPEAR - Inglaterra, 2000; HQE - França, 2002; CASBEE - Japão, 2002; e NABERS - Austrália, 2004.

Paralelamente, fez-se uma pesquisa das tecnologias relacionadas à energia, materiais e água. Nesta etapa o enfoque da pesquisa nestes três campos foi em relação ao uso de tecnologias renováveis; os impactos ambientais associados à escolha de cada processo e suas atuais conjunturas no Brasil.

O fato da pesquisa se tratar das tecnologias a serem inseridas no projeto de arquitetura incutiu a necessidade de conhecer a opinião de experientes profissionais que atuam hoje na área de sustentabilidade. Foram então, realizadas dez entrevistas com arquitetos, engenheiros e consultores ambientais na cidade de Londres, que atuam em projetos ao redor do mundo.

Desta forma foi possível concluir a pesquisa com um conhecimento mais aprofundado em relação ao que se conhece na teoria e o que atualmente é feito na prática, no sentido de se construir edifícios e cidades de menor impacto ambiental.

ABSTRACT

The objective of this research was to elucidate how architecture sustainability assessment methods evaluates environmental impact and energy, materials and water management technologies.

Seven assessment methods were therefore selected, which were: BREEAM - BRE EcoHomes (United Kingdom, 1990); GBTool (International, 1996); LEED (United States, 1996); SPEAR (United Kingdom, 2000); HQE (France, 2002); CASBEE (Japan, 2002) e NABERS (Australia, 2004).

In addition, an investigation of technologies related to energy, materials and water was done. At this phase, the research focused the use of renewable technologies, as well as environmental impacts associated with the choice of each process and its current conjunctures in Brazil.

Since the research deals with the insertion of technologies in the architecture design, which requires studying the opinion of experienced professionals who act today in the sustainability field, ten interviews were carried among architects, engineers and environmental consultants in the city of London, who act in international designs.

Therefore, it was possible to conclude the research with a deeper knowledge of what is known as theory, and what is currently being done in practice, regarding buildings and cities construction that cause fewer environmental negative impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do céu por caixa de espelhos e céu artificial de múltiplas lâmpadas com simulador da trajetória sol.....	62
Figura 2. Imagens resultantes de simulações do <i>Ecotect</i> . Trajetória aparente do sol, análise de iluminação natural e radiação solar incidente nas superfícies externas do edifício.	65
Figura 3. Tas modeler e Tas Ambiens. Ambas as imagens do endereço eletrônico do Tas.	66
Figura 4. Figura esquemática de um modelo de uma zona com as informações quanto às superfícies. À direita imagem da tela do editor IDF. Ambos do manual do <i>EnergyPlus</i>	67
Figura 5. Estágios de desenvolvimento e consumo de energia. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.	71
Figura 6. Representação da variação de temperatura global. Desde 1900, a média das temperaturas mundiais aumentou mais que um grau inteiro. Fonte: HAWTHORNE, 2003.....	71
Figura 7. IDH versus consumo anual de energia per capita (1991-1992). Modificado de GOLDEMBERG, 2003.	72
Figura 8. Representação da distribuição global de renda. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.	72
Figura 9. Impactos ambientais em função da renda. Fonte: GOLDEMBERG, 2003. ...	73
Figura 10. Indicadores ambientais em diferentes níveis de renda dos países. Ao centro, representação da relação entre as concentrações urbanas de matéria particulada e a renda per capita. À direita, representação da relação entre emissões CO ₂ per capita e a renda. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.....	73
Figura 11. Ilustração das emissões de CO ₂ norte-americanas por setor. Enquanto os níveis de emissão de gás carbônico produzidos pela indústria permanecem fixos, os níveis produzidos pela ação da arquitetura estão aumentando, o que sinaliza uma necessidade urgente de uma mudança difundida pelos arquitetos no modo de projetarem os edifícios. Fonte: HAWTHORNE, 2003.....	75

Figura 12. Representação do consumo de energia norte-americano por setor. Uma reorganização de dados existentes combinando a energia exigida na produção de edifícios residenciais, comerciais, e industriais, junto com a energia incorporada de materiais produzidos pela indústria, como tapete, azulejo, e hardware, expõem a arquitetura como um poluidor mascarado. Fonte: HAWTHORNE, 2003.	75
Figura 13. À esquerda. Aquecedor Solar. Fonte: CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005.	78
Figura 14. À direita. Aquecedor Solar de Baixo Custo. Fonte: SOCIEDADE DO SOL, 2005.	78
Figura 15. À esquerda. Parabolic Trough Collector. CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005.	80
Figura 16. À direita. Parabolic Sundish with Stirling. NATURAL RESOURCES, 2005. ...	80
Figura 17. À esquerda. Piscina solar de El Paso, Texas, EUA. Fonte: GUEDES, 2001..	82
Figura 18. Superior à direita. Corte esquemático de piscina solar. Fonte: POND DOCTOR, 2006.	82
Figura 19. Inferior à direita. Corte esquemático de piscina solar. Fonte: MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2006.....	82
Figura 20. À esquerda. Galpão industrial com o uso de resfriamento evaporativo. Fonte: RENOVAR VENTILAÇÃO, 2006.	84
Figura 21. À direita. Fachada com asperssores de água. Fonte: AUBURN UNIVERSITY POULTRY VENTILATION & HOUSING, 2006.	84
Figura 22. À esquerda. Sistema aberto vertical. Fonte: GROUND LOOP, 2006.	93
Figura 23. Ao centro. Sistema fechado horizontal. Fonte: GROUND LOOP, 2006.	93
Figura 24. À direita. Sistema fechado vertical que funciona nas duas direções. Fonte: GROUND LOOP, 2006.	93
Figura 25. Turbinas Eólicas no mar. Fonte: IMAGEBANK, 2005.	94
Figura 26. Turbina eólica de eixo vertical. Fonte: MARLBOROUGH PRIMARY SCHOOL, 2006	96
Figura 27. Turbina eólica de pequena escala.	96

Figura 28. Turbina eólica para áreas rurais. Fonte: ENGINEERING TECHNOLOGIES CANADA LTD, 2006.	96
Figura 29. À Esquerda. Rede de eletricidade por painéis fotovoltaicos.	97
Figura 30. À Direita. Cobertura de painéis fotovoltaicos.	97
Figura 31. Configuração característica da célula combustível.	98
Figura 32. Imagem externa da Usina Nuclear de Angra dos Reis.	99
Figura 33. Usina Nuclear de Angra 2.	99
Figura 34. Imagens que demonstram o uso de material vegetal como fonte energética. Fonte: BIOMASSA INFORMATIE, 2006	101
Figura 35. O uso de restos de material vegetal para a produção de energia. Fonte: DURZAAM ZEELAND, 2006	101
Figura 36. Pequena central hidroelétrica brasileira. Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2006.	104
Figura 37. Pequena central hidroelétrica. Fonte: NEW RULES PROJECT, 2006.	104
Figura 38. Pequena central hidroelétrica. Fonte: BUILDING IN SUSTENTABILITY, 2006.	104
Figura 39.Exemplo de um dispositivo em funcionamento. Fonte: WAVE DRAGON, 2006.	106
Figura 40. Imagem de uma caixa de concreto por onde passa a água do mar cuja energia é aproveitada na geração de eletricidade. Fonte: GUERRINI, 2001.....	106
Figura 41. Modelo genérico do ciclo de vida dos materiais do edifício. Adaptado de LAWSON, 1996.....	114
Figura 42. O ciclo dos materiais adaptado de BERGE, 2001.	114
Figura 43. Distribuição do consumo de água por atividade em 1990 e em 2010. Fonte: BNDES,2005.	138
Figura 44. Diagrama de causas e efeitos da urbanização. Adaptado de Barreto, 1998.	141
Figura 45. Representação esquemática de uma Estação de Tratamento de Água Bruta (ETA) Convencional. Na figura os pontos A, B, C e D representam os pontos de aplicação de cloro.	148

Figura 46. Fluxograma de um sistema de tratamento físico químico de águas residuárias.	151
Figura 47. Fotos de tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios. Fonte: ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ (2005)	152
Figura 48. Corte esquemático de um tanque séptico seguido de filtro anaeróbio.	152
Figura 49. Fotos de tanques de lodo ativado. Fonte: ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ, 2005.	153
Figura 50. Fluxograma do processo convencional de tratamento por lodo ativado. ...	153
Figura 51. Fotos da filtração biológica aeróbia. Fonte: Escola Politécnica de Saneamento da UFRJ, 2005.	154
Figura 52. Fluxograma de um sistema de tratamento biológico de águas residuárias com filtro biológico.	154
Figura 53. Fotos da lagoa de estabilização. Fonte: ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ, 2005.	155
Figura 54. Esquema de lagoa de estabilização.	155
Figura 55. Esquema em corte demonstrando a infiltração sub-superficial.	156
Figura 56. Esquema em corte demonstrando o escoamento superficial.	156
Figura 57. Esquema de uso de água pluvial em uma residência.	158
Figura 58. À esquerda. Esquema de filtro de água pluvial.	158
Figura 59. À direita. Esquema com a seqüência do percurso da água no reservatório.	158
Figura 60. Ciclo de vida de um edifício genérico. Fonte: Adaptado de Silva, 2003. ...	164
Figura 61. Esquema dos fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício. Fonte: Adaptado de Silva, 2003.	165
Figura 62. Notas finais do método de Avaliação BRE EcoHomes (2004)	169
Figura 63. Notas finais do método de Avaliação BRE EcoHomes (2004)	170
Figura 64. Planilhas da avaliação do sistema GBTool. Fonte: GBC2000, 2004.	176
Figura 65. Tabela simplificada LEED. Fonte: US GREEN BUILDING COUNCIL, 2002.	181
Figura 66. Esquema com as quatro áreas avaliadas pelo sistema SPeAR.	182

A avaliação consiste no desempenho de quatro grandes áreas, cada uma delas subdivida em outras seis. Atribuem-se pontos que vão de 3 a -3, que ilustrados numa rosácea como representado na Figura 67. Quanto melhor o desempenho em cada tema, mais o ponto se aproxima do alvo. O resultado gráfico é bastante didático, pois se visualiza rapidamente as áreas fortes ou fracas do projeto, o que facilita novas intervenções para melhorias. 183

Figura 68. Modelo de quatro-quadrante. Nesta figura quanto mais as cunhas verdes se aproximam do alvo do centro do círculo, melhor o desempenho naquele item. 183

Figura 69. Imagem da lista de verificação SPeAR. 184

Figura 70. Os 14 itens da avaliação HQE divididos em quatro grupos: Eco-construção, Eco-gestão, Conforto e Saúde. Fonte: CARDOSO, 2003. 185

Figura 71. Planilha de avaliação da eco-construção do HQE. Fonte: CARDOSO, 2003. 187

Figura 72. Planilha de avaliação de gestão do HQE. Fonte: CARDOSO, 2003. 188

Figura 73. Planilha de avaliação da qualidade da água do HQE. Fonte: CARDOSO, 2003. 189

Figura 74. Ferramentas de avaliação do método CASBEE de acordo com cada etapa do projeto. 190

Figura 75. Método de cálculo do sistema de avaliação, que considera os efeitos positivos, divididos pelos efeitos negativos da edificação. 191

Figura 76. Gráfico com o resultado final de duas simulações de edifícios no CASBEE. 191

Figura 77. Qualidade e cargas ambientais consideradas no cálculo CASBEE. 192

Figura 78. Planilha de cálculo das cargas ambientais consideradas em relação à energia, materiais e água no método CASBEE. 193

Figura 79. Planilha CASBEE para edifícios novos. 194

Figura 80. Tabela com a pontuação e interpretação dos resultados nos diferentes grupos avaliados na metodologia do sistema NABERS. 196

Figura 81. Imagem da planilha final de avaliação do sistema australiano NABERS. . 196

Figura 82. Planilhas referentes à avaliação de energia, materiais e água da metodologia NABERS.	198
Figura 83. Estrutura temática para organização dos indicadores qualitativos e quantitativos proposto. Fonte: SILVA, 2003.	199
Figura 84. Imagem da tela de entrada do aplicativo e imagem da tela de saída com a avaliação final.	200
Figura 85. Saídas gráficas do aplicativo e tabela com a relação de pontos e estrelas correspondentes.	200
Figura 86. Planilhas de avaliação durante a etapa de projeto que correspondem à análise em energia, materiais e água.	202

LISTA DE TABELAS

Quadro 1. Síntese de características básicas da sustentabilidade segundo Silva, (2000).	43
Quadro 2. Princípios e estratégias gerais de sustentabilidade segundo Silva, 2000. .	44
Quadro 3. Síntese de alguns exemplos de projetos ao redor do mundo que se utilizam de uma linguagem que tem por referência a natureza. Fonte: EDWARDS, 2001.	56
Quadro 4. Tabela de avaliação dos projetos de acordo com Evans (2004).	68
Quadro 5. Tabela com sugestões de modificação na avaliação dos projetos.	69
Quadro 6. Matriz da Energia Elétrica no Brasil. Fonte: ANEEL, 2002.	107
Quadro 7. Os valores de porcentagem são referentes à Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual à considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora. .	107
Quadro 8. Índices de reciclagem de diferentes tipos de materiais de embalagem. Fonte: ABRE-Associação Brasileira de Embalagens (2006).	117
Quadro 9. Países com escassez crônica de água – abaixo de 2.740 litros per capita por dia – em 2000, 2025 e 2050, comparados com alguns outros países. Fonte: LOMBORG, 2002.	139
Quadro 10. Síntese da avaliação dos sistemas quanto à energia, materiais e água.	203

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP. *Associação Brasileira de Cimento Portland*

ABRE. *Associação Brasileira de Embalagens*

ACV. *Análise do ciclo de vida*

ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica*

AWWA. *American Water Works Association*

BEES. *Building for Environmental end Economic Sustainability*

BREEAM. *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CASBEE. *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*

CEMPRE. *Compromisso Empresarial para a Reciclagem*

CFD. *Computational Fluid Dynamics*

CIB. *Conseil International du Bâtiment*

CMMAD. *Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento*

COV. *Componentes Orgânicos Voláteis*

CSTB. *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

DBO. *Demanda Química de Oxigênio*

E T A. *Estação de Tratamento de Água*

EPS. *Poliestireno Expandido*

ETE. *Estação de Tratamento de Esgoto*

FSC. *Forest Stewardship Council*

GBC. *Green Building Challenge*

GHG. *Green house gas*

HQE. *La Haute Qualite Environnementale*

IPCC. *Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*

LCA. *Life Cycle Analyses*

LEED. *Leadership in Energy and Environmental Design*

NABERS. *National Australian Building Environmental Rating Scheme*

NIST. *National Institute of Standards and Technology*

ONGs. *Organizações Não Governamentais*

ONU. *Organização das Nações Unidas, Organização das Nações Unidas*

PAD. *Polímero Plástico Biodegradável*

PCH. *Pequena Central Hidrelétrica*

PET. *Polietileno Tereftalato*

PISÉ. *Pneumatically Impacted Stabilized Earth*

PVC. *Policloreto de Vinila, Policloreto de Vinila*

QEB. *Qualité Environmentale du Bâtiment*

RCD. *Resíduos de Construção e Demolição*

RCRA. *Resource Conservation and Recovering Act*

Spear. *Sustainable Project Appraisal Routine*

SST. *Sólidos suspensos totais*

tep. *Toneladas equivalentes de Petróleo*

tpa. *Toneladas por ano*

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	1
AGRADECIMENTOS	3
EPÍGRAFE	5
RESUMO	7
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	18
SUMÁRIO.....	21
PARTE 1	27
CAPÍTULO 1–INTRODUÇÃO	29
1.1 Colocação do Problema e Justificativa da pesquisa	29
1.2 Objeto de Estudo	34
1.3 Objetivos da dissertação	34
1.4 Recursos e Restrições	34
1.5 Metodologia	34
PARTE 2	37
2 A Evolução do conceito de sustentabilidade	39
2.1 Fundamentações.....	39
2.2 Limitações	42
2.3 Definições.....	43
2.4 A História	44
2.5 A Busca	48
2.6 A Natureza e as Religiões	51
2.7 O Consumo	53
2.8 O Desafio.....	53
2.9 A América do Norte	56
2.9.1 Barreiras	58
2.10 As Ferramentas de suporte de projeto	59
3 Implicações ambientais da escolha dos sistemas aplicados à arquitetura.....	71
3.1 Energia	71
3.1.1 Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento	72

3.1.2	Conceitos Gerais. Energia Renovável e Eficiência Energética.....	74
3.1.3	Programas nacionais para o uso sustentável das fontes de energia.....	76
3.1.4	Tecnologias.....	77
3.1.4.1	Energia Solar Térmica.....	77
3.1.4.2	Técnicas eficientes para refrigeração.....	83
3.1.4.3	Energia Geotérmica.....	92
3.1.4.4	Energia Eólica.....	94
3.1.4.5	Células Fotovoltaicas.....	97
3.1.4.6	Células Combustíveis.....	98
3.1.4.7	Biomassa.....	101
3.1.4.8	Pequenas usinas.....	103
3.1.4.9	Pequenas centrais hidroelétricas.....	104
3.1.4.10	Ondas e Correntes.....	106
3.1.5	Panorama da Situação Energética Brasileira.....	106
3.2	Materiais	109
3.2.1	Conceituação.....	111
3.2.1.1	Energia incorporada.....	112
3.2.1.2	Análise do ciclo de vida.....	114
3.2.1.3	Resíduos e Reciclagem.....	115
3.2.1.4	Três passos básicos.....	117
3.2.2	Da matéria-prima aos materiais de construção.....	118
3.2.2.1	Orgânicos.....	118
3.2.2.2	Cerâmicos.....	127
3.2.2.3	Metálicos.....	133
3.3	Água	136
3.3.1	O consumo de água no Brasil e no mundo.....	137
3.3.2	Impactos dos sistemas urbanos.....	140
3.3.3	Gestão dos Recursos Hídricos.....	143
3.3.3.1	Captação da água.....	144
3.3.3.2	Estratégias para a Conservação da água.....	144
3.3.3.3	Transporte.....	146
3.3.3.4	Tratamento de água bruta.....	146
3.3.3.5	Reuso e reciclagem da água.....	149
3.3.3.6	Tratamento de águas residuárias.....	151
3.3.3.7	Uso da água da chuva.....	157

4	Sistemas de avaliação de sustentabilidade: Energia, Materiais e Água	160
4.1	Indicadores de Sustentabilidade	160
4.1.1	Definição dos Indicadores	160
4.1.2	Função dos Indicadores	161
4.1.3	A Avaliação dos Edifícios	162
4.2	Indicadores de sustentabilidade de edifícios	165
4.2.1	BREEAM	167
4.2.2	GBTool	171
4.2.3	LEED	176
4.2.4	SPeAR	182
4.2.5	HQE	185
4.2.6	CASBEE	189
4.2.7	NABERS	195
4.2.8	Modelo brasileiro	198
4.3	Síntese dos Sistemas	203
PARTE 3		205
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	207
5.1	Conclusões	207
5.2	Quadro histórico	224
5.3	Perspectivas para pesquisas futuras	227
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	229
7	BIBLIOGRAFIA	237

ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

I CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

Parte 1–Introdução e Metodologia

Capítulo 1- Introdução, descreve a delimitação do tema abordando aspectos como: a colocação do problema, a justificativa da pesquisa, os objetos de estudo, os objetivos da dissertação e os recursos e restrições da pesquisa. Neste capítulo também é descrita a Metodologia.

Parte 2 – Revisão Bibliográfica

Capítulo 2- Aborda a literatura existente a respeito da evolução do conceito de sustentabilidade. Aborda as ferramentas de suporte de projeto.

Capítulo 3- Aborda as implicações ambientais da escolha dos sistemas aplicados à arquitetura, mais especificamente em relação à energia, aos materiais e a água.

Capítulo 4– Aborda os sistemas de avaliação de sustentabilidade com enfoque em energia, materiais e água.

Parte 3–Conclusões

Capítulo 5– Apresenta as considerações finais com uma síntese das entrevistas realizadas a arquitetos, engenheiros e consultores ambientais e apresenta um quadro histórico da evolução do conceito de sustentabilidade. Além das considerações finais, este capítulo apresenta sugestões de temas para pesquisas futuras que visam dar continuidade ao trabalho.

PARTE 1

CAPÍTULO 1—INTRODUÇÃO

1.1 Colocação do Problema e Justificativa da pesquisa

É intrínseco ao pensamento arquitetônico a busca de soluções que visam a proteção em relação ao ambiente externo, criando assim condições climáticas apropriadas no ambiente interno do abrigo. Para esta solução, o arquiteto deve naturalmente se atentar para a orientação do edifício, o uso de materiais adequados, o uso de tecnologias passivas para o condicionamento ambiental, o uso racional da água, entre outras preocupações recorrentes. Neste sentido, não há nada de novo em relação ao que se deve pensar no momento do projeto até os dias de hoje.

Mas por que atualmente ouve-se tantos termos como “Arquitetura Ecológica”, “Arquitetura Sustentável”, “Bio-Arquitetura”? Será apenas um modismo?

Dentro da prática profissional do arquiteto houve, na realidade, uma mudança nos paradigmas, devido aos problemas ambientais aos quais os profissionais hoje se deparam. De acordo com a ABEMA¹ (1999), alguns dos principais problemas ambientais brasileiros podem ser classificados como: a escassez de água pelo uso inadequado, pela contaminação e pelo ineficaz gerenciamento das bacias hidrográficas; a contaminação de corpos hídricos por esgotos sanitários, industriais e por outros resíduos; a degradação dos solos pelo mau uso; a perda de biodiversidade devido ao desmatamento e às queimadas; a degradação da faixa litorânea por ocupação desordenada e a poluição do ar nos grandes centros urbanos.

Não se tem como negar que muitos destes problemas ambientais se intensificaram e continuam se intensificando, devido ao crescimento descontrolado da população e das cidades e por consequência da construção, não só desordenada, como baseada no princípio da disponibilidade infinita dos recursos.

Nos níveis atuais de consumo, a espécie humana requer aproximadamente três planetas Terra para sustentar-se. No mundo ocidental a capacidade de suporte dos sistemas naturais foi excedida por em média, de três a seis planetas Terra, e cerca de um e meio na África. Em todos os índices medidos, o consumo de recursos naturais da América Latina é superior ao da Ásia, do Oriente Médio e da África. O maior consumo

¹ Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio-Ambiente.

é da população da América do Norte - a "pegada ecológica"² de um norte-americano equivale a de dois europeus e a sete vezes o tamanho da pegada de um asiático ou de um africano. No ranking mundial, a "pegada" do brasileiro fica em 60º lugar na lista de 149 países considerados no estudo. Quando se compara o consumo somente de alimentos, fibras e madeiras, no entanto, o Brasil sobe para 27º lugar. No item energia o Brasil fica em 82º lugar e em água fica em 70º lugar.

As áreas de stress de recursos estão nos combustíveis fósseis, nas terras para agricultura, na disponibilidade de água potável, nas madeiras densas, na disponibilidade de peixes e, o mais importante, na questão do clima global. Enquanto a Terra é modificada para responder às necessidades humanas, há uma perda de espécies, de diversidade genética e de *habitats* virgens. O planeta está se transformando em uma enorme fazenda para suportar as cidades que crescem rapidamente. A destruição ecológica é evidente em toda parte e a raça humana prontamente aceita a extinção global de talvez 4.000 espécies ao ano a fim de reorganizar a terra em uma linha de produção que suporte suas próprias atividades.

Segundo Fuller (apud ROGERS, 2001), "antes de mais nada devemos reconhecer que a abundância dos recursos imediatamente consumíveis, inevitavelmente desejáveis ou absolutamente essenciais, até agora, foi suficiente para permitir que continuemos nossa jornada, apesar de nossa ignorância. Estes recursos, em última instância esgotáveis e dilapidáveis, foram adequados até este momento crítico. Aparentemente, essa espécie de amortecedor dos erros de sobrevivência e crescimento da humanidade foi alimentado, até agora, da mesma forma que um pássaro dentro do ovo se alimenta do líquido envoltório, necessário para uma etapa de seu desenvolvimento somente até certo ponto".

Atividade humana de maior impacto sobre o meio-ambiente, a indústria da construção, particularmente construção, operação e demolição de edifícios, segundo (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2004), possui grande responsabilidade no panorama

² Criada por William Rees e Mathis Wackernagel a Pegada Ecológica, baseada no conceito de "capacidade de carga", permite calcular a área de terreno produtivo necessária para sustentar o estilo de vida atual. Foram escolhidas várias categorias de terrenos: agrícola, pastagens, oceanos, florestas, energia fóssil e áreas construídas; e de consumo: alimentação, habitação, energia, bens de consumo, transportes, etc. Neste cálculo, cada categoria de consumo é convertida em uma área de terreno por meio de fatores calculados para o efeito. No caso da alimentação, por exemplo, divide-se o consumo de dada cultura agrícola, expresso em toneladas, pela produtividade da terra, expressa em hectare. Para que a pegada ecológica seja sustentável, ela terá de ser inferior à capacidade de carga do planeta ou região, dependendo da escala da avaliação (REDEFINING PROGRESS, 2006).

ambiental global. Enquanto a economia e a população continuam a se expandir, os projetistas e construtores têm o dever de enfrentar um desafio sem igual na demanda de conhecimento em novos ou renovados mecanismos que sejam acessíveis, seguros, saudáveis, e produtivos, enquanto minimizando seu impacto ambiental (WHOLE BUILDING DESIGN GUIDE, 2004).

Apesar de o arquiteto sempre ter uma preocupação ambiental e humana na concepção de seus projetos, novas exigências advindas do aumento da população, maior consumo de materiais, energia e água, exigem uma postura mais dirigida para as questões ambientais e de sustentabilidade.

Pesquisas recentes para este desafio pedem uma aproximação integrada, que considere todas as fases do ciclo de vida destes mecanismos. Esta aproximação “sustentável” suporta um compromisso crescente com a condição ambiental e sua conservação e resulta em um ótimo equilíbrio de custo, benefícios ambientais, sociais, e humanos enquanto considera a missão e funcionamento da infra-estrutura projetada.

O que é freqüentemente ignorado nos círculos arquitetônicos é a maneira como o desenvolvimento sustentável como conceito constrói quatro grandes questões centrais para o projeto do edifício: a tecnologia e sua influência para com o impacto ambiental, o propósito social, a identidade cultural e a moderação econômica.

Mas a arquitetura consegue unir estes campos da sustentabilidade? A vinculação destes não somente revigora a arquitetura como também dá validade moral à criação de assentamentos humanos. E aí encontra-se a base do novo florescimento da arquitetura após um período de indefinição posterior ao século XX. A união da tecnologia e da sustentabilidade social traz, de um lado, a necessidade de compreender os materiais e seus impactos, e de outro, o bem estar dos agentes da sociedade.

Os objetivos principais da construção “sustentável” estão sempre evoluindo, porém podem ser resumidos em: evitar o desperdício dos recursos de energia, água, e matérias-primas; prevenir a degradação ambiental causada por instalações e infra-estrutura ao longo do ciclo de vida; e criar ambientes construídos habitáveis, confortáveis, seguros, e produtivos.

Mais de 90% destes princípios baseiam-se em decisões que devem ser tomadas no momento do projeto arquitetônico (GHOUBAR, 1990). O arquiteto então se vê diante

de uma nova realidade, se vê diante de uma nova problemática, na qual está evidente sua responsabilidade. Nesta realidade, ele não deve apenas se preocupar com a implantação do edifício, e sim, em como este edifício está causando efeitos sobre o solo, em como estes materiais se comportam, não apenas termicamente, mas também em função de seu ciclo de vida, sua capacidade de ser reutilizável, ou mesmo reciclável.

Neste sentido o gerenciamento das etapas do projeto arquitetônico é essencial, onde se espera o inverso do efeito “projeto pobre”. Nesta idéia o tempo investido no projeto é mínimo, enquanto o tempo na obra é maximizado, devido à insuficiência de informações no momento da construção. Conforme Barnett; Browning (1999), um dos princípios filosóficos no desenho do edifício de menor impacto ambiental é o do planejamento, onde se tem primeiramente o trabalho, depois o retorno. Esta questão implica na necessidade de competências especializadas e projetos complementares, que dêem suporte a um projeto completo de acordo com os parâmetros de desempenho ambiental.

Decisões realizadas previamente não apenas definem a direção do projeto, como também provam ter seu custo mais eficiente durante a vida útil do edifício. Um projeto claramente estruturado e desenvolvido guia o processo de tomada de decisões, enquanto incorpora assuntos relacionados à escolha do sítio, o desenho do edifício e seus sistemas, o processo de construção, operação e manutenção do empreendimento (UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL, 1996).

Apesar da importância do gerenciamento na arquitetura, esta não se encontra muito desenvolvida neste ramo como em outras atividades produtivas no setor comercial e industrial, onde se dispõe de metodologias bem elaboradas e disponíveis (Maffei, 1989). Aliado a este fato, os modelos gerenciais concentram-se prioritariamente na otimização da produtividade, focada em métodos quantitativos.

Da mesma forma com que os modelos gerenciais estão ampliando seu desenvolvimento no Brasil, métodos de avaliação de sustentabilidade de edifícios começam a ser pesquisados e aperfeiçoados. Após a crise energética mundial vieram à tona problemas relacionados aos impactos ambientais, que se desencadearam em diversas iniciativas focadas na avaliação da eficiência energética de edifícios. Desta maneira foram desenvolvidos métodos para a avaliação dos edifícios estabelecidos indicadores de sustentabilidade.

Há uma quantidade muito grande de sistemas de avaliação de edifícios desenvolvidos por diversos países já absorvidos pelo mercado e pela pesquisa em um cenário internacional, devido a sua abrangência quanto aos parâmetros de avaliação de sustentabilidade, do conforto ambiental a eficiência energética. Podemos citar alguns deles, em ordem crescente de acordo com a data de criação dos mesmos: BREEAM - Reino Unido, 1990; GBTool - Internacional, 1996; LEED - Estados Unidos, 1996; SPEAR - Inglaterra, 2000; HQE - França, 2002; CASBEE - Japão, 2002; e NABERS - Austrália, 2004.

O desenvolvimento destes modelos evidencia um esforço global de transformação das bases conceituais da arquitetura internacional. Inúmeros são os exemplos que apontam este novo rumo da arquitetura, focado nas condições ambientais e nas preocupações de salubridade e sustentabilidade.

Segundo Baker e Steemers (2000), "o grande propósito da boa arquitetura é conciliar o projeto de baixo consumo energético com o conforto interno dos ocupantes, sem prejudicar ou reduzir a qualidade de vida dos mesmos". Grandes nomes da arquitetura mundial como Norman Foster, Renzo Piano, Richard Rogers têm realizado projetos de edifícios de baixo impacto ambiental que são exemplos de como utilizar a tecnologia não só a favor do homem, como também a favor do meio ambiente.

As questões a serem hoje respondidas pelo que se pode chamar de novo movimento ou movimento verde, rebatem as apreensões ambientais globais, questões estas que envolvem todas as regiões do planeta. Apesar desta responsabilidade generalizada, alguns exemplos focalizados se destacam no cenário arquitetônico global.

Os exemplos de projeto que se apresentam como parte deste novo movimento são encontrados predominantemente nos países desenvolvidos, apesar de saber que existam modelos sustentáveis em países de menores recursos, países de terceiro mundo. Estes exemplos nem sempre usam a palavra arquitetura verde, ou sustentável, porém possuem estes conceitos embutidos em sua produção construída (EDWARDS, 2001). E quais são os parâmetros avaliados para definir um projeto de arquitetura como sustentável, ou de menor impacto ambiental?

Desta forma esta pesquisa tem como objetivo elucidar os parâmetros ambientais que são considerados em sistemas de avaliação de sustentabilidade na arquitetura, de modo a sintetizar como ponderam o impacto ambiental e as tecnologias referentes à energia, aos materiais e à água.

1.2 Objeto de Estudo

O objeto da pesquisa são os sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura com enfoque nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas.

1.3 Objetivos da dissertação

O objetivo geral da pesquisa é analisar a abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas.

A pesquisa teve como objetivos específicos analisar a evolução do conceito de sustentabilidade do ambiente construído: desde as estratégias tecnológicas de energia, materiais e água aos sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios, assim como construir uma linha do tempo com a organização cronológica dessas informações.

1.4 Recursos e Restrições

Esta pesquisa foi realizada com o apoio financeiro da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - a partir de 01 de agosto de 2005.

A bibliografia utilizada para a realização desta pesquisa foi consultada nas bibliotecas do sistema *Dedalus* pertencente à Universidade de São Paulo, nos sistemas informatizados de busca de demais Universidades brasileiras, além de artigos científicos, dissertações e teses disponibilizadas na internet.

Foi realizada uma viagem internacional para a coleta de dados primários provenientes de entrevistas com profissionais ligados à sustentabilidade do ambiente construído, entre eles arquitetos, engenheiros e consultores ambientais. A coleta de dados primários esteve restrita a poucas semanas de investigação direta junto aos entrevistados, devido a limitações financeiras e burocráticas.

1.5 Metodologia

O trabalho caracteriza-se como teórico e pragmático com enfoque analítico.

A coleta de dados secundários caracterizada como a parte teórica da pesquisa foi composta de:

- Revisão bibliográfica do conceito de sustentabilidade;
- Revisão bibliográfica de estratégias tecnológicas para edifícios de melhor desempenho ambiental: Energia, Materiais e Água;
- Revisão bibliográfica de sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios, onde serão levantados parâmetros de sistemas internacionais como: BREEAM - Reino Unido, 1990; GBTool - Internacional, 1996; LEED - Estados Unidos, 1996; SPEAR - Inglaterra, 2000; HQE - França, 2002; CASBEE - Japão, 2002; e NABERS - Austrália, 2004.

Após esta etapa foram sintetizados os parâmetros de avaliação analisados na pesquisa e construído um quadro para melhor visualização dos critérios avaliados nos sistemas.

Paralelamente foi construída uma linha do tempo com a organização cronológica dos dados levantados em relação à evolução do conceito de sustentabilidade. Este quadro não tem a função de esgotar o tema e sim, indicar eventos marcantes que exemplifiquem a evolução do conceito de sustentabilidade, podendo ser preenchido no decorrer de pesquisas futuras.

Foi realizada uma viagem internacional para a coleta de dados primários provenientes de entrevistas com profissionais ligados à sustentabilidade do ambiente construído, entre eles arquitetos, engenheiros e consultores ambientais. O fato da pesquisa se tratar das tecnologias a serem inseridas no projeto de arquitetura incutiu a necessidade de conhecer a opinião de experientes profissionais que atuam hoje na área de sustentabilidade. Foram então, realizadas dez entrevistas com arquitetos, engenheiros e consultores ambientais na cidade de Londres, que atuam em projetos ao redor do mundo.

Estes profissionais foram selecionados devido a sua produção publicada em revistas técnicas, assim como indicados por Professores do grupo de pesquisa do LABAUT. O número de entrevistas realizadas limitou-se a restrições financeiras quanto ao tempo de viagem e a disponibilidade dos profissionais em ceder seu tempo e informações.

Desta forma foi possível concluir a pesquisa com um conhecimento mais aprofundado em relação ao que se conhece na teoria e o que atualmente é feito na prática, no sentido de se construir edifícios e cidades de menor impacto ambiental.

PARTE 2

2 A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

2.1 Fundamentações

O período que sucedeu a Segunda Guerra Mundial foi caracterizado por uma trajetória desenvolvimentista, quando passaram a ser constatados os danos ambientais a diversos ecossistemas e a exaustão dos recursos naturais. O crescimento econômico acelerado e a expansão do mercado de consumo do período pós-guerra entraram em colapso devido às crises que se estabeleceram nos anos 70, como a crise do petróleo, do dólar, entre outras fragilidades do mercado financeiro.

Algumas publicações abordaram as conseqüências das excessivas ações humanas sobre o meio-ambiente e os seres vivos, manifestando o colapso ambiental, como é o caso do livro “Silent Spring” de Rachel Carson, publicado em 1962.

Outra publicação de caráter alarmista foi o relatório “The limits to growth”, de 1972, de Donella Meadows em conjunto com um grupo de estudiosos denominado como “Clube de Roma”. Este relatório alertou para os riscos de escassez de recursos naturais caso a humanidade continuasse a crescer e a explorá-los indevidamente.

Na mesma data desta última publicação, em 1972, foi realizado um encontro em Estocolmo, quando as questões ambientais passam a ser politicamente admitidas como um problema global a ser debatido. Neste encontro já se ressaltam esforços conjuntos de diversos organismos governamentais e não governamentais, universidades, institutos de pesquisa, agências, programas da ONU – Organização das Nações Unidas – entre outros.

Um dos marcos principais para a consolidação das principais noções da idéia da sustentabilidade foi a publicação, em 1987, do Relatório Brundtland sob o título de Nosso Futuro Comum, fruto do trabalho elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). Segundo Silva (2000), o conceito para o desenvolvimento sustentável que foi difundido internacionalmente, remete às condições genéricas da qualidade da preservação das condições sócio-ambientais ‘intra’ e ‘inter’ gerações:

“O Desenvolvimento Sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (CMMAD, 1991).

Segundo Silva (2000), além da ausência de discussão de algumas questões pertinentes à produção no relatório, as relações de consumo não são debatidas criticamente de forma a explicitar as desigualdades dos padrões e a impossibilidade econômica e ecológica de se estender a todos os mesmos níveis de consumo praticados pelas nações mais ricas. Outro aspecto polêmico refere-se à proposição da necessidade de crescimento, tanto para as nações não industrializadas como para as industrializadas, que prevê que a superação do subdesenvolvimento do hemisfério sul implica no crescimento contínuo dos países industrializados. Segundo a autora, as respostas de como conciliar esta proposição com a perspectiva ecológica da finitude de recursos naturais é um aspecto conflitante que foi evitado.

Publicada cinco anos depois do Relatório Brundtland, a Agenda 21 tratou de alguns aspectos não enfocados anteriormente, tanto o consumo energético e de matérias primas, a conservação da biodiversidade e a proteção de ecossistemas frágeis, como a questão da equidade na distribuição das riquezas, das oportunidades e das responsabilidades. Este documento amplamente difundido no mundo, foi produto do evento chamado Eco-92 realizado na cidade do Rio de Janeiro na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

A grande participação e o envolvimento de diversas ONGs – Organizações Não Governamentais – e associações civis resultaram em uma fundamental contribuição para a sociedade civil e para o mundo oficial das nações na explicitação dos vínculos indissociáveis entre os aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos.

Outra contribuição relevante da Agenda 21 foi o delineamento de propostas operacionais para a obtenção de dados que permitissem a avaliação e monitoramento dos impactos ambientais, fator fundamental para o incentivo para a formulação de indicadores ambientais em todo o mundo.

Já na década de 80, a consideração de que uma concepção de desenvolvimento estratégico para melhorias sociais deve corresponder a potencialidades locais gerou a idéia das sociedades sustentáveis, por um movimento liderado por Lester Brown por meio do Worldwatch Institute.

Segundo Silva (2000), embora a concepção de uma sociedade sustentável também faça alusão à solidariedade entre as gerações, inclui a condição de um desenvolvimento tecnológico necessário para a compensação de perdas do capital natural.

O destino da biosfera exige, então, mais do que nunca uma agenda de pesquisas científicas. Segundo Murray Gell-Mann, prêmio Nobel de Física de 1969 (1996), uma agenda que conclamasse pessoas de diversas instituições e de uma ampla variedade de disciplinas a pensarem juntas sobre a possibilidade de cenários evolutivos que conduzam a um mundo “quase-sustentável no século XXI” seria necessária e consensualmente desejável. Para ele o significado de ‘sustentável’ já é inadequado, já que a ausência completa de vida na Terra pode ser sustentável por milhões de anos.

Para Gell-Mann (1996) o que se está procurando “abarca um tantinho de desejo junto à sustentabilidade”, e há certo consenso das aspirações da humanidade a este desejo. Trata-se de obter qualidade de vida para o homem e para a biosfera que não seja conseguida principalmente à custa do futuro. Abarca a sobrevivência de diversidade cultural humana e também de muitos dos organismos com os quais ela divide o planeta, assim como as comunidades que eles formam. Ou seja, para ele, o principal desafio para a humanidade é realizar um conjunto de sete “transições interligadas para uma situação mais sustentável no século XXI”.

Porém, segundo Veiga (2005), a física anterior ao surgimento da termodinâmica trabalhava com a hipótese de que quase todos os fenômenos poderiam ser reversíveis. No entanto as pesquisas científicas dos últimos vinte anos indicam uma rejeição bem generalizada da hipótese de que uma reversão do sentido do movimento de qualquer variável permite facilmente à volta ao equilíbrio anterior. Não há retorno ao estado inicial.

Segundo Sachs (2002) a abordagem fundamentada na harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos, primeiro chamada de eco desenvolvimento, e depois de desenvolvimento sustentável, não se alterou substancialmente nos vinte anos que separaram as conferências de Estocolmo e do Rio. Segundo ele, permanece válida nas recomendações de objetivos para oito de suas dimensões: social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômica, política nacional e política internacional. Quanto às dimensões ecológicas e ambientais, os objetivos da sustentabilidade formam o tripé: preservação do potencial da natureza para a produção de recursos renováveis; limitação do uso de recursos não renováveis; respeito e realce para a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais.

A abordagem de desenvolvimento explicitada até então, proveniente de encontros, conferências, entre outros, possibilitou uma grande integração dos mais diversos

setores, porém é importante salientar a dificuldade de se chegar a consensos nos acordos internacionais devido a grande diversidade de interesses envolvidos.

Há outras correntes de pensamento em relação à temática de gerar alternativas ao desenvolvimento tradicional, provenientes de instituições distintas. Segundo Silva (2000) são três as correntes principais: a “Economia Ecológica”, a “Permacultura” e a “Economia Solidária”. Essas correntes explicitam interesses de setores civis diversos, e não serão aprofundadas neste trabalho, porém são iniciativas que não podem deixar de ser citadas devido à ótica de cooperação intrínseca que possuem.

2.2 Limitações

No estabelecimento dos princípios fundamentais para a idéia de sustentabilidade é necessário que sejam enfrentadas algumas questões básicas que suscitam indagações a respeito de determinadas fragilidades, no repertório de componentes de uma perspectiva de desenvolvimento mais equilibrado e duradouro. Muitos aspectos desses nós, ainda não foram resolvidos ou superados e ficam na dependência da evolução de outros fatores cruciais. Entre eles, uma evolução científica e tecnológica que faculte procedimentos menos agressivos às apropriações e às explorações do meio ambiente e dos recursos naturais que dele têm sido extraídos. O desenvolvimento da ciência e da tecnologia tem-se dado, geralmente, de forma subordinada aos interesses do capital financeiro e das relações de poder (SILVA, 2000).

Outros dos nós dizem respeito às formas de organização política, econômica e social da sociedade, suas relações de trabalho, de produção e consumo, bem como as consequências sócio-ambientais de um período marcado pela hegemonia de uma economia de mercado globalizado. Desta forma, de um lado tem-se a demanda por uma capacitação tecnológica e científica que favoreça as condições de uma relação menos danosa ao meio ambiente e, de outro, a perspectiva de um novo desenho para as relações institucionais, políticas e econômicas que viabilize uma maior equidade na sociedade (SILVA, 2000).

A limitação dos ecossistemas diz respeito à ação antrópica, que não acompanha o ciclo de transformação natural do ambiente físico. Enquanto não se obtiver conhecimento e não se agir de acordo com este ciclo, com este limitante, não se estará assegurando às gerações futuras a paisagem e o bem estar que merecem.

2.3 Definições

Segundo Silva (2000), a sustentabilidade pode ser caracterizada pelo caráter progressivo (de tendência e dinâmico); holístico (plural, de indissociabilidade e interdisciplinar) e histórico (espacial, temporal e participativo). Suas características podem ser mais bem compreendidas na Quadro 1.

Quadro 1. Síntese de características básicas da sustentabilidade segundo Silva, (2000).

CARÁTER PROGRESSIVO	
CARÁTER DE TENDÊNCIA	A sustentabilidade se apresenta como uma condição a ser introjetada em um processo onde se pretende atingir determinadas metas devendo ser continuamente e permanentemente reavaliada.
CARÁTER DINÂMICO	Não se trata de algo tangível que se adquira definitiva e completamente, mas uma condição que deve interagir com o dinamismo da realidade em que se insere, adequando-se a fatores conjunturais, estruturais ou imprevisíveis.
CARÁTER HOLÍSTICO	
CARÁTER PLURAL	A sustentabilidade é pluridimensional e envolve aspectos básicos tais como: ambientais, econômicos, sociais e políticos. Novas dimensões podem ser acrescentadas se o problema em questão assim o exigir.
CARÁTER DE INDISSOCIABILIDADE	Além do caráter plural que pressupõe o envolvimento de vários aspectos, existe um vínculo indissociável entre eles exigindo a sua plena consideração para que se garanta uma condição sustentável.
CARÁTER INTERDISCIPLINAR	Devido à amplitude de interações que são contempladas em suas considerações, demanda-se a confluência de diferentes áreas do conhecimento, tanto para a construção de suas compreensões teóricas como de suas ações práticas.
CARÁTER HISTÓRICO	
CARÁTER ESPACIAL	Embora a noção de sustentabilidade tenha um forte perfil de origem que valoriza as condições endógenas, ela não pode prescindir da inserção e interação dos contextos locais com os mais amplos, contemplando também as causas e consequências das “pegadas ecológicas”.
CARÁTER TEMPORAL	A relação de tempo adquire uma importância fundamental no equacionamento das ações praticadas no passado, no presente e as que serão exercidas no futuro. Quando se trata do meio urbano, geralmente se adota o tempo social do universo antrópico.
CARÁTER PARTICIPATIVO	A preservação de uma condição sustentável tem uma forte interdependência com o aspecto da diversidade participativa dos agentes sociais, na medida em que a presença ou não deste fator pode tanto contribuir, como comprometer as metas pretendidas.

Quadro 2. Princípios e estratégias gerais de sustentabilidade segundo Silva, 2000.

ASPECTO	PRINCÍPIOS E ESTRATÉGIAS GERAIS
AMBIENTAL	Manutenção da integridade ecológica por meio da prevenção das várias formas de poluição, da prudência na utilização dos recursos naturais, da preservação da diversidade da vida e do respeito à capacidade de carga dos ecossistemas.
SOCIAL	Viabilização de uma maior equidade de riquezas e de oportunidades, combatendo as práticas de exclusão, discriminação e reprodução da pobreza e respeitando a diversidade em todas as suas formas de expressão.
ECONÔMICO	Realização do potencial econômico que contemple prioritariamente a distribuição de riqueza e renda associada a uma redução das extremidades sócio-ambientais, buscando resultados macro sociais positivos.
POLÍTICO	Criação de mecanismos que incrementem a participação da sociedade nas tomadas de decisões, reconhecendo e respeitando os direitos de todos, superando as práticas e políticas de exclusão e permitindo o desenvolvimento da cidadania ativa.

2.4 A História

Segundo Brian Edwards (2001), muitas publicações ilustram os projetos verdes sem distinguirem suas diferenças culturais, sociais e ambientais. A publicação GREEN ARCHITECTURE (2001), visa demonstrar:

- A existência de diferenças regionais na filosofia da sustentabilidade e na sua prática;
- A maneira que a sustentabilidade endereça não somente os problemas globais (tais como as mudanças climáticas), mas também questões ambientais locais (tais como a regeneração de cidades);
- A existência de soluções *high-tech* e *low-tech*, normalmente utilizadas conjuntamente em um só projeto;
- A maneira como o espaço é alterado pela sustentabilidade.

O maior argumento feito pelos editores desta publicação é de que existe uma interpretação diferenciada quanto ao projeto sustentável ao redor do mundo. As forças que levam para esta complexidade – climática, cultural, profissional e os fatores sociais – podem ser facilmente oprimidas pela internacionalização da sustentabilidade, o que é evidenciada pela literatura científica. Uma prática sustentável mais apropriada ocorre quando tanto as questões locais quanto as globais são balanceadas.

Existe uma importante distinção entre o termo *low-energy* e projeto ecológico. Em edifícios onde a questão da energia é associada à proteção das florestas ou conservação da água, o conceito de sustentabilidade fornece uma estrutura para uma tomada de decisão integrada.

Nesta abordagem surge uma nova linguagem arquitetônica associada a disposição urbana, a planta e a seção do edifício; o uso de materiais e os serviços de manutenção do edifício. Cada qual se altera pela agenda local de sustentabilidade e será explorado pelos especialistas que conhecem a prática de seu país.

A “nova ordem da sustentabilidade” não é universal, mas, como o classicismo, é modificada por circunstâncias regionais. É uma ordem de processo e pensamento necessariamente ajustados por circunstâncias locais - a apropriação da sustentabilidade e sua relevância cultural atêm-se a celebração da diferença. Neste sentido a ‘nova’ arquitetura deve procurar o detalhe, mostrando como as tradições culturais, agendas políticas, habilidades de ofício e tecnologias locais estão conectadas com a sustentabilidade, dando forma a uma rica e diversa arquitetura global para o século XXI.

Segundo Brian Edwards e Christina du Plessis (ARCHITECTURAL DESIGN, 2001), as raízes do “movimento ambiental” podem ser remetidas ao século XIX. John Ruskin, William Morris e Richard Lethaby, cada qual de diversas maneiras questionaram a suposição de que a industrialização satisfaria as necessidades espirituais e físicas da humanidade. Ruskin no livro *“The Seven Lamps of Architecture”* escreveu que o desenvolvimento deveria ser modelado em cima da ordem harmônica encontrada na natureza. Morris advogou um retorno ao campo com implicações para a auto-suficiência e um retorno às habilidades locais de ofício. Lethaby, em um de seus diversos conselhos retóricos, chamou os arquitetos para que reconhecessem a magnífica ordem da natureza. Todos os três usaram o termo “natureza” o que hoje pode ser substituído pela palavra sustentabilidade. O século XIX terminou com a emergência de um movimento claro quanto aos projetos sustentáveis.

Patrick Geddes na Escócia, Buckminster Fuller e Frank Lloyd Wright nos EUA, Hassan Fathy no Egito e, mais recentemente, Richard Rogers e Norman Foster no Reino Unido. Todos estes desenvolveram as idéias destes pioneiros. Mas suas respostas foram completamente diferentes. A natureza foi substituída por projetos *low-energy* pela pressão do problema imediato do aquecimento global. Visto que Rogers e Foster têm desenvolvido novos protótipos para escritórios energeticamente eficientes,

escolas e mesmo terminais de aeroportos, há uma pressão oposta de que os projetos do século XX devam melhorar as condições ambientais de áreas urbanas. Isto encontrou expressão em cidades climatologicamente modificadas, por exemplo, por grandes estruturas de vidro ou plástico que absorvem o calor para dentro do ambiente, enquanto eliminam o ar frio.

Geddes e Fueller argumentaram que novas plantações dentro de áreas urbanas fazem com que a natureza seja trazida para um contato direto com a raça humana. Fathy e Wright possuíam uma visão diferente: ambos buscavam os materiais e ofícios locais com o esforço de produzir uma arquitetura moderna de acordo com as tradições regionais. No processo, introduziram a idéia que a sustentabilidade social e o projeto ecológico estão intimamente ligados. O grupo Archigram, no início dos anos 60, também vislumbrou uma distintiva reconciliação entre a alta tecnologia e os problemas ambientais. Alguns de seus projetos urbanísticos demonstram uma grande preocupação com as áreas verdes, atribuídas à noção da migração de espécies e à integração de complexidades ecológicas e ordens arquitetônicas.

A questão ecológica nunca realmente extinguiu-se apesar do movimento moderno. A alta tecnologia, maior florescimento da modernidade, já havia planejado incorporar a sustentabilidade, não com esse termo, pelos anos 1990. No fim do século, a precisa engenharia, a computação e a ecologia, fizeram com que os edifícios deixassem de ser 'pesados', tornando-se mais leves, flexíveis e em parte móveis. Como Rogers notou, edifícios devem ser como pássaros que movem suas partes e mudam suas formas metabolizando-se às diferentes condições ambientais. Esta forma que responde às condições ambientais construiu, com sucesso, a ponte entre os mundos do homem e da natureza, respondendo assim às predições de Ruskin, Morris e Lethabé.

Adotando um panorama mais amplo da história, é possível discutir que a prática da sustentabilidade existiu durante todo o período medieval e continua sobrevivendo em áreas subdesenvolvidas. Os monastérios da Europa produziam seu próprio alimento, construíam os edifícios com os materiais locais, coletavam e reciclavam a água, e desenvolviam tecnologias com uso de energia renovável (como moinhos de água e de vento). Estas eram sociedades estruturadas que tomavam cuidado com os velhos e com os doentes, cultivavam a terra de acordo com os princípios ecológicos e cultivavam peixes, pássaros e animais com humanidade. Tais práticas podem ainda ser encontradas em comunidades rurais na América latina, África e na Ásia. O

desenvolvimento sustentável não é um termo que se ouve nestes locais, mas na realidade estes são os lugares de onde o resto da humanidade extrai as maiores lições.

O Iluminismo na Europa promulgou uma visão científica e racionalista do mundo. Sobreviveu ao presente na percepção mecanicista da sustentabilidade, compartilhada pela maioria dos arquitetos e engenheiros do ocidente. Esta expressão é refletida em relação à energia, aos combustíveis fósseis, aos indicadores e definições. O ocidente tende a medir a sustentabilidade enquanto o oriente e o sul simplesmente a 'sente'. A Ásia e a África acabam por serem bons praticantes da arquitetura consciente através do instinto e seu ponto de referência não é Newton ou Einstein, mas sim o 'xaman', ou guardião da sabedoria local.

Uma das maiores ironias do mundo moderno é que as sociedades que mais falam sobre a sustentabilidade (como EUA, Alemanha e França) são freqüentemente as menos ecológicas na prática. Há uma relação inversa entre a retórica ecológica e a prática. A maior parte da África e da Ásia possui um impacto ambiental minúsculo per capita comparado aos países desenvolvidos e seus exemplos de projeto 'verde' são raramente encontrados nos livros e publicações mais recentes que tratam da sustentabilidade. Como uma indicação geral, a aproximação espiritual ao projeto 'verde' é encontrada no mundo subdesenvolvido e o termo *low-energy*, no mundo desenvolvido.

Tanto a história como a geografia fornecem lições valiosas que permitem que a prática atual seja ajustada a um mais amplo contexto social e cultural. A sustentabilidade tem sido um desafio recorrente para a humanidade desde que os homens e as mulheres começaram a se estabelecer na superfície da terra.

O nomadismo aliviou a raça humana de um dever de cuidado com a terra, porém assim que deram forma a vilas não poderiam mais se esconder das conseqüências ambientais do desenvolvimento físico. Estas conseqüências expressaram-se de diversas maneiras: poluição, escassez de recursos e doenças. A saúde é um problema perene em cidades que tendem ao crescimento – possivelmente a doença é um motor da sustentabilidade mais forte do que a energia.

A busca para uma vida saudável foi o que assegurou a existência do espaço aberto nas cidades medievais, regulou o uso dos materiais no edifício, controlou a extração e o uso da água e construiu uma rede de drenagem. Este legado é aparente nos

incontáveis códigos de edificações e nos modelos de lei do século XIX. O que é óbvio é que não foi a questão da energia, a necessidade de preservar a biodiversidade ou a proteção dos recursos ambientais que estruturaram os adensamentos humanos, mas sim a saúde pública. E hoje é a saúde global, além da pessoal, que está emergindo como a questão mais radical da sustentabilidade. O futuro promete um novo contrato entre o uso da energia e a saúde, e, nesta equação, os edifícios e as cidades terão um papel crucial.

Uma lição da história é que, o que restringe o desenvolvimento sustentável é raramente a escassez de recurso. O limite da prosperidade nas cidades como Londres ou Hong Kong não é a restrição de recurso, mas sim a poluição. A poluição urbana causada pelo setor de transportes causa muitas mortes por ano, entre câncer, doenças de coração e bronquite.

Com uma mudança de ênfase, vem uma nova e clara agenda para o projeto do edifício. A arquitetura, que é responsável por metade de todo o consumo de recurso do mundo (entre materiais, energia, água), tem de se conscientizar do fato de que os desperdícios produzidos pelos edifícios estão desordenadamente poluindo o planeta e destruindo a saúde e o bem-estar não somente dos ocupantes dos prédios, mas também das cidades.

O consumo é por si próprio um problema. Hoje consumimos muito mais per capita do que antes já se viu, dos bens de consumo, aos carros e até os espaços. O excesso de consumo é comumente expressado nas exposições de arquitetura, na postura exagerada da alta tecnologia, de espaços ambiciosos e de parâmetros de conforto ultra dimensionados. Os edifícios são acessórios da moda, o cenário da vida comercial e privada. Dentro dos edifícios, espaços são criados para proteger bens materiais associados ao um estilo de vida baseado no consumo. Portanto enquanto as construções utilizam a metade de todos os recursos ambientais, também provêem o espaço para futuras atividades, aonde será consumida a outra parte.

2.5 A Busca

Em um mundo de valores cada vez mais padronizados, a sustentabilidade oferece uma possibilidade de desenvolver projetos relacionados ao que há de mais específico dos lugares. Se o 'Verde' for examinado como a representação de uma aproximação que demonstra interesse também à cultura, e não somente quanto ao clima, então a arquitetura sustentável deverá emergir como uma força significativa para realçar o

valor da vida, das tradições locais. Em um único país há uma rede complexa de diversidade cultural, de tradições, de técnicas construtivas. Não é possível que o clima possa ser respondido através de um ar-condicionado universal, de uma implantação comum em todos os edifícios. A sustentabilidade quebra o monopólio de soluções arquitetônicas globalizadas.

As forças que conduziram às cidades globalizadas hoje parecem ser desafiadas por um movimento que valoriza novamente respostas ajustadas a problemas específicos. Como diz Brian Edwards (2001) *“a sustentabilidade é politicamente subversiva. (...) Não pode haver nenhum outro caminho ambiental a não ser o de se tornar sustentável: a civilização teve que repensar mais de dois séculos de filosofia ocidental industrial.”*.

A conferência da Organização das Nações Unidas de mudança climática de Kyoto (1998) e a conferência da mudança climática mundial em Haia (2000) ameaçaram quebrar o monopólio de soluções arquitetônicas universais. Os edifícios não serão mais como antes e, em pouco tempo, também não serão as cidades. As quotas de emissões de carbono significam que será necessário queimar menos combustíveis fósseis nos carros, indústria e nos edifícios. A perda de significado do lugar, do tempo e da função desaparecerá e as cidades transformar-se-ão outra vez em lugares identificáveis, baseados em uma síntese de valores culturais e ambientais.

Não há nenhum argumento tangível que possa separar a ação ambiental da ação cultural. O lugar é uma declaração sobre a geografia, a história e os recursos. O desenvolvimento do século XX foi em muito indiferente a todos os três. Para deparar-se com as novas metas de emissão de CO₂ precisamos considerar os combustíveis fósseis como recursos escassos e em processo de extinção, e é necessário explorar novas fontes de energia renováveis (sol, vento, biomassa).

É necessário desenvolver novas tecnologias e soluções aos programas do edifício. Considerando que cada lugar é diferente quanto aos recursos, ao clima, as demandas energéticas, ao modo de vida das pessoas, as soluções do edifício devem diferenciar-se mais eficazmente. Isto significa mais cuidado na escolha de tecnologias mais apropriadas, não necessariamente as mais baratas, o método da construção, o emprego de avaliações do ciclo de vida, o uso de recursos locais, o emprego de habilidades construtivas locais.

Mas a diferenciação não é somente uma questão futura. É uma validação do passado. A arquitetura vernacular evidencia em sua estética os padrões do edifício melhor adequados às circunstâncias locais. As soluções ineficientes extintas ao longo do tempo fizeram prevalecer as construções mais aptas.

Cidades antigas sejam na América Latina, na África, na Europa, são lembretes de como construir quando os materiais são escassos, elas demonstram como recursos de energia, de alimento e de água são buscados localmente.

O prêmio Aga Khan para a arquitetura está entre os poucos que dão o reconhecimento ao passado, de forma a informar o futuro. Os projetos sustentáveis devem aprender suas lições com as cidades que cresceram em períodos de escassez. E não é somente uma questão construtiva, tais lições estendem-se ao inteiro ecossistema das cidades com seus padrões de reciclagem, reuso e renovação.

Espaços particulares, vernaculares ou projetados, são valorizados pelos significados que carregam. O significado social permite às cidades e aos seus edifícios serem apreciados. Suas raízes são variadas, e dependem da sujeição cultural das pessoas. O que é avaliado pelos arquitetos não é o mesmo avaliado pela sociedade em geral. Há uma grande diferença entre o gosto profissional e o do público. A sustentabilidade oferece a possibilidade de união de valores em torno dos objetivos ambientais comuns, trazendo estas questões para o estágio da arquitetura.

Para que isto aconteça é necessário olhar além da questão da eficiência energética do edifício. Este tipo de edifício pode produzir uma arquitetura maçante, culturalmente pobre. Um projeto verdadeiramente sustentável abrange a complexidade ecológica com o enaltecimento da vida, nele a arquitetura não deve morrer, não deve se subordinar a apenas funções.

A natureza usa o mínimo de recursos para criar o máximo de riqueza e beleza, sendo totalmente reciclável em seus processos. O homem ocidental, por outro lado, usa o máximo dos recursos para construir as cidades, com o mínimo de riqueza e beleza, empregando menos de 10 por cento de reciclagem em seu processo. O homem e a natureza necessitam urgentemente começar a unir seus sistemas, este deve ser o objetivo para o novo século.

Haverá camadas de interações entre cada sistema utilizando os desperdícios de outros, para assim criarem prosperidade, beleza e auto-suficiência. A ambição social, cultural e arquitetural deverá mudar de rumo para uma nova corrente, aonde a velha

divisão entre a cidade e o campo, o homem e a natureza, a ecologia e a cultura deverão ser dissolvidas.

2.6 A Natureza e as Religiões

Pode-se discutir que a filosofia cristã tenha em muito ajudado a espalhar as sementes do 'anti ambientalismo' no mundo ocidental. A Bíblia está cheia de referências quanto ao controle, à ordem e ao domínio do mundo natural. O papel do homem na vida era o de subjugar a Terra (Bíblia Gênesis 1.28) e de governar o jardim (Bíblia Gênesis 2.15). O que a Bíblia descreve como o domínio da humanidade sobre a natureza pode ter conduzido a uma ética de dominação. A base cristã por sobre a qual a sociedade ocidental é construída possui uma tendência de colocar o homem distante da ordem natural. De maneira oposta, algumas religiões orientais integram a humanidade em um sistema global ecológico. Tal integração é não somente física, mas, o mais importante, é também espiritual. Os lemas cristãos: multiplicar, explorar e prosperar; transformaram-se em muitos aspectos na ordem internacional do negócio. É o motor das trocas, a base por sobre a qual as empresas conduzem seus negócios e os governos controlam seus recursos. É também a base conceitual para a construção de cidades e edifícios.

O meio pela qual a dominação sobre a natureza foi conseguida foi em grande parte através da ciência e tecnologia. Ambos estão no centro da prática arquitetônica. A tecnologia do edifício tornou o mais leve, mais eficiente e melhor integrado. Isso possibilitou uma maior eficiência no uso de energia, dos materiais, da água. Estes ganhos objetivos, entretanto, não se dirigem a realidade que está atrás do racional e científico. As cidades modernas, poluídas, caóticas e estressantes são um tipo de doença que reflete não somente a ambiental, mas também uma crise da condição humana.

Conceitualmente, a sustentabilidade busca não o domínio sobre a criação, mas uma delicada vigilância aos abundantes recursos da Terra. A base da definição da ONU de desenvolvimento sustentável é de que a raça humana não está separada do sistema global, porém integrada a ele através da disciplina da ecologia humana, social e ambiental.

Embora a face exterior da natureza pareça hostil e imprevisível, os homens atribuem significado para a vida, buscam uma introspecção mais profunda, que é diferentemente interpretada de acordo com cada cultura e religião.

Ainda que todos os povos dependam igualmente da natureza para sua subsistência, diversas são as atribuições a ela. A posição cristã sempre foi a de que a força superior estava além da natureza, a qual a humanidade teria controle. Os cristãos olham seu Deus através da natureza e, neste processo, dominam todas as coisas vivas.

Os gregos, por outro lado, olharam a natureza através dos deuses. O papel dos deuses era o de expressar as leis naturais e de serem seus intermediadores junto aos homens. O Classicismo celebrava a natureza como um objeto de harmonia e beleza.

No Brasil, o candomblé, religião afro-brasileira, cultua os orixás, as forças elementares oriundas da água, da terra, do ar, do fogo, entre outros elementos. Essas forças em equilíbrio produzem uma enorme energia (axé), que fornece ajuda para que o destino das pessoas seja mais favorável.

Nesta religião, quando se adoram os deuses, adorando-se as forças da natureza, pertencentes à criação do grande pai. A integração com a natureza é fundamental nesta crença, pois quanto maior o contato com ela, maior será o desenvolvimento, a energia, o 'axé' adquirido, portanto, maior será o elo 'cordão' de ligação com seu orixá, aproximando-o ainda mais de 'ólorum', o deus criador do universo.

A visão budista trata a natureza como arte, criando uma ilusão e distorcendo o mundo natural. A filosofia budista é um acordo entre o homem e deus, a natureza como um cenário perfeito para a meditação. Há uma interdependência entre a humanidade e o mundo em geral, uma harmonia interna e externa que coloca a natureza dentro de uma ordem cósmica maior. A posição Taoísta é outra vez completamente diferente: aqui há uma apreciação da natureza de forma estética. O mundo natural não é a realidade final, mas a preparação da humanidade para a beleza eterna da vida após a morte. A natureza é moldada, capturada e idealizada.

Em religiões xamânicas antigas, o xamã agia como um intermediador entre os espíritos dos povos do passado e do presente, dos lugares e das plantas. Ele possuía o poder de curar o povo e o ambiente, dentro de espaços especiais. Destes cresceram as construções culturais e sociais que colocaram a natureza dentro da condição humana. O conhecimento coletivo era essencialmente ecológico.

Estas interpretações gerais das diferentes religiões ajudam a explicar o paradoxo das atitudes modernas frente à natureza. Não há uma visão universal, mas uma série de traduções culturais. Conseqüentemente, não se pode esperar uma única leitura global da crise ecológica. Todos os povos interpretam a mudança da realidade climática e

natural de uma forma diferente. A arquitetura, especialmente a arquitetura sustentável, é influenciada necessariamente por fatores religiosos, sociais e culturais.

A maneira como os edifícios são vistos é central para o modo como são projetados. Santiago Calatrava (TZONIS, 1999) usa o olho como um exemplo da adaptação às diferentes condições externas. Nossa tarefa é a de ir além do racional, procurar uma arquitetura que seja algo vivo, que enriqueça a vida em diferentes níveis.

2.7 O Consumo

Como já foi visto na introdução, nos níveis atuais de consumo a espécie humana requer aproximadamente três planetas Terra para sustentar-se. As áreas de stress de recursos estão nos combustíveis fósseis, nas terras para agricultura, na disponibilidade de água potável, nas madeiras densas, na disponibilidade de peixes e, o mais importante, na questão do clima global. Enquanto a Terra é modificada para responder às necessidades humanas, há uma perda de espécies, de diversidade genética e de habitats virgens. O planeta está se transformando em uma enorme fazenda para suportar as cidades que crescem rapidamente. A destruição ecológica é evidente em toda parte e a raça humana prontamente aceita a extinção global de talvez 4.000 espécies ao ano a fim de reorganizar a terra em uma linha de produção que suporte suas próprias atividades.

As duas áreas de estresse iminentes de recursos, combustíveis fósseis e instabilidade climática, são ambas influenciadas diretamente por decisões realizadas pelo setor da construção civil. Os edifícios consomem a metade de toda a energia de combustível fóssil e a totalidade das cidades consome três quartos. As decisões de incorporadores, de arquitetos, engenheiros, de planejadores das cidades são cruciais à sobrevivência da humanidade e também dos sistemas naturais.

2.8 O Desafio

A evidência da existência do aquecimento global é devastadora. A ciência estabeleceu além da dúvida a correlação entre a queima de combustíveis fósseis e o aquecimento planetário. Uma evidência mais recente demonstra que outras atividades humanas estão acelerando a ascensão das temperaturas globais. Estas incluem a destruição das florestas (principalmente para fornecimento da indústria da construção) e o desperdício e a liberação associada a gases tóxicos. O aquecimento global é um fato incômodo para políticos, projetistas, para a indústria da construção, para os homens

em geral. É também uma realidade para muitas outras espécies que têm seus habitats destruídos pelas florestas, ascensão do nível dos oceanos e desertificação. Não é só o homem que está sob ameaça; todo o ecossistema é pressionado pelo aquecimento global.

Porém o aquecimento global é somente parte do desafio. O ano de 2000 marcou, pela primeira vez na história da humanidade, a população urbana excedendo a rural. Isto envolve não somente uma intensificação de problemas urbanos como a poluição, a aglomeração e a pressão sobre os recursos, mas também eleva a expectativa de vida. Com isso consomem-se mais e mais objetos pessoais como ar condicionado, automóveis e dispositivos consumidores de energia. Enquanto a espécie humana se torna mais urbana, ela consome mais e polui mais.

A grande pergunta atual para ecologistas é se o sucesso humano como uma espécie estará confinada pela escassez ou pela poluição de recursos. Os edifícios de hoje necessitarão acomodar a escassez de recursos do futuro. A poluição e a pressão intensiva nos espaços resultarão em um crescimento da população por sobre uma área geográfica cada vez menor: a cidade.

Durante a década passada a problemática do aquecimento global, com seus associados acordos internacionais (Rio, Kyoto), moveu-se para um interesse mais amplo em relação ao estado das cidades, do meio-ambiente e da saúde. Esta mudança é central à noção do desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade é intelectualmente mais interessante, profissionalmente mais desafiadora e nas questões de projeto mais exigente do que qualquer outra agenda. Emergiu como o novo limite da ciência, a base para inovadoras tecnologias e novas aproximações de projeto, um novo paradigma para a equidade social e a lente através da qual pode-se ver o desenvolvimento humano.

Os pioneiros (Fuller, Brundtland, the Vales) de uma arquitetura consciente em relação a questões ambientais enfatizaram a dimensão da energia no conceito de sustentabilidade. Isto permanece como um interesse primário por causa da crescente aceleração nos níveis de emissões globais de carbono. Mas o projeto eficientemente energético produz uma boa arquitetura? Há pouca evidência que conecte a estética à conservação de energia.

O fluxo humano às cidades é acompanhado por consequências adicionais para o projeto sustentável. A raça humana gasta hoje maior parte de seu tempo dentro de ambientes.

O habitat humano é essencialmente um interior. Os ambientes internos construídos afetam o homem em termos de sua saúde física e mental, por isso devem melhorar sua produtividade e a harmonia social. Os benefícios sociais estão começando a ser trazidos ao foco do novo milênio. Representam a fusão de uma base tecnológica, da sustentabilidade social, produtividade e coesão social baseados em um estilo de vida saudável. Também para arquitetos, o reconhecimento de uma dimensão social da sustentabilidade permite que os edifícios respondam a questões de projeto que vão além da questão energética.

Segundo Edwards (2001) diferentes projetistas aprenderam a empregar a ordem da natureza em suas próprias formas, desde Future Systems, à Norman Foster e Ken Yeang. Entretanto, a natureza como uma disciplina de projeto não é livre de problemas. A mistura da tecnologia e da ecologia possibilita gerar edifícios e cidades com impacto ambiental reduzido, e oferece aos arquitetos, uma ferramenta nova em busca de uma construção menos prejudicial.

Edwards postula cinco potenciais formas de utilizar a natureza como guia:

- Aprender com a natureza;
- Utilizar modelos da natureza;
- Tornar a natureza explícita. O projeto arquitetônico deve trazer a natureza à vista.
- Aprender a 'contabilidade' da natureza. Cada recurso, seja ele a água, materiais ou energia, é um valor a ser pesado de acordo com a escassez ou o impacto prejudicial ao meio-ambiente. A idéia da contabilidade baseada na natureza conduz à identificação de indicadores que são guias à boa prática.
- Cada espécie é um projetista.

Quadro 3. Síntese de alguns exemplos de projetos ao redor do mundo que se utilizam de uma linguagem que tem por referência a natureza. Fonte: EDWARDS, 2001.

LINGUAGEM DA NATUREZA	ARQUITETOS/ORGANIZAÇÃO	EXEMPLO
Aprendendo com a natureza	Fielden Clegg Bradley	Building Research Establishment Office, Watford
	ECD	Slimbridge Visitor Centre, Gloucestershire
	Thomas Herzog Lucien Kroll	German Pavillion, Hanover Expo
Usando os modelos da natureza para informar	Norman Foster	Ecolonia, Aalphen, Holland
	Future Systems	SwissRe Building, London
Tornando a natureza explícita	Santiago Calatrava	Media Centre, Lord's Cricket Ground, London
	Ken Yeang	Sondica Airport, bilbao, Spain
	Chetwood Associates	Shangai Armoury Tower, Pudong
	Richard Rogers	Sainsburys, Greenwich, London
Usando a natureza para a 'contabilidade' ecológica	Andrew Wright	Daimler Benz Building, Berlin
	Michael Hopkins	Holy Island Retreat, Scotland
	Ted Cullinan	Jubilee Campus, university of Nottingham
Toda espécie é um projetista	Novem, The Netherlands	Hooke Park, Dorset
	Building Research Establishment, UK	Eco-auditing system
	Department of the Environment, Transport and regions, UK	BREAM, Schools Environmental Assessment Method
	Kyoto Protocol, Japan	Opportunities for change
	Green building Council	Carbon trading
	Shamana	LEED
	Vernacular builders	Rural village plans
	Hunter-gatherers	Squatter housing
	Birds	Temporary jungle shelteres
	Insects	Weaver-bird nests
		Termite towers

2.9 A América do Norte

Segundo Barnett e Browning (1995) a arquitetura moderna produziu edifícios desconfortáveis e não econômicos e habitáveis somente com a ajuda de dispendiosos equipamentos para aquecimento e refrigeração. Segundo eles, os edifícios de hoje são melhores do que há 30 anos atrás, porém ainda gastam muito em energia e água. São situados e projetados sem a preocupação do clima local e por isso, gastam mais energia para compensar este fator.

A idéia do “desenho” verde não é nova. Por milênios, a maioria dos edifícios era, por necessidade, sustentável. A partir do último século, com a energia barata, grandes folhas de vidro e o ar condicionado, como exemplo, foram desenvolvidos, fazendo com que aquela arquitetura primitiva perdesse seus ancoradouros, esquecendo da

antiga verdade que os princípios mais importantes do desenho são ditados pela terra. Um edifício projetado para atender suas condições ambientais será naturalmente mais energeticamente eficiente e fará um uso elegante e econômico de materiais locais.

Os objetivos do projeto verde são os de produzir edifícios que se “utilizam” menos da terra e oferecem mais às pessoas, levando em conta:

1º. Diminuição dos efeitos, dos impactos e do desenho pobre usando a melhor combinação da arquitetura local com os avanços tecnológicos.

2º. Edifícios produtores de sua própria energia, comida, água limpa, ar e comunidades biológicas.

Segundo Barnett e Browning (1995) construir um projeto sustentável é também educar os parceiros, que em muito não compreendem o conceito. Novas idéias são vistas como heresia e é necessário convencer os céticos em relação à economia nos custos, a eficiência energética e a preservação ambiental. Segundo esta referência, conclui-se que um projeto sustentável visa:

① **Economizar Energia:** Mais de 30% do total de energia e 60% da energia elétrica nos EUA é consumida por edifícios. Eficiência de energia pode aumentar o conforto de qualquer edifício, beleza, silêncio, desempenho e produtividade dos empregados.

② **Economizar Água:** O encanamento pode reduzir o consumo e as contas de água, energia e esgoto. Eles também podem diminuir taxas enquanto eliminando a necessidade de represar rios ou ampliar instalações de tratamento de água e dejetos.

③ **Promover o desenvolvimento econômico:** Edifícios com recursos eficientes fortalecem o habitante, o estado, e economias nacionais, desde que os donos e inquilinos gastem menos dinheiro em energia importada e utilidades. Essa verba economizada fica na comunidade, apoiando trabalhos locais e negócios.

④ **Beneficiar a saúde e a produtividade:** Americanos gastam 80% do seu tempo em lugares fechados. Mas é difícil trabalhar inteligentemente em um edifício besta ou ficar saudável em um doente. Donos de edifícios comerciais “verdes” reportaram que melhoraram a produtividade de empregados e tiveram absenteísmo reduzido. Donos de casas “verdes” desfrutaram de qualidade de ar melhor e saúde.

⑤ **Reduz a poluição:** Economizando uma unidade de eletricidade economizam-se três ou quatro unidades de combustível, geralmente carvão, na rede de energia

elétrica. Queimando menos combustível reduz-se CO₂, o gás de efeito estufa, e SO_x e NO_x, que contribuem para chuva ácida.

⑥ **Proteger o meio-ambiente:** Pobremente projetados ou situados os edifícios podem danificar a paisagem, levar valiosas terras agrícolas a se tornarem improdutivas, e comprometer o habitat de vida selvagem.

Por outro lado, podem ser projetados a restabelecer e aumentar os habitats naturais. O uso de materiais reciclados ou sustentáveis também pode ajudar a proteger as florestas e espécies em extinção.

⑦ **Aumentar a segurança:** Edifícios "verdes" reduzem a dependência em recursos importados precários, melhora o equilíbrio de comércio e a competitividade e cria um mundo mais justo, de recursos mais abundantes.

⑧ **Beneficiar os descendentes:** Edifícios "verdes" o fazem sentir bem, não só porque eles são inerentemente mais confortáveis, mas também porque você está gastando menos dos recursos e oportunidades de seus netos.

2.9.1 Barreiras

"Whatever you can do, or dream you can, begin it.

Boldness has genius, power, and magic in it."

GOETHE, 1820

Mesmo com tantas vantagens para o desenvolvimento das construções verdes, porque não se constrói mais desta maneira? Embora este movimento esteja crescendo:

① O campo é extremamente novo;

② Existem barreiras quanto à logística e aos constrangimentos referentes ao tempo que os arquitetos e construtores enfrentam. Todos os projetos de edifício são complicados devido a licenças, programação, tempo, taxas de juros, custos de madeira e assim por diante. Devido a estes contratempos, resta pouco espaço na indústria da construção para qualquer coisa sugestiva de experimentação;

③ Há preocupação quanto à comercialidade. No mercado habitacional intensamente competitivo, o caminho mais seguro é o usual, o já construído e testado. Não há incentivo: muitos dos benefícios, embora não todos, tanto financeiros como outros relativos aos edifícios verdes, são destinados ao último dono, não diretamente ligados

ao construtor ou contratante. O último ponto é que construir um edifício verde é um novo desafio para uma indústria que frequentemente já se sente desafiada.

A agenda verde é ambiciosa, e pode ser intimidante para aqueles que a pretendem seguir. Edifícios sustentáveis requerem mais pensamento e planejamento do que os convencionais. É preciso um tempo adicional para dominar a riqueza deste novo conhecimento, as ferramentas de projeto, os produtos disponíveis no mercado.

E como efetivamente incorporar e viabilizar estas novas informações?

- ① O melhor modo é incrementar o processo sucessivamente.
- ② As prioridades em relação aos diferentes aspectos do “desenho verde” devem variar de projeto a projeto, de cliente a cliente.
- ③ Comprometimento em minimizar os impactos ambientais do projeto.
- ④ Garantir a eficiência energética.
- ⑤ Preocupar-se com a seleção dos materiais. Estes são difíceis de serem encontrados, selecionados, e normalmente são mais caros.

Um edifício apenas em parte verde é muito melhor que um convencional. Desta forma, devemos ir até o limite aonde vai a habilidade do projetista, o cliente e até aonde o projeto permite. Se as decisões economizam um pouco de madeira, um pouco de energia, ou um pouco de água, definitivamente o correto foi feito, e deve-se tentar atingir níveis mais exigentes da próxima vez.

2.10 As Ferramentas de suporte de projeto

Segundo Evans (2004), os projetos da arquitetura são geralmente concebidos, definidos e desenvolvidos como objetos visuais, expressando suas formas tridimensionais através de desenhos e de modelos. A ênfase visual no processo do projeto minimiza a importância do impacto ambiental. Por outro lado, a morfologia da arquitetura e os detalhes construtivos têm uma grande influência nas condições do edifício: impacto solar, luz do dia, custos de operação, ventilação natural, direito à luz, desempenho térmico e conforto ambiental interno.

O consumo de energia para aquecimento, refrigeração, iluminação, e ventilação e outras características ambientais do edifício são um resultado direto das decisões do projeto. A qualidade ambiental de espaços internos e externos depende tanto de elementos visíveis, como de fatores difíceis de serem visualizados, como padrões de

vento, fluxo de calor e convecção natural, resultantes da forma do edifício e das características tridimensionais do tecido urbano. Neste contexto, há uma necessidade de desenvolver técnicas, que permitirão à equipe de projeto visualizar, estudar e compreender os fenômenos ambientais. (EVANS, 2004)

Importante notar que as mais elevadas análises no nível sintético não resultarão em soluções arquitetônicas por elas mesmas, e sim devem estar integradas inteiramente às habilidades de um núcleo técnico que esteja habilitado para interpretar os resultados. Apenas a partir desta interpretação das informações resultantes do uso das ferramentas descritas para suporte do projeto, que se poderá descrever como este afetará o desempenho do edifício e assim então, realizar-se ao ajuste fino da seleção dos sistemas tecnológicos.

O objetivo é sempre trabalhar em harmonia com a visão de uma equipe de projeto que tem o intuito de alcançar a melhor alternativa de ajuste entre exigências aparentemente conflituosas como: vistas, luz natural, ofuscamento e controle solar, conforto térmico e qualidades ambientais internas, relação com o usuário, efetividade da ventilação e sistemas operacionais e energéticos eficientes.

Este trabalho visa demonstrar a maneira com que o uso destas ferramentas de suporte pode contribuir para o desenvolvimento do projeto, melhorando as condições para a sustentabilidade, controlando os impactos climáticos e fornecendo uma base quantificável que objetiva suportar o processo do projeto.

Segundo Souza (2004), entre as vantagens da utilização de ferramentas para a simulação experimental através de modelos físicos está:

- A adequação para condições de formas complexas;
- A facilidade de comparação entre soluções alternativas de projeto, através de componentes intercambiáveis, permitindo ainda avaliações quantitativas e qualitativas;
- A utilidade na validação de modelos computacionais;
- A familiarização para a maioria dos projetistas, estimulando a percepção e compreensão dos fenômenos físicos envolvidos;
- A utilização como instrumento de comunicação entre membros da equipe de projeto e ou projetista e cliente.

Ainda segundo a classificação da autora os modelos foram classificados quanto ao tipo de simulação, e criados quatro grupos principais: insolação, iluminação, ventilação e mistos, sendo este último criado em decorrência da existência de equipamentos que possibilitam diversos tipos de análise, como por exemplo, o *Termoheliodon*.

A partir desta classificação podemos ter uma idéia dos equipamentos utilizados para suporte de projeto, por grupo de análises, como por exemplo:

Insolação

- Relógio de sol;
- Heliodon de régua, com haste, PEC, com um arco, com três arcos, HPD modelo 126 ou de cúpula;

Iluminação

- Céu artificial;
- Sala de espelhos;

Ventilação

- Túnel de vento;
- Mesa de água;

Mistos

- Heliodon e Túnel de Vento conectados;
- Termoheliodon

O Heliodon, por exemplo, é um dispositivo que simula a trajetória do sol. É usado frequentemente para analisar o ofuscamento e para identificar a luz solar que penetra nos ambientes. O ofuscamento pode ser causado por reflexões da luz solar direta em paredes e em telas de computador.

Os simuladores de iluminação são ferramentas sofisticadas que reproduzem a luminosidade da abobada celeste em um ambiente fechado, podendo ou não simular a trajetória solar. Estes modelos de céu artificial possibilitam uma grande semelhança visual com o céu real e, alguns modelos, podem registrar tanto resultados da luz difusa como da iluminação solar direta.

Um modelo de céu artificial nos permite testar o desempenho da iluminação natural de um modelo em escala sob condições de céu nublado. Há hoje em dia os céus artificiais de múltiplas lâmpadas que são controlados computacionalmente e são capazes de criar toda a distribuição desejada do céu. Entretanto, estes céus são muito

caros tanto por seu valor de compra tanto por sua manutenção, e não são extremamente utilizados.

Figura 1. Representação do céu por caixa de espelhos e céu artificial de múltiplas lâmpadas com simulador da trajetória sol.

O céu artificial mais econômico é composto por caixas simples com espelhos na parte interna que difundem a luz pelo topo. São projetados para modelar um céu nublado padrão e possuem aproximadamente 3m². Tradicionalmente, os céus artificiais espelhados são usados para a análise de fator da luz do dia de modelos em escala.

Existem modelos mais novos, sofisticados e caros, que possuem muitas centenas de lâmpadas que são controladas individualmente por um computador. Estes céus podem ser programados para modelar quaisquer distribuições de céu. Uma pré-programação pode permitir uma simulação dinâmica de um dia inteiro ou por diversas estações. Às vezes simuladores da trajetória do sol são incorporados ao céu, permitindo os estudos da penetração do sol, que são feitos outrora por heliodons.

Em relação à ventilação, podemos citar o túnel de vento. Segundo Prata (2005), os ensaios em túnel de vento são utilizados para a verificação dos efeitos do vento decorrentes de modificações em espaços abertos, em grupos de edifícios, dispersão de poluentes ou odores, segurança e conforto dos pedestres, bem como para a análise estrutural de edifícios e a propagação de emissões veiculares, como para garagens e indústrias.

Segundo a autora, arquitetos e planejadores estão tomando consciência da necessidade de requerer informação a respeito das prováveis condições de vento ao redor dos edifícios propostos, ainda na fase de projeto (FERREIRA, et al., 2002 apud PRATA 2005).

Túneis de vento podem auxiliar o projetista em relação aos níveis requeridos de conforto que considere características do vento, como velocidade, direção entre outros parâmetros, e facilitam na tomada de decisões para um melhor ajuste para questões de clima urbano, ventilação e higiene do ar.

Uma outra função importante do túnel de vento, assim como as outras ferramentas apresentadas, é que pode ser utilizado para fins didáticos e de pesquisa. A visualização do efeito do vento nos edifícios ou no contexto urbano torna o aprendizado significativamente mais direto do que a transferência de conhecimento apenas de forma teórica.

Já o uso de ferramentas analíticas especializadas tais como as apresentadas a seguir, pode apoiar as decisões de projeto, ajudando a avaliar as implicações ambientais de diferentes alternativas, além de fornecer meios para ajustar as metas de desempenho para edifícios novos ou revitalizações de edifícios existentes.

Segundo Bosselmann et al (1995 apud PRATA, 2005) a relação entre a forma da cidade e o clima é intuitiva e a inserção de novos edifícios, não é facilmente compreendida. Os autores escrevem que a combinação de técnicas experimentais e computacionais é necessária para a predição das condições de conforto.

Algumas das ferramentas disponíveis foram desenvolvidas especificamente para o uso já em estágios adiantados do projeto e podem ter uma aplicação limitada para um desenvolvimento detalhado, enquanto outras já oferecem uma análise mais minuciosa. Poucas das ferramentas disponíveis tratam de todas as tarefas e operações abrangidas por um projeto de melhor desempenho ambiental, sendo na maior parte delas projetadas para tratar especificamente de um processo de avaliação, como por exemplo, ferramentas que apenas lidam com a avaliação da ventilação.

As ferramentas mais extensamente utilizadas entre as que tratam da avaliação térmica têm sido cada vez mais direcionadas para que o projetista possa visualizar tridimensionalmente o modelo (e desta forma também se estuda o acesso solar e o projeto das proteções solares) e a ventilação natural e o ganho solar, que são de importância crítica no projeto contemporâneo do edifício.

Com computadores cada vez mais potentes há uma tendência contínua de integração entre as simulações. Cálculos que necessitavam a noite toda de simulações alguns anos atrás, hoje já são executados em alguns minutos.

Não obstante, ainda há uma discrepância entre a realidade dos projetos concebidos pelos projetistas da exatidão promovida pela maioria das ferramentas atuais. Por exemplo, uma ferramenta pode permitir a visualização 3-D (em terceira dimensão) das sombras e avaliar a radiação incidente nas superfícies em seus cálculos de radiação solar, porém pode ignorar completamente estes mesmos aspectos provenientes da iluminação solar dos edifícios.

Resultados razoavelmente exatos e úteis podem ser produzidos mesmo por ferramentas mais simples, e fornecerem aos usuários a compreensão dos processos envolvidos, as potencialidades e limitações da ferramenta. É especialmente importante conhecer os processos que são ignorados e os que são considerados para a produção dos resultados.

Dentre as simulações mais complexas está a compreensão do movimento dos fluidos, que é fundamental para simulações aplicadas na engenharia e na arquitetura. Até recentemente, estudos de fluido em movimento estavam confinados a laboratórios, mas com o rápido crescimento da capacidade de processamento de computadores pessoais e programas aplicativos, agora trazem análises e soluções numéricas de problemas de fluxo ao alcance do usuário. A ferramenta CFD – *Computational Fluid Dynamics* - se tornou uma parte integrante de projeto de engenharia e do ambiente de análise de muitas companhias devido à sua capacidade de prever o desempenho de novos projetos ou processos antes que estes sejam sequer produzidos ou implementados (PRATA, 2005).

Segundo Shaviv *et al* (2001 apud PRATA, 2005) para projetos com preocupações quanto ao micro clima e ventos, hoje existem apenas ferramentas avaliativas. Estas são estudos em túneis de vento ou ferramentas de simulação de CFD. Os modelos CFD são muito poderosos e requerem cálculos intensos, mas fornecem resultados detalhados que podem mostrar claramente os defeitos em projetos sugeridos. Como resultado, uma nova alternativa pode ser pensada e reavaliada até que um projeto bom e satisfatório seja obtido.

O *Ecotect* é um aplicativo desenvolvido pela *Square One Research*, Austrália, disponível para *download* na *internet*³, que permite realizar cálculos e análises de iluminação natural e artificial, radiação, térmica, acústica e estudos de sombras.

3 **Square One Research**. Disponível em: <<http://www.squ1.com>>. Acesso em: out.2004.

Possui um sistema de modelagem 3D (em três dimensões) próprio, de fácil compreensão e telas interativas de informações, que entre outras coisas permitem aplicar materiais de seu banco de dados ou criar novos materiais (LUZ, 2005).

O *Ecotect* possibilita, dentre outras coisas, o entendimento quanto à insolação, às condições de uma dada área em sua situação atual e às alterações de projeto.

Figura 2. Imagens resultantes de simulações do *Ecotect*. Trajetória aparente do sol, análise de iluminação natural e radiação solar incidente nas superfícies externas do edifício.

A modelagem pode ser feita no próprio *Ecotect* ou ser importada de aplicativos que gerem arquivos com extensões *3DS* ou *DXF*, porém quando o arquivo é importado verificam-se alguns problemas dependendo da complexidade deste. Por vezes, os resultados são distorcidos por imperfeições no processo de migração, sendo difícil e trabalhoso identificar e corrigir tais imperfeições. Recomenda-se que toda a modelagem seja feita no *ECOTECT*, assim como a aplicação dos materiais. Podem-se importar desenhos 2D de referência, com extensão *DXF*, para facilitar a modelagem (LUZ, 2005).

A simulação e análise dos resultados podem ser feitas no *Ecotect*, mas é possível também, após a modelagem, exportar os dados para outros aplicativos com modelos matemáticos e de análise mais sofisticados, procedimento este que é recomendado na documentação técnica do *ECOTECT* como forma de se obter resultados mais precisos (LUZ, 2005).

A ferramenta Tas foi desenvolvida na Inglaterra no Instituto Cranfield em 1994, e tem sido comercializada desde então. Porém, já é aplicada há vinte anos em seu país de origem e ao redor do mundo. Possui boa reputação em relação a sua robustez e uma ampla gama de capacitações. Apresenta uma interface gráfica elaborada e tem como ponto forte a realização de balanços de trocas térmicas de vários ambientes simultaneamente, considerando, instante a instante, as trocas de massa de ar entre

os ambientes. Isto gera um conjunto de equações com as temperaturas do ar como incógnitas, que são resolvidas simultaneamente.

Figura 3. Tas modeler e Tas Ambiens. Ambas as imagens do endereço eletrônico do Tas.

Para poder implementar este esquema de cálculo, as trocas térmicas por radiação são linearizadas, considerando-se uma temperatura de referência de 15°C , que pode ser adequada para condições de inverno, mas subestimada para situações de verão. Outra simplificação adotada no balanço da radiação térmica por onda longa está no processo de cálculo que não considera, simultaneamente, as trocas entre as vedações. Porém é realizado de forma seqüencial, elemento por elemento, trocando calor com uma “temperatura radiante média”, determinada com base nas temperaturas superficiais originadas por cálculos anteriores.

Além do exposto acima, pode-se dizer que o Tas é um conjunto de aplicativos unidos em um software, os quais simulam o desempenho térmico dinâmico dos edifícios e de seus sistemas. O módulo principal é chamado *Tas Building Designer*, uma ferramenta gráfica que executa a simulação dinâmica do edifício com o fluxo de ar natural e/ou forçado.

O segundo aplicativo é o *Tas Systems*, que simula sistemas e controles de ar-condicionado e pode ser diretamente atrelado ao simulador principal do edifício. Neste módulo é possível prever a demanda de energia total do prédio. O terceiro módulo é o *Tas Ambiens*, um pacote simples e robusto que usa gráficos 2D do CFD e produz uma secção com dados da variação do micro clima no interior de um edifício. Este software é uma ferramenta para a simulação térmica de edifícios novos ou existentes, e permite que os profissionais de projeto comparem estratégias de aquecimento e resfriamento, além de projetos de fachadas, para promoverem conforto ambiental,

dimensionamento dos equipamentos e demanda de energia.

Os dados das simulações são extraídos do modelo 3D do Tas e criam uma rede de fluxos de ar entre ambientes gerada automaticamente.

Também pode-se citar o programa *Energy Plus*, financiado pelo governo americano com base nos melhores recursos do BLAST (modelagem da edificação) e DOE-2 (modelagem dada aos sistemas de condicionamento de ar). Esta fusão dos programas foi batizada pelo Departamento de Energia dos EUA como "*Energy Plus: The official building simulation program of the United Department of Energy*". Seus algoritmos podem ser conferidos no extenso manual teórico disponível no sitio do governo americano, Building Technologies Program: Energy Plus. Disponível em: <<http://www.energyplus.gov>>.

Figura 4. Figura esquemática de um modelo de uma zona com as informações quanto às superfícies. À direita imagem da tela do editor IDF. Ambos do manual do *EnergyPlus*.

Basicamente, pode-se dizer que a modelagem matemática empregada utiliza o menor número de hipóteses simplificadoras entre todos os softwares disponíveis, permitindo, nos modos de simulação mais detalhada, a melhor representação física das trocas térmicas no interior dos recintos.

É um programa de simulação energética de edificações para modelar o aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia. Inclui também algumas características inovadoras como: intervalos de tempo para análise (*time-step*) menores do que uma hora, simular em módulos o ar-condicionado baseado em

múltiplas zonas de fluxos de ar e até sistemas fotovoltaicos.

Atua como uma ferramenta importante de simulação térmica e de equipamentos tanto para edifícios em fase de projeto, quanto para edifícios existentes que precisam quantificar e qualificar suas estratégias passivas ou ativas. Possui capacidade de modelar vários tipos de instalações de condicionamento de ar, desde simples sistemas unitários, até sistemas centrais com múltiplos climatizadores e estratégias de controle.

Apesar do *Energy-Plus* não possuir nenhuma interface gráfica, seus resultados são gerados como arquivos de texto capazes de serem tabulados em outras plataformas. As interfaces gráficas que estão sendo desenvolvidas por terceiros não foram avaliadas neste trabalho.

Acompanhamento de Projetos

Após o conhecimento da existência e aplicação de muitas ferramentas que podem servir de apoio ao processo de projeto de arquitetura, faz-se essencial seu emprego.

Abaixo é demonstrado como é possível o levantamento de dados e investigação quanto ao uso destas ferramentas durante o processo de projeto, tal como foi realizado pelo Prof. Julian Martin Evans no *Centro de Investigacion Habitat Y Energia* da Universidade de Buenos Aires na Argentina. O modelo utilizado por ele pode ser visto na Quadro 4 e pode ser modificado para atender ao contexto do projeto a ser empregado.

Quadro 4. Tabela de avaliação dos projetos de acordo com Evans (2004).

Projeto	Escala			Equipamento				Clima			Aplicação		
Localização, tipo de edifício e arquiteto	Urbana	Arquitetônica	Construção	Heliodon	Túnel de vento	Céu artificial	outros	Quente	temperado	Frio	Pesquisa	Construção existente	Projeto/Concurso
Edifício A		•		•					•				
Edifício B		•		•					•			•	
Edifício C		•		•	•	•		•				•	

Uma sugestão para a tabela a ser utilizada na avaliação dos projetos é um campo de softwares utilizados, além de uma associação entre a utilização destas ferramentas e a etapa de projeto que estas foram empregadas. No

Quadro 5 pode-se visualizar as modificações sugeridas.

Quadro 5. Tabela com sugestões de modificação na avaliação dos projetos.

Projeto		Intervenção			Equipamento				Softwares				
Tipologia do edifício	Etapas	Urbana	Nova Construção	Reabilitação	Heliodon	Túnel de vento	Céu artificial	outros	Insolação	Iluminação	Ventilação	Térmica	outros
Localização													
Arquiteto													
Edifício A	AP			•	•				•			•	
	EP		•			•	•			•			
	EXEC					•							

3 IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS DA ESCOLHA DOS SISTEMAS APLICADOS À ARQUITETURA

3.1 Energia

As ações humanas sempre demandaram energia, porém essa necessidade vem aumentando a cada dia.

O grande salto se deu a partir da Revolução Industrial, mais precisamente no ano de 1769 com a invenção da máquina a vapor de Watt, que tornou possível ao homem produzir grandes quantidades de energia. No final do séc. XIX, o trabalho humano constituía 94% de todo o trabalho industrial nos Estados Unidos, hoje, apenas 8%. (LOMBORG, 2002).

Devido aos avanços tecnológicos e a escassez de recursos (ou vice-versa), a utilização de combustíveis para a produção de energia foi sendo substituída. Inicialmente fazia-se grande uso da madeira, até a perda quase total das florestas da Inglaterra. Logo depois a madeira foi substituída pelo carvão e daí para o petróleo, sempre devido a melhores benefícios conseguidos economicamente, tais como transporte, armazenamento e uso.

Figura 5. Estágios de desenvolvimento e consumo de energia. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.

Figura 6. Representação da variação de temperatura global. Desde 1900, a média das temperaturas mundiais aumentou mais que um grau inteiro. Fonte: HAWTHORNE, 2003

Segundo Lomborg (2002), a substituição dos combustíveis renováveis por não renováveis se deu, simplificada, devido à baixa competitividade dos primeiros no mercado. A eficiência em termos energéticos ainda não compete. O uso de

combustíveis fósseis ainda detêm uma sólida liderança em pesquisa e desenvolvimento e por isso tornam-se com o tempo, cada vez mais eficientes.

Desta forma com o interesse das lideranças políticas na investigação de tecnologia, a sociedade estará preparada para uma nova e real mudança no uso dos combustíveis, pois a mudança ocorre quando realmente encontram-se benefícios superiores. Lomborg escreveu: *“... assim como a Idade da Pedra terminou não por falta de pedras, a era do petróleo um dia terminará, mas não por falta de petróleo. Pelo contrário, ela terminará devido à disponibilidade futura de alternativas superiores”*.

O uso de combustíveis fósseis está sim com os dias contados. Sabe-se que as reservas de petróleo durarão por mais quarenta anos, o gás mais sessenta, o carvão mais duzentos e trinta, e por isso este trabalho se apresenta na tentativa de conhecer as possibilidades de uso de novas fontes e processos para a produção de energia. Afinal a energia continuará a ser cada vez mais necessária para o desenvolvimento e as atividades humanas no Planeta Terra.

3.1.1 Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento

De acordo com Goldemberg (1998) a energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento, que é uma das aspirações fundamentais da população dos países da América Latina, Ásia e África. O consumo de energia *per capita* pode ser usado como um indicador da importância dos problemas que afetam estes países, onde se encontra 70% da população mundial.

Figura 7. IDH versus consumo anual de energia per capita (1991-1992). Modificado de GOLDEMBERG, 2003.

Figura 8. Representação da distribuição global de renda. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.

Segundo o autor, na maioria dos países nos quais o consumo de energia comercial *per capita* está abaixo de uma tonelada equivalente de petróleo (TEP) por ano, as taxas de analfabetismo, mortalidade infantil e fertilidade total são altas, enquanto a expectativa de vida é baixa. Ultrapassar a barreira 1 (um) TEP/*capita* parece ser, portanto, essencial para o desenvolvimento. À medida que o consumo de energia comercial *per capita* aumenta para valores acima de 2 TEP (ou mais), como é o caso dos países desenvolvidos, as condições sociais melhoram consideravelmente. O consumo médio *per capita* nos países industrializados da União Européia é de 3.22 TEP/*capita*. A média mundial é de 1.66 TEP/*capita*.

Nota-se que a energia é essencial para o desenvolvimento, mas o que acontece com o impacto ambiental associado? Pode-se ver nas figuras apresentadas a seguir que o impacto ambiental é indissociável ao desenvolvimento, porém seus efeitos são diferentes em relação ao estágio de cada país. De maneira geral, quanto menor o desenvolvimento maior o impacto ambiental local, como é o caso do Brasil, como contaminação dos rios, do solo, concentração de material particulado no ar, entre outros. Já os países mais ricos possuem um impacto maior no aquecimento global, provocado por excessivas concentrações de CO₂ na atmosfera.

Figura 9. Impactos ambientais em função da renda. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.

Figura 10. Indicadores ambientais em diferentes níveis de renda dos países. Ao centro, representação da relação entre as concentrações urbanas de matéria particulada e a renda per capita. À direita, representação da relação entre emissões CO₂ per capita e a renda. Fonte: GOLDEMBERG, 2003.

Desta forma, existe o desejo de atuar mais coerentemente para soluções autênticas, devem-se possuir estratégias específicas para o desenvolvimento mais sustentado do Brasil, com o uso de tecnologias que não resultem em tantos problemas ambientais urbanos básicos, como visto anteriormente, e que promovam mais qualidade de vida.

3.1.2 Conceitos Gerais. Energia Renovável e Eficiência Energética

A energia renovável refere-se aos recursos energéticos que ocorrem natural e repetidamente na natureza, podendo deste modo ser aproveitada para benefício humano. Exemplos de sistemas energéticos renováveis incluem: o solar, eólico e geotérmico. Também é possível aproveitarmos a energia renovável das árvores, plantas, rios, como também do lixo.

A energia renovável abrange muitos tipos diferentes de tecnologia em estágios distintos de desenvolvimento e comercialização, desde a queima da madeira para o aquecimento no setor residencial (tradicional e de baixa tecnologia) à eletricidade gerada pelo vento (difundida e comprovada tecnicamente) e aos processos tais como a biomassa para a geração de eletricidade.

Atividade humana de maior impacto sobre o meio-ambiente, a indústria da construção, particularmente construção, operação e demolição de edifícios, segundo (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2004), possui grande responsabilidade no panorama ambiental global. Enquanto a economia e a população continuam a se expandir, os projetistas e construtores têm o dever de enfrentar um desafio sem igual na demanda de conhecimento em novos ou renovados mecanismos que sejam acessíveis, seguros, saudáveis e produtivos, enquanto minimizando seu impacto ambiental (WHOLE BUILDING DESIGN GUIDE, 2004). A consciência do projetista em relação às possibilidades de um uso de energia mais sustentável é praticamente um dever nos dias de hoje.

Os benefícios de um projeto eficientemente energético são: econômicos, na redução de gastos; sociais, na redução da escassez de combustível; e ecológicos, na redução da exploração e de recursos e emissão de resíduos. Para cada novo projeto é ideal que haja uma estratégia explícita em relação à utilização de energia, sempre tendo em vista um planejamento de como estes benefícios poderão ser atingidos.

As barreiras de mercado para a efetiva implementação do uso de energia renovável no país, realmente vêm de encontro à falta de competitividade destas em relação às convencionais, já que nestas não estão embutidos os prejuízos ambientais. Além disto, são necessárias políticas fiscais que promovam o desenvolvimento e a utilização destas tecnologias. Soma-se a esses obstáculos o baixo valor de compra de energia produzida convencionalmente pelos operadores.

Figura 11. Ilustração das emissões de CO₂ norte-americanas por setor. Enquanto os níveis de emissão de gás carbônico produzidos pela indústria permanecem fixos, os níveis produzidos pela ação da arquitetura estão aumentando, o que sinaliza uma necessidade urgente de uma mudança difundida pelos arquitetos no modo de projetarem os edifícios. Fonte: HAWTHORNE, 2003.

Figura 12. Representação do consumo de energia norte-americano por setor. Uma reorganização de dados existentes combinando a energia exigida na produção de edifícios residenciais, comerciais, e industriais, junto com a energia incorporada de materiais produzidos pela indústria, como tapete, azulejo, e hardware, expõem a arquitetura como um poluidor mascarado. Fonte: HAWTHORNE, 2003.

Simulações computacionais do desempenho energético do edifício podem ser usadas para se avaliar medidas de conservação de energia desde o início do processo de projeto. A equipe deve colaborar desde o início do projeto conceitual para gerar conceitos alternativos para a forma do edifício, sua envoltória e os espaços abertos, sempre focando na minimização dos picos de carga de energia, demanda e consumo.

A simulação energética pode ser usada para se avaliar a eficácia da conservação de energia e seus custos da construção. Normalmente um projeto eficiente no uso da luz natural, no isolamento, na eficiência luminosa, na escolha correta dos vidros, entre outras medidas, resulta na redução de carga para o aquecimento e refrigeração, permitindo o uso de sistemas e equipamentos menores e mais baratos, tendo por resultado nenhum, ou quase nenhum aumento no custo da construção, em relação a projetos convencionais. As simulações são usadas para 'refinar' os projetos e assegurar que os objetivos de conservação de energia e custos serão contemplados; como também para demonstrar a conformidade com exigências regulatórias.

3.1.3 Programas nacionais para o uso sustentável das fontes de energia

Os programas e ações para o desenvolvimento sustentável visam incentivar o uso de energias renováveis e a conservação e eficiência energética e são responsáveis pelo engajamento do país em longo prazo na busca de uma matriz energética “limpa”, com pequenas emissões de gases de efeito estufa.

Esses programas têm por objetivo a redução de perdas e a eliminação de desperdícios na produção e no uso de energia, além da adoção de tecnologias de maior eficiência energética, contribuindo para evitar investimentos em novas centrais elétricas ou refinarias de petróleo.

Dentre estes programas, destacam-se:

- O Proálcool: Programa Nacional do Álcool, desenvolvido em 1975 para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando da crise do petróleo;
- O PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, programa de governo que, desde 1985, desenvolve uma série de atividades de combate ao desperdício de energia elétrica; e
- O CONPET: Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural, que foi criado em 1991 com a finalidade de desenvolver e integrar as ações que visam à racionalização do uso de derivados de petróleo e do gás natural.

Devido à principal fonte energética brasileira ser hidroelétrica, deve-se ressaltar que a geração de energia elétrica existente no país é basicamente não-emissora de gases de efeito estufa. Cerca de 90% da produção de energia elétrica no ano de 2000, ou 301,4 TWh, foram de origem hidráulica. Em função desses valores, o setor elétrico brasileiro assume características especiais, não só como um dos maiores produtores mundiais de energia hidrelétrica, mas também pela baixa participação na emissão de CO₂.

No entanto, isto não significa que esta matriz não causa impactos sócio-ambientais de grande escala, além do fator de que estas emissões vêm crescendo nos últimos anos. Desta forma programas e ações relacionados ao desenvolvimento sustentável devem ser prioridade para um futuro mais seguro do Brasil.

3.1.4 Tecnologias

O interesse na compilação das tecnologias de uso eficiente de energia mais recentes a serem aplicadas aos edifícios contemporâneos, se deu com o intuito de ampliar o horizonte das possibilidades a serem exploradas desde o projeto da arquitetura.

Ficaria bastante difícil a inserção do conceito de desenvolvimento sustentável aos novos projetos de edifícios sem um conhecimento mais apurado a respeito das mais avançadas alternativas em nível internacional e a possibilidade de serem aplicadas em território nacional.

Deste modo foram compiladas informações atualizadas a respeito das novas tecnologias de uso eficiente da energia em edifícios, embasada na recente publicação de Smith, 2003, *Sustainability at the Cutting Edge - Emerging Technologies for low energy buildings*. Houve um grande esforço na tentativa de se criar um panorama nacional em relação à aplicação de cada uma destas alternativas, para que assim o Brasil possa explorar soluções viáveis para a sua problemática.

Desta forma, segue o resultado das informações obtidas na pesquisa.

3.1.4.1 Energia Solar Térmica

A radiação solar é o recurso renovável de maior potência existente no planeta. De acordo com Smith (2003), caso 1% dos desertos existentes no planeta fosse coberto por coletores solares térmicos, seria possível suprir 100% da demanda mundial de energia. Segundo Fraidenraich (2002) a energia solar térmica está hoje no Brasil restrita às regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, onde os coletores solares já contribuem com 10 % do consumo residencial de energia térmica, podendo chegar a contribuir, nas próximas décadas, com uma fração igual ou maior que 22 % do consumo total.

3.1.4.1.1 Aquecimento Solar

Figura 13. À esquerda. Aquecedor Solar. Fonte: CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005.

Figura 14. À direita. Aquecedor Solar de Baixo Custo. Fonte: SOCIEDADE DO SOL, 2005.

Existem dois sistemas básicos para o aquecimento solar: os coletores planos e os tubulares a vácuo. Os primeiros consistem em painéis de metal revestidos por um material escuro, coberto por vidro ou plástico. Por trás dos painéis, posiciona-se o encanamento onde passará a água ou o ar, que se aquecerão devido à radiação solar que é absorvida pelo sistema. Estes coletores chegam a aquecer a água em torno de 350°C e são muito bem empregados quando fornecem água pré-aquecida para o reservatório do aquecedor a gás (boiler) ou para o aquecedor de passagem.

Internacionalmente os painéis fotovoltaicos já vêm sendo incorporados para o fornecimento de energia para a bomba de circulação, tornando assim o sistema uma opção livre do uso de combustíveis fósseis.

O sistema tubular, como um boiler solar, funciona com um tambor interno isolado em aço inoxidável, cobre ou aço carbono pintado em epóxi, nas capacidades de 50 a 5.000 litros nos modelos horizontal e vertical. A água se aquece em torno de 600°C, podendo ultrapassar este valor. Deste modo pode funcionar sem mais nenhum complemento para o aquecimento, sendo mais bem indicado para climas mais frios. Para o melhor desempenho deste sistema, pode ser associado com um reservatório que estoque o excesso de calor do verão para complementar o aquecimento no inverno.

Desde o ano de 1977, a IEA – International Protection Agency – tem realizado um programa para a implementação da energia solar, principalmente para a aplicação em edifícios, com diversas iniciativas para projetos solares passivos, ativos e tecnologias

fotovoltaicas. O Brasil infelizmente ainda não participa deste programa, porém há tímidas iniciativas como a da ONG - Organização Não Governamental – Sociedade do Sol, de São Paulo, que concebe tecnologias ambientais de baixo custo. Uma das iniciativas principais é o Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC), uma tecnologia adequada aos climas tropicais e subtropicais, para pré-aquecer a água do chuveiro elétrico através da energia presente na luz solar. A iniciativa visa o acesso socioeconômico para a população de baixa renda, que já utiliza o chuveiro elétrico. Os coletores são de PVC- Policloreto de Vinila - sem os tradicionais isolamentos e coberturas de vidro que geram um aquecimento suplementar da água. Isso evita atingir altas temperaturas nos coletores e conseqüentemente de deteriorar o PVC. Desta forma este sistema não é adequado para climas frios.

Para o desenvolvimento deste sistema foi estudado o contexto brasileiro, onde se percebe que quase todas as construções possuem caixas de água. A água da rede pública é armazenada nesses reservatórios e em seguida distribuída aos pontos de utilização. Também foi observado que as canalizações de água fria e de evacuação das águas servidas são quase sempre de PVC, permitindo a compra desses componentes plásticos a um custo muito baixo.

Geralmente a água utilizada para os banhos é aquecida por chuveiros elétricos, que possuem 110 ou 220 Volts de potência e resistência de 3.000 a 8.000 Watts. Isto representa 30% da conta de energia elétrica de uma residência, o que torna interessante o uso do ASBC para a redução da demanda de energia para o aquecimento da água junto à rede pública.

Outra iniciativa brasileira de difusão do uso da energia solar vem do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESERB), que visa promover o desenvolvimento das energias solar e eólica através da difusão de conhecimentos, da ampliação do diálogo entre as entidades envolvidas e do estímulo à implementação de estudos e projetos. Esta iniciativa foi resultante de um encontro para definição das diretrizes para o desenvolvimento das energias solar e eólica no Brasil, realizado em 1994.

Enquanto a tecnologia solar de aquecimento é uma das opções mais baratas, ainda não há uma relação de custo-benefício positiva em relação à energia convencional, com um retorno ainda em torno de 20 anos. Segundo Smith (2003), este mercado pode crescer caso haja suporte governamental, seja ele direto ou indireto. Para novos

edifícios, já se encontram no mercado módulos facilmente aplicáveis às construções, com preços razoavelmente moderados.

A partir da bibliografia consultada verifica-se que o uso da energia solar reduz o custo de aquecimento de água a baixa temperatura e o investimento na geração e na distribuição de eletricidade, sendo assim, vantajoso para o usuário e para a concessionária de energia elétrica. Apesar dos incentivos em escala mundial ou regional, o investimento inicial na instalação solar é maior do que o correspondente em outras modalidades de aquecimento, inibindo a iniciativa do usuário em substituir o chuveiro elétrico pelo solar. A solução verificada seria a combinação entre a capacidade de investimento das empresas de eletricidade com a disposição de investimento do usuário.

3.1.4.1.2 Eletricidade Solar Térmica – Sistema Termosolar

Figura 15. À esquerda. Parabolic Trough Collector. CALIFORNIA ENERGY COMISSION, 2005.

Figura 16. À direita. Parabolic Sundish with Stirling. NATURAL RESOURCES, 2005.

Há quatro elementos chave para produção de energia solar térmica. O coletor, que captura e concentra a radiação solar em estruturas disponibilizadas horizontalmente em linhas paralelas (*parabolic trough collector*) ou em torres parabólicas (*power tower*); o receptor, que absorve a energia solar concentrada transferindo o calor para um fluido; o transporte/armazenagem, que conduz o fluido do receptor para o conversor onde a energia térmica é transformada em mecânica; e a conversão de energia, fase onde se transforma a energia mecânica em elétrica.

A temperatura de operação do sistema é o que determina o fluido térmico utilizado no processo, além de considerações de custo-benefício e de segurança operacional. Estes

fluidos podem ser: óleos térmicos, vapor, misturas de sais, sódio líquido e o ar (hélio) (REIS, 2003).

A maior crítica em relação a este sistema é de que ele só é eficiente durante o dia. Porém pesquisas recentes⁴ estão sendo desenvolvidas em um sistema que consiste em um coletor solar que focaliza a radiação para um reator termoquímico que contém amônia. A amônia sob um intenso calor é quebrada em hidrogênio e nitrogênio, que se armazenam nas tubulações de gás natural em temperatura ambiente. Quando requeridos, os gases são recombinados usando-se um reator industrial que sintetiza a amônia. Os 500°C de calor gerados para esta recombinação são utilizados para gerar vapor, que é direcionado para o sistema convencional de energia. Isto faz com que os gases circulem constantemente em um sistema fechado.

A maior vantagem dos sistemas solares térmicos é o de poderem ser integrados aos sistemas convencionais de geração de energia, o que pode facilitar o suprimento adicional requisitado pelo crescimento da demanda mediante a utilização de fontes renováveis.

Esta tecnologia ainda sofre resistência para sua efetiva aplicação fora do setor, tendo por resultado determinados jogos políticos que inibem a inovação. Contudo existem indicadores que demonstram incentivos no sentido contrário, como os coletores solares, que devem transformar-se em um artigo comum, padronizado em módulos e conectores baseados na demanda por água quente por pessoa. A tendência é que os procedimentos para a instalação destes sistemas simplifiquem cada vez mais, ampliando assim sua aceitação pelo mercado.

No Brasil, embora muito empregado na construção de medidores de temperatura, o uso comercial do sistema termelétrico para a geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados do material (ANEEL, 2002).

⁴ Australian National University. Dr. Ketih Louvegrove e Dr. Andreas Luzzi.

3.1.4.1.3 Piscinas Solares

Figura 17. À esquerda. Piscina solar de El Paso, Texas, EUA. Fonte: GUEDES, 2001.

Figura 18. Superior à direita. Corte esquemático de piscina solar. Fonte: POND DOCTOR, 2006.

Figura 19. Inferior à direita. Corte esquemático de piscina solar. Fonte: MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2006

Uma alternativa desenvolvida no Brasil pelo engenheiro eletricitista José Roberto Abbud em seu mestrado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo é o projeto Piscina Solar em Ciclos Combinados. Já desenvolvido em outras partes do mundo, a piscina solar de gradiente salino é um recipiente de água salgada com um isolante térmico no fundo e camadas horizontais com diferentes concentrações de sal. Isto impede que as camadas superiores de água quente desçam e as inferiores, frias, subam para a superfície, devido à diferença de densidade. Desta forma, o calor fica armazenado e permite produzir energia térmica mesmo à noite, com o tempo nublado, ou no inverno, o que significa uma vantagem em relação aos coletores solares, que precisam constantemente da luz. Na primeira etapa, o calor armazenado é utilizado apenas para esquentar a água, em seguida, em um sistema acoplado a um turbo gerador alimentado por uma solução de água e amônia, este produz energia elétrica quando utilizado. O calor armazenado no fundo da piscina provoca a mudança de estado da solução, gerando vapor sob pressão, o qual aciona o gerador e produz energia elétrica.

Estas piscinas solares podem abastecer de casas populares a indústrias, e seu tamanho pode variar de uma caixa de água a vários campos de futebol. Pode ser

construída em qualquer lugar que receba radiação solar, com melhor aproveitamento em latitudes menores que 40° e abaixo do nível do solo.

O pesquisador ressalta a possibilidade de se usar as piscinas solares para acelerar o processo de decomposição do lixo que, resultando em gás metano, também pode ser utilizado para iluminação, combustível para geração de vapor e produção de água potável. Além disto, o hidrogênio presente nesse gás pode ser separado para alimentar células combustíveis, outra alternativa que será descrita mais adiante.

3.1.4.2 Técnicas eficientes para refrigeração

A refrigeração de edifícios normalmente consome muita energia, e, desta forma, pode ser considerada grande contribuinte em relação às emissões de dióxido de carbono. As alternativas decaem em duas categorias: as tecnologias que envolvem uma fonte de energia externa e os sistemas integrados à estrutura da edificação.

3.1.4.2.1 Massa térmica do subsolo

Em climas frios, como por exemplo, na Inglaterra, a temperatura do subsolo abaixo dos 2m de profundidade é razoavelmente constante, variando de 10 a 14°C. No Brasil a temperatura do solo a um metro de profundidade é em média 18°C.

Idealmente a temperatura do solo deve ser menor ou igual 12°C, para que seja uma fonte apropriada de refrigeração no verão e possivelmente de aquecimento durante o inverno. O sistema consiste na passagem do ar através de uma rede de tubulações de 2 a 5m de profundidade. A temperatura do solo é aproximadamente a mesma que a temperatura ambiental anual média.

Os melhores resultados são atingidos quando o circuito de tubulações é posicionado entre camadas de cascalho ou areia e abaixo do lençol freático.

Diversos fatores influenciam no projeto do sistema, tais como: a temperatura real do solo; a velocidade do ar através das tubulações; o diâmetro das tubulações; a extensão do sistema subterrâneo; a condutibilidade e a umidade do solo.

O ar resfriado pode ser usado diretamente como um agente refrigerador, podendo fornecer ar pré-resfriado para o sistema de ventilação ou condicionamento de ar convencional. Neste contexto é necessário verificar as condições ambientais do solo, de forma a evitar contaminação, por exemplo, por gás radônio.

3.1.4.2.2 Aquecimento ou resfriamento da água pelo subsolo

Alternativas para substituição dos sistemas de condicionamento de ar com *chillers* que geram altas demandas de eletricidade e consequentemente de combustíveis fósseis, estão cada vez mais sendo desenvolvidas e requisitadas. Uma opção é a utilização do armazenamento da energia térmica da água do subterrâneo para refrigerar um edifício ou um processo industrial. Uma vez que a água se aquece em contato com o edifício, pode ser retornada para um segundo poço e utilizada para pré-aquecer o ar durante o inverno.

Neste sistema dois poços são perfurados a uma profundidade entre 30 a 150m e separados entre si a uma distância de 100 a 150m. Onde não há nenhum movimento da água subterrânea, o sistema usa camadas de água para o armazenamento do frio e do calor. No verão a água fresca passa através de um 'conversor' de calor onde refrigera o sistema hidráulico do edifício que, por sua vez, refrigera o ar que permeia o ambiente. Após absorver o calor do edifício a água subterrânea é injetada em um reservatório morno. Durante o inverno o sistema funciona ao revés. Em situações onde há movimentação da água subterrânea o sistema pode ser usado como uma fonte ou um dissipador de calor para uma bomba de calor.

Estima-se que este sistema alcança de 60 a 80% de economia de energia se comparado ao sistema de condicionamento de ar convencional. Além disto, possui um retorno de investimento curto, de 2 a 8 anos.

3.1.4.2.3 Resfriamento evaporativo

Figura 20. À esquerda. Galpão industrial com o uso de resfriamento evaporativo. Fonte: RENOVAR VENTILAÇÃO, 2006.

Figura 21. À direita. Fachada com aspersores de água. Fonte: AUBURN UNIVERSITY POULTRY VENTILATION & HOUSING, 2006.

O resfriamento evaporativo é uma tecnologia relativamente antiga que tem sido novamente aplicada nos projetos arquitetônicos. Esta técnica explora o princípio físico de que as moléculas de uma substância no estado de vapor contêm muito mais energia do que as mesmas no estado líquido. A quantidade de calor necessária para se transformar uma substância como a água ao estado de vapor é chamada de calor latente de evaporação. O calor é removido do líquido e transferido ao vapor, causando o resfriamento das superfícies durante o processo. Este é o mesmo princípio que ocorre naturalmente no seres humanos para baixar a temperatura do corpo através da transpiração.

O resfriamento evaporativo direto é conseguido quando o ar que entra no edifício é diretamente umedecido através de um meio molhado ou através de um pulverizador de água. Este processo é chamado de resfriamento 'adiabático', onde o calor sensível removido do ar se equivale ao calor latente absorvido pela água evaporada. Este método de refrigeração pode ser criado com um projeto de paisagismo inteligente, deixando-se o ar que infiltra o ambiente passar primeiramente sobre a superfície de uma massa externa de água.

O resfriamento evaporativo indireto ocorre quando o ar de exaustão é refrigerado com o uso de técnicas evaporativas que refrigeraram o ar entrante por um conversor de calor. Porém, sistemas que envolvem o aquecimento da água carregam o risco da legionella⁵, que pode ser resolvida, por exemplo, com um pré-resfriamento do ar do ambiente em sistemas de refrigeração secos. Isto abaixa a temperatura da água no sistema, o que reduz o risco da doença comparada a uma torre refrigerante úmida.

As vantagens do resfriamento evaporativo incluem o fato de poderem ser combinados aos sistemas convencionais. Além disto, o conversor de calor em sistemas indiretos pode ser usado para a recuperação do calor no inverno, caso se situe no caminho do ar de exaustão.

⁵ Esta é uma bactéria que nasce em meios aquosos e se multiplica entre 40°C e 50°C. Esta é a temperatura média de armazenamento da água no aquecimento solar e pode ser fatal caso inalado, por exemplo, quando 'borrifado' nos chuveiros. A luz ultravioleta em uma intensidade elevada destrói a capacidade das bactérias de se reproduzirem e é usada freqüentemente para a purificação da água. Usado combinadamente com ondas ultrasônicas ou oxidação anódicas deve remover a fonte de problemas como biofilmes nas tubulações.

3.1.4.2.4 Refrigeração por mudança de fase

Um material sujeito à mudança de fase é aquele que muda seu estado de sólido para líquido quando aquecido e vice-versa quando resfriado, como por exemplo, a água. Quando muda do estado sólido (gelo) ao líquido, o material absorve grandes quantidades de calor antes que seja verificado aumento de temperatura. Um material que muda seu estado físico em temperaturas em torno da escala de conforto térmico é ideal para a moderação de temperatura de edifícios. Um material com esta propriedade é o sulfato de sódio e sua variação, os sais de Glauber⁶ (decahidrato de sulfato de sódio), que muda do sólido para o líquido em torno de 28°C, absorvendo grandes quantidades de calor e assim, resfriando o ar em suas adjacências. A operação reversa libera calor quando o material retorna ao estado sólido.

Uma alternativa para esta tecnologia está sendo desenvolvida por pesquisadores do Instituto de Tecnologia do Edifício da Universidade de Nottingham e também tem, por princípio, o uso de um dissipador de calor químico que liquidifica o calor no ar e bombeia o ar fresco no ambiente. É um sistema altamente eficiente energeticamente, usando somente uma fração da energia consumida pelo sistema de condicionamento de ar convencional. Serve particularmente para os climas temperados, onde com apenas alguns graus de refrigeração pode-se atingir a temperatura de conforto. Durante o dia, o sistema circula o ar aquecido pelo calor externo através do ventilador e o joga sobre um conjunto de tubulações que conduzem o calor aos módulos de armazenamento. Estes contêm um material de mudança de fase. Nesta etapa o material localizado no forro absorve o calor enquanto se derrete lentamente durante o dia, fornecendo o ar fresco da ventilação.

Durante a noite o oposto ocorre. As entradas de ar externo são abertas e o sentido dos ventiladores é invertido para extrair o ar fresco e o jogar ao material de mudança de fase, o que faz com que este se solidifique, gerando calor no processo e o 'despejando' para fora do edifício.

A operação descrita trabalha com o princípio de que o calor latente está armazenado no material de mudança de fase. Sua temperatura pouco se altera durante todo o ciclo, enquanto que é o calor latente que causa a mudança na temperatura do ar. O

⁶ Glauber foi um químico alemão nascido em 1604, que descobriu as propriedades dos sais para utilidades térmicas.

sistema também é capaz de ser ajustado para circunstâncias específicas, com a adição de produtos químicos que mudam o ponto de derretimento do material.

Pesquisadores acreditam que este método de refrigeração é mais agradável aos ocupantes do que o sistema convencional de condicionamento de ar, que frequentemente produz zonas de refrigeração excessivas enquanto que, ao mesmo tempo, exclui a possibilidade de receber a ventilação natural através da abertura das janelas. O sistema criado pela universidade não sofre deste problema, pois é suplementado pela ventilação natural.

A maior virtude do sistema no contexto do Protocolo de Kyoto é que os custos energéticos podem chegar a ser 16 vezes menores em relação aos sistemas convencionais, com benefícios óbvios referentes à emissão de dióxido de carbono.

3.1.4.2.5 Operação Diurna

Um outro sistema de refrigeração consiste em coletores solares que aquecem a água em torno de 110°C. O vapor de alta pressão resultante é expelido e passa através de um ejetor que tem por efeito (*Venturi effect*) a queda de pressão. O líquido alimenta o ejetor onde é vaporizado e causa um efeito de refrigeração que é transmitido ao espaço interno. Esta refrigeração adiabática deixa a temperatura cair a menos 1°C. O vapor de baixa pressão que sai do ejetor é condensado e a água recirculada. Quando a temperatura é elevada o sistema possui uma reserva de gás natural, porém durante dias excessivamente nublados não há ganho solar. O sistema é patenteado, mas ainda não licenciado.

3.1.4.2.6 Desumidificação e resfriamento evaporativo

Em alguns ambientes, uma combinação entre elevada temperatura e umidade requer uma alternativa, em detrimento da escolha do sistema convencional de condicionamento de ar, que melhor resolve problemas de altas temperaturas do que de umidade. A desumidificação consiste em baixar a temperatura para abaixo do ponto de orvalho que causa a condensação.

Um material dessecativo pode ser um líquido ou um sólido, o qual extrai a umidade do ar, gases ou líquidos. Os líquidos trabalham pela absorção da umidade por ação química. Os sólidos possuem uma área extensa interna capaz de absorver quantidades significativas de água por capilaridade. Exemplos de dessecantes eficientes são: silicone em gel; alumina ativado; sais de lítio e triethylene glicol.

Este método de desumidificação requer um estágio de aquecimento em seu processo. Isto acontece para secar ou regenerar o material dessecante e requer uma escala de temperatura de 60 a 90°C. Uma opção é fornecer o calor por meio dos coletores solares, com sistema adicional a gás natural quando a insolação for inadequada. O calor excedente dos sistemas alternativos, por exemplo, pelo sistema combinado *Stirling*, pode ser explorado para este caso.

Como uma alternativa ao condicionamento de ar, o desumidificador dessecante pode ser usado conjuntamente com o resfriamento evaporativo. Após ser seco pelo mecanismo dessecante, o ar passa através de um conversor de calor tal como um anel térmico para refrigeração. Caso seja necessária uma refrigeração adicional, pode ser utilizado um refrigerador evaporativo antes que o ar seja fornecido ao edifício.

O ar de exaustão do ambiente também passa através de um refrigerador evaporativo e então através do anel térmico, aquecendo-se durante o processo. Isto permite ao anel térmico refrigerar o ar da fonte. Após esta passagem, o ar é aquecido e dirigido através do anel dessecante para que a umidade seja removida e expelida para a atmosfera. Porém há problemas com o sistema por não ser eficiente em climas secos. O lado positivo é o fornecimento de ar fresco pelo sistema.

3.1.4.2.7 Desumidificação por ar-condicionado

Em determinados ambientes extremos é necessário acoplar o desumidificador dessecante ao condicionamento de ar convencional. Entretanto, o pré condicionamento do ar reduz a carga na base do sistema.

Como no caso anterior, o sistema possui dois caminhos do ar, o entrante e o de saída. O entrante dirige o ar externo através de uma roda dessecante de lenta revolução que extrai a umidade e dirige o ar seco ao ar-condicionado. No outro trajeto, o ar quente do edifício é novamente aquecido pelos coletores solares e servem ao conversor de calor para regenerar o material dessecante antes de ser ejetado do edifício.

Este sistema é especialmente apropriado para restaurantes e cozinhas que costumam experimentar extremos de temperatura e de umidade. Uma vantagem adicional é que este sistema pode remover os poluentes do ar, além de fornecer uma fonte contínua de ar fresco, ao contrário do ar-condicionado convencional.

3.1.4.2.8 Refrigeração

O inventor da tecnologia da refrigeração foi Albert Einstein. Esta inovação foi responsável pela explosão da venda de refrigeradores domésticos nos anos 30. O compressor do refrigerador é baseado em um ciclo termodinâmico por meio de um gás que comprimido mecanicamente se aquece. Após o descarregamento deste calor, o gás, ainda sob pressão, se liquidifica. O líquido se expande abaixando então a pressão e neste processo evapora, absorvendo calor dos arredores. A relação entre a capacidade refrigerante e a energia necessitada para consegui-la é chamada de coeficiente de desempenho. Para máquinas bem desenhadas é possível aproximar esse coeficiente em 100%. Em um sistema solar interligado, painéis fotovoltaicos poderiam fornecer a eletricidade para o compressor.

3.1.4.2.8.1 Refrigeração por absorção de amônia

A refrigeração por absorção de amônia consiste no fato de que a amônia é solúvel em água fria, mas não em água quente. Quando uma solução de água e amônia é aquecida o vapor da amônia é expelido numa alta pressão.

Se o gás for refrigerado então em um condensador à temperatura ambiente este se transforma um líquido. A amônia pura líquida é colocada em contato com um pouco de gás de hidrogênio em um evaporador, o que faz com que seja revertida novamente em gás, absorvendo assim calor dos arredores. Durante o processo esta é a fase responsável pela refrigeração.

Para o processo de circulação não é necessária força mecanizada, pois a solução é conduzida por uma 'bomba de bolhas', mesma tecnologia de uma máquina de café expresso. Isto compreende um mecanismo vertical estreito e aquecido, onde as bolhas pressionam e elevam o líquido, solução barata e sem necessidade de manutenção.

A tecnologia tem alguns problemas inerentes, tais como o fato de que se a caldeira não atingir a temperatura crítica, acaba por não transformar toda a amônia em vapor, o que, por sua vez, prejudica a eficácia da purificação do hidrogênio. Como a temperatura de evaporação da amônia depende da pressão do vapor desta com o hidrogênio, uma temperatura inadequada da caldeira reduziria significativamente a eficiência da refrigeração.

O sistema básico requer uma caldeira que aquece a solução de amônia e água para alcançar uma temperatura de 150°C. Pensando em energia solar, isto apenas seria possível de ser conseguido por concentradores solares. Pesquisadores da Universidade Técnica de Viena redesenharam este ciclo, introduzindo uma passagem adicional que torna possível extrair muito mais amônia da solução em uma temperatura relativamente mais baixa do que era previamente possível. Por consequência, com uma temperatura na caldeira de 75 a 80°C já seria realizada a evaporação necessária da amônia. Deste modo já se torna possível a utilização de coletores solares normais para se fornecer calor para o sistema. Esta é a fonte de calor ideal, pois no verão, quando a demanda por refrigeração é maior, melhor se pode utilizar a energia solar.

Para se fornecer a refrigeração do espaço, um ventilador dirige o ar sobre o evaporador, que é conduzido por dutos ao longo do edifício. A fonte de calor também poderia ser fornecida pela 'sobra' de energia do sistema por mudança de fase, exposto anteriormente, dirigido por um motor de combustão interna, uma micro turbina ou um motor *Stirling*, exposto no item 3.1.4.1.2 Eletricidade Solar Térmica – Sistema Termosolar.

3.1.4.2.8.2 Refrigeração Termoiônica

Esta tecnologia é baseada em um dispositivo elétrico chamado 'diodo a vácuo' que nada mais é do que uma micro placa gelada. Este dispositivo contém duas películas finas separadas por uma camada estreita de vácuo. Quando uma tensão é realizada através do espaço entre as películas, os elétrons do lado negativo 'fervem' e carregam sua energia cinética para o lado positivo da micro plaqueta. Como os elétrons mais quentes migram, o lado negativo esfria, sem a utilização de químicas. A energia adicional dos elétrons que alcançam o ânodo positivo é dissipada como forma de calor.

Empresas ligadas a este sistema são otimistas em relação ao potencial da tecnologia, que oferece 80% de eficiência contra 30 a 50% do compressor de refrigeração. Um painel de 25 chips cobrindo 5cm² poderia operar uma geladeira típica utilizando apenas 15 Watts de eletricidade. Esta tecnologia possui a vantagem de ser silenciosa, por não possuir nenhum mecanismo que se movimenta e, portanto, não necessita de manutenção.

Também pode ser utilizada para refrigerar microprocessadores e equipamentos elétricos que contribuem significativamente para o ganho de calor em escritórios.

3.1.4.2.8.3 Refrigeração Noturna

Este método se utiliza da massa térmica exposta de um edifício a ser refrigerado pelo ar exterior durante a noite. O piso de concreto exposto é o meio mais eficaz para se refrigerar um espaço. Durante o dia, as aberturas são fechadas para não se permitir a entrada do ar aquecido. À noite, as janelas podem ser abertas automaticamente, para receber o ar fresco. A refrigeração apenas por troca de radiação pode fazer com que a temperatura de ar seja ligeiramente mais elevada do que a norma, porém ainda mantendo a condição de conforto.

Permitir a ventilação noturna de um edifício de grande massa térmica pode reduzir em aproximadamente 20 a 30 W/m² o ganho de calor durante o dia, reduzindo a temperatura de pico de 2 a 3°C. Caso haja ventilação cruzada e os ganhos solares internos forem minimizados, é possível otimizar ainda mais os resultados. Esta solução funciona melhor em climas onde a amplitude térmica entre a temperatura diurna e noturna seja menor de 20°C. Os resultados também são otimizados em espaços de plantas estreitas, com no máximo 15m entre as fachadas. Os ganhos do calor não devem exceder 30 W/m² para que esta solução funcione.

Utilizando-se a ventilação mecânica, o potencial de refrigeração do ar durante a noite é otimizado já que ventiladores também ajudam a expelir o ar morno durante o dia, além de também oferecer controle sobre o fluxo do ar.

Uma variação deste sistema pode ser realizada por uma chapa de metal perfurada aplicada do lado de baixo da laje, por onde se deixa uma abertura de ar. O ar é mecanicamente forçado na abertura, o que cria correntes de ar turbulentas que melhoram a transferência de calor entre o ar e a laje e maximizam a refrigeração noturna. O ar externo pode ser conduzido por dutos diretamente nestes espaços e recirculado então por aberturas no teto. Como com a ventilação natural, a temperatura noturna deve estar abaixo de 20°C. Entretanto, podem ser solucionados ganhos de calor de 50 W/m².

3.1.4.2.8.4 Lajes de núcleos ocos

Os pisos de concreto pré-fabricados com dutos conectados podem eficazmente mover o ar fresco ou morno por todo o edifício. O ar entra em contato com a capacidade térmica do concreto antes de se infiltrar no espaço ocupado. Este é um meio eficiente de se conseguir uma taxa elevada de transferência de calor do ar à laje e vice-versa. A laje deve ser exposta à máxima troca de calor com a área ocupada. Nesta

circunstância a laje de núcleo oco pode contrabalançar ganhos de calor de até 50 W/m².

3.1.4.2.8.5 Forros gelados

A água é o meio de transferência de calor nos sistemas de forros gelado e circula relativamente em uma temperatura de 16°C. Vigas geladas geram o movimento de ar por convecção para a refrigeração do espaço. Em tetos *hilled*, um painel fornece refrigeração por radiação e convecção. Vigas geladas podem fornecer aproximadamente 60 W/m² de água refrigerada a 16°C e uma temperatura do ambiente de 26°C. Os forros gelados fornecem aproximadamente 40 W/m².

3.1.4.3 Energia Geotérmica

O calor contido dentro do planeta Terra causa eventos geológicos como terremotos, vulcões e movimento tectônicos. A energia geotérmica se refere a uma pequena fração de calor da terra que pode ser convertida em energia útil. A maior parte deste calor é gerada com a deterioração de isótopos radioativos abaixo da crosta terrestre. A taxa de aumento da temperatura de acordo com a profundidade da terra é chamada de gradiente geotérmico e varia 2,5 a 3,0°C a cada 100m de profundidade. As técnicas modernas de perfuração podem penetrar a Terra em até 10 km

Onde há áreas ativas geotermicamente, este gradiente pode aumentar em um fator de dez temperaturas produzindo mais de 300°C em 500 a 1000m. Isto ocorre onde há intrusões ascendentes de rochas de alta temperatura provenientes do núcleo de magma. Em tais circunstâncias podem-se verificar temperaturas em torno de 600°C em profundidades de 5 a 10 quilômetros, o que forneceria vapor de alta pressão. Entretanto, a energia geotérmica útil está disponível no gradiente geotérmico normal.

Este calor tem que ser trazido à superfície para ser utilizado. Frequentemente é injetada água nas áreas conhecidas como reservatórios térmicos, que passa por rochas permeáveis e circula absorvendo calor. Uma vantagem da energia geotérmica é que é independente do clima ou da variação diurna e sazonal. As plantas geotérmicas podem produzir energia com um preço mais baixo do que a maioria das outras tecnologias renováveis.

3.1.4.3.1 Bombas de Calor com fonte térmica no solo

Figura 22. À esquerda. Sistema aberto vertical. Fonte: GROUND LOOP, 2006.

Figura 23. Ao centro. Sistema fechado horizontal. Fonte: GROUND LOOP, 2006.

Figura 24. À direita. Sistema fechado vertical que funciona nas duas direções. Fonte: GROUND LOOP, 2006.

Recursos geotérmicos de médias a baixas temperaturas ocorrem quase em todos os lugares do mundo e são utilizados como fontes diretas de calor. Uma das áreas mais significativas de aplicação é em combinação com bombas de calor.

No modo de resfriamento a bomba de calor geotérmica é transformada em um refrigerador. A água que circula no subsolo está mais quente do que a terra circunvizinha, liberando conseqüentemente calor à terra e resfriando-se durante o processo. A água resfriada passa então através de um conversor na bomba de calor. Dentro do conversor, um gás refrigerante é aquecido por um compressor e libera seu calor à água, que então libera calor a terra. O refrigerante que libera sua energia calorífica transforma-se em um gás frio após sua passagem através de uma válvula de expansão, que é usada para refrigerar o ar ou a água. Em um sistema de dutos de ar, os ventiladores da bomba de calor circulam o ar morno do edifício através das bobinas que contêm o refrigerante. O ar de refrigeração resultante é então expelido para o sistema de dutos do edifício. O refrigerante na bobina de ar absorve a energia calorífica do edifício e é dirigido então ao compressor, onde se transforma outra vez em um gás quente, iniciando novamente o ciclo. O sistema pode funcionar para a situação inversa, aquecendo ao invés de resfriando, apenas invertendo-se uma válvula ligada ao compressor.

Outra modalidade para climas mais quentes é o uso do próprio ar como recurso para as bombas, ao invés do subsolo ou da água. No modo de resfriamento, por exemplo, o compressor bombeia o refrigerante para a bobina externa, onde é condensado em

um líquido. O ar que circula através da bobina remove o calor do refrigerante e é transportado para a bobina interna, onde absorve o calor do interior do edifício. O ar interno é bombeado pela bobina interna onde o líquido refrigerante evapora liberando calor, então o ar fresco é liberado no edifício.

Desta forma, o uso das bombas de calor acopladas ao subsolo conectadas à rede pode reduzir em 40% as emissões do dióxido de carbono comparado às alternativas modernas ligadas aos combustíveis fósseis. Além disto, as bombas de calor têm uma confiabilidade elevada e não requerem manutenção de rotina.

3.1.4.4 Energia Eólica

Figura 25. Turbinas Eólicas no mar. Fonte: IMAGEBANK, 2005.

Comparada às outras fontes de energia renováveis, a energia eólica é a mais próxima de ser competitiva em relação aos sistemas baseados em combustíveis fósseis. A tecnologia já está amadurecida e robusta, com instalações espalhadas pelo mundo inteiro. Neste capítulo será explorada a geração de energia de pequena escala, desde poucos Watts a 20kW (quilowatts). Mecanismos de 1 a 5kW podem ser utilizados para prover tanto correntes diretas como alternadas. Em residências estão confinadas para o carregamento de baterias, enquanto mecanismos maiores são mais apropriados para grupos de residências e edifícios comerciais e industriais.

O conhecimento dos padrões de vento no ambiente construído é complexo, já que o ar passa sobre, em torno e entre os edifícios. Desta forma, um gerador eólico introduzido nestas circunstâncias deve lidar com uma turbulência elevada. Tais conjunturas tendem a favorecer máquinas de eixos verticais, ao contrário das versões horizontais que proliferaram em áreas afastadas das cidades. Os de eixo vertical

podem operar com velocidades de vento mais baixas e são menos afetados mecanicamente pela turbulência.

Além disto, as máquinas de eixos horizontais instaladas em telhados tendem a transmitir vibrações através da estrutura do edifício. Por causa das movimentações produzidas pela torre sob a força do vento, medidas devem ser tomadas para fornecer uma estrutura adequada ao edifício, o que não é simples quando já construídos. Por sua natureza, máquinas de eixo vertical não são afetadas por mudanças no sentido ou de turbulência do vento. Podem ser situadas em telhados ou em paredes, sendo particularmente bem sucedidas quando montadas em plataformas de petróleo no mar do norte.

As máquinas são bem contrabalançadas, transmitindo uma vibração mínima às paredes e telhados. Uma vantagem adicional é que o gerador de eletricidade se situa abaixo dos rotores, podendo conseqüentemente se situar dentro do envelope do edifício.

Pesquisas estão sendo desenvolvidas em relação aos projetos de turbinas para as mais diferenciadas situações urbanas. Isto é muito apropriado, já que predições a respeito das mudanças climáticas indicam que a velocidade de vento aumentará enquanto a atmosfera continuar a se aquecer. Imagina-se assim, que um grande mercado está sendo ampliado, de pequenas turbinas para as mais diversas configurações de edifícios.

No Brasil, vários estados iniciaram medições de vento para a implantação de usinas eólicas, como Minas Gerais, o Ceará, a Bahia, o Paraná e Santa Catarina. Estes se encontram em diferentes estágios de negociação para implantação de projetos eólicos conectados à rede, podendo ser considerados mais promissores os localizados no Ceará e no Paraná, onde já estão implantados respectivamente 17,4 MW e 2,5 MW de energia.

O Brasil tem hoje cerca de 19 MW de potência eólica instalada, porém, no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CRESESB, 2005), verifica-se um enorme potencial natural da ordem de 143 GW. Desta forma, esta fonte pode se tornar uma alternativa importante para a diversificação da matriz energética do país e, embora nem todo este potencial possa ser economicamente explorado, ainda existe um grande espaço de crescimento para o uso da energia eólica em território nacional.

3.1.4.4.1 Turbinas eólicas de pequena escala

Figura 26. Turbina eólica de eixo vertical. Fonte: MARLBOROUGH PRIMARY SCHOOL, 2006

Figura 27. Turbina eólica de pequena escala.

Figura 28. Turbina eólica para áreas rurais. Fonte: ENGINEERING TECHNOLOGIES CANADA LTD, 2006.

A maioria dos sistemas de pequena escala têm um gerador magnético permanente que limita as perdas mecânicas de transmissão. Os sistemas menores que 2 (dois) quilowatts têm geralmente capacidade para carregar uma bateria de 24-48 Volts, ou um circuito de corrente direta compatível a rede de eletricidade.

Até o momento, as turbinas horizontais de eixo central estão mais em evidência do que as verticais. Estas máquinas têm sistemas eficientes de frenagem para quando a velocidade de vento é excessiva. Alguns até mesmo giram no sentido contrário em ventos muito fortes e adotam a posição 'helicóptero'. Há vantagens deste tipo de turbinas, tais como: o custo-benefício, devido à produção em escala; tecnologia testada e robusta; possui início automático; entre outros.

As desvantagens são: a necessidade de um mastro elevado; quando montados em edifícios requerem reforço das fundações; em situações urbanas, onde pode haver grandes variações no sentido e na velocidade dos ventos, pois se fazem necessárias mudanças freqüentes nas orientações e na velocidade das lâminas; há problemas de ruído especialmente associados com a frenagem quando em ventos elevados; podem ser visualmente intrusivos. As turbinas de eixos verticais são apropriadas a situações urbanas e a integração a edifícios por serem discretas e silenciosas, porém algumas necessitam de um iniciador mecânico.

3.1.4.5 Células Fotovoltaicas

Figura 29. À Esquerda. Rede de eletricidade por painéis fotovoltaicos.

Figura 30. À Direita. Cobertura de painéis fotovoltaicos.

A base das células fotovoltaicas é a transformação da energia solar em eletricidade por semicondutores que absorvem os fótons e partículas luminosas.

Atualmente a maioria das células solares é construída de materiais sólidos e semicondutores. O silicone é um material semicondutor típico e suas propriedades elétricas podem ser utilizadas de diversas maneiras. A estrutura eletrônica de um material, isto é, a disposição de seus elétrons, é dividida por faixas sólidas separadas por faixas vazias. Um fluxo de elétrons representa uma corrente elétrica e a habilidade dos elétrons em moverem-se é determinada pela extensão em que uma faixa é preenchida. Os elétrons de faixas 'cheias' são relativamente estáticos, por isso, materiais com faixas inteiramente preenchidas não conduzem eletricidade, pois não há espaço para permitir que os elétrons se movam, o que os define como materiais isolantes. Materiais com faixas conectadas como a maioria de metais, são condutores.

No caso das células fotovoltaicas uma camada de material semicondutor dispõe-se face a face com outro semicondutor. As duas camadas possuem cargas opostas, gerando um campo eletromagnético na interface. Quando a luz incide sobre as células, a energia dos fótons 'libera' alguns elétrons nos semicondutores, os quais são propelidos às extremidades das duas camadas, criando uma diferença de potencial que gera a corrente elétrica. Eletrodos metálicos são unidos às duas faces da célula para completarem o circuito elétrico.

No Brasil, o uso da energia solar fotovoltaica tem sido promovido por várias concessionárias de energia, como a CEMIG. Esta implantou um modelo no qual é

cobrada uma tarifa para cobrir parte dos custos de atendimento aos domicílios isolados, sendo a outra parte dos investimentos coberta pela obrigatoriedade de alocação de parte de seus lucros em programas sociais. Outras empresas são: a COPEL, que vem incorporando sistemas renováveis solares como uma opção de seu programa de eletrificação rural; e a CESP, que implantou um projeto piloto em que é cobrada uma tarifa pelo serviço prestado a sistemas solares residenciais. (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006)

Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia, a contribuição da geração fotovoltaica à matriz energética do país atinge a cifra de 12,6 GWh/ano, considerando os 12 MWp instalados e um fator de capacidade para sistemas fotovoltaicos isolados da ordem de 12% anual. Menciona-se também que sistemas conectados à rede operam com fator de capacidade superior aos observados em sistemas isolados, entre 15 e 19%.

3.1.4.6 Células Combustíveis

Figura 31. Configuração característica da célula combustível.

O Sr. William Bosque inventou a tecnologia em 1839, quando a célula combustível passou a ser reconhecida como a fonte mais provável de energia a ser empregada no futuro. A célula combustível será a ponte entre a economia do hidrocarboneto e a sociedade baseada no hidrogênio. David Hart, que é o 'cabeça' das células combustíveis e da pesquisa em hidrogênio no *Imperial College*, não tem nenhuma dúvida sobre as possibilidades das células combustíveis.

Se as células combustíveis cumprirem seu potencial, não há nenhuma razão do porque não devam substituir quase todas as baterias e motores de combustão no mundo. Há ainda um potencial considerável para melhorias na eficiência das células combustíveis, desde que não dependam da segunda lei da termodinâmica.

Até recentemente uma razão para o ceticismo sobre a tecnologia era o custo. Entretanto, desde 1989 houve uma queda dramática no custo por quilowatt de saída.

Pesquisadores do sistema estão confiantes de que o custo cairá para \$300 a 500 por quilowatt de capacidade instalada, devido às economias de escala. Nos EUA há uma atividade considerável no desenvolvimento da célula combustível, muito devido aos incentivos do Departamento de Energia (DoE).

As células combustíveis são dispositivos eletroquímicos que geram eletricidade de corrente direta, similar às baterias, porém ao contrário destas requerem uma entrada contínua de combustível rico em hidrogênio. Essencialmente a célula combustível é um reator que combina hidrogênio e oxigênio para produzir eletricidade, calor e água, sendo descrita como um motor de combustão eletroquímico. É uma tecnologia robusta, limpa, silenciosa e não emite poluição quando alimentada diretamente com hidrogênio.

3.1.4.6.1 Nuclear

Figura 32. Imagem externa da Usina Nuclear de Angra dos Reis.

Figura 33. Usina Nuclear de Angra 2.

A fusão, ou fissão, nuclear foi considerada por muitas décadas a solução para o fornecimento de energia. Hoje é a tecnologia que causa maior polêmica, apesar de ser responsável pelo atendimento de 18% das necessidades mundiais de eletricidade.

Segundo o cientista britânico James Lovelock⁷ para o jornal The Independent (LOVELOCK, 2004), *“Só a energia nuclear pode desacelerar o rápido e devastador*

⁷ James Lovelock é um cientista que ficou mundialmente conhecido nos meados dos anos 60, quando criou a “Hipótese de Gaia”, segundo a qual a Terra é um organismo vivo e mantém as condições necessárias para sua sobrevivência.

aquecimento da Terra", pois *"Não temos tempo para experimentar fontes energéticas visionárias"* em alusão às fontes renováveis como o vento, as marés e a água. Suas afirmações provocaram diversas reações, como a de Stephen Tindal, chefe do Greenpeace britânico: *"A mudança climática e o lixo radioativo apresentam juntos ameaças mortais de longo prazo e nós temos o dever moral de minimizar o efeito de ambos e não escolher entre eles"*. De fato não há um consenso a respeito desta fonte, mas não há como excluí-la como alternativa em relação à solução para o aquecimento global, devido a não emissão de poluentes como o dióxido de carbono.

A energia nuclear provém da fissão nuclear do urânio, plutônio, tório ou do hidrogênio, podendo gerar diretamente energia térmica, mecânica e radioativa, constituindo-se assim a única fonte primária que gera esta diversidade de fins energéticos.

Como tecnologia de ponta parece ser a estratégia favorita a de fundir dois átomos, o hidrogênio a um nêutron, o que provoca uma grande liberação de energia. A reação gera o hidrogênio e o tritium radioativo. O último possui uma meia-vida de 12 anos e pode ser revolvido em helium fundindo-se ao deuterium. Comparado à fusão nuclear, é uma tecnologia limpa, produzindo quantidades mínimas de resíduos.

A fim de superar as forças repulsivas entre os núcleos dentro do deuterium, este tem que ser aquecido a 10.000°C , a temperatura no núcleo do sol. Manter a estabilidade da matéria em tal temperatura é extremamente difícil e consome quantidades maciças de energia. A opinião teórica é a de que a fusão criará um excesso de energia. Contudo foi provado impossível gerar mais energia no processo do que é requerido para criar a reação.

Este fato conduziu os cientistas a procurarem rotas alternativas à fusão. Em 1989, cientistas reivindicaram ter conseguido a fusão à frio, através da eletrólise da água pesada, porém ninguém pôde replicar os resultados.

Por décadas soube-se que as ondas sonoras na água podiam gerar bolhas que se aqueciam aos milhares de graus enquanto se colidiam, emitindo luz durante o processo. O fenômeno é chamado de 'soluminescência'. Para que a fusão ocorra, as bolhas teriam que alcançar quase 10 milhões de graus. Pesquisadores do laboratório nacional de Oakridge no Tennessee não se detiveram a este desafio. Ao invés da água usaram a acetona modificada, substituindo seus átomos de hidrogênio com o deuterium e congelando o líquido a 0°C . A acetona é bombardeada com um feixe de

nêutron para produzir bolhas minúsculas, então as ondas sonoras fazem com que as bolhas se expandam antes de implodirem. Os nêutrons liberados como deuterium se fundem para dar forma ao tritium, um resultado consistente como a fusão nuclear. Este resultado está sendo seriamente examinado, embora comercialmente ainda demore aproximadamente 50 anos para ser viabilizado.

No Brasil, a energia nuclear responde por 1,5% da capacidade instalada total no país, com duas unidades em operação, as Usinas Angra 1 e 2, com potências de 657 e 1.309 MW, localizadas no Rio de Janeiro, onde abastecem o estado. Já para 2006, o Plano Decenal prevê que a capacidade instalada esteja por volta de 98.000 MW, sendo que 81% em usinas hidrelétricas e 3,5% em usinas nucleares (Angra 1, 2 e 3, totalizando 3.275 MW).

3.1.4.7 Biomassa

Figura 34. Imagens que demonstram o uso de material vegetal como fonte energética. Fonte: BIOMASSA INFORMATIE, 2006

Figura 35. O uso de restos de material vegetal para a produção de energia. Fonte: DURZAAM ZEELAND, 2006

O primeiro plástico inventado em 1870, o celulóide, foi derivado da celulose extraída do algodão. Na década de 20, 70% de toda a energia consumida nos EUA foi fornecida pelo carvão. Finalmente, o petróleo se transformou na base dos sistemas de transporte do mundo.

Em 1970, veio então o choque do petróleo, quando seu fluxo foi severamente reduzido. Em 1969, o preço do óleo era de 50 centavos o galão; em 1981 elevou-se para \$36. Este processo provocou os países em desenvolvimento a encontrarem alternativas, fator dinamizado quando da Guerra do Golfo nos anos 90.

Os avanços nas ciências biológicas geraram a oportunidade de se melhorar a qualidade dos produtos industriais derivados das plantas e ao mesmo tempo reduzir seus custos de produção.

A ascensão no campo dos hidratos de carbono foi impulsionada consideravelmente pela consciência ambiental que cresceu muito nos anos 80, culminando no Relatório Brutland e na conferência Internacional no Rio de Janeiro. O resultado foi um relatório do IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – (1995) que deu ímpeto científico ao fenômeno do aquecimento global e das mudanças climáticas. O relatório idealizou quatro cenários futuros baseados na extensão do corte de emissões de dióxido de carbono e gás estufa pelos países poluentes. Foi a primeira vez que os cientistas dimensionaram um grau de redução necessário para a ‘saúde’ da atmosfera, uma redução de 60% em relação aos níveis de emissão de 1990.

Um outro fator na equação foram as políticas ambientais das nações desenvolvidas, que aumentaram o custo da eliminação dos resíduos além da proibição do depósito de materiais orgânicos nos aterros. Isto estimulou a procura de soluções criativas em relação ao problema do desperdício orgânico.

Muitos países estão procurando reestruturar suas indústrias de eletricidade, por exemplo, os E.U.A. e o Reino Unido, que pressionam o ‘lobby’ das empresas de energia para um sistema descentralizado ou distribuído de eletricidade baseado em uma escala de fontes renováveis. A Suécia e a Alemanha buscam reduzir sua capacidade nuclear. O Reino Unido enfrenta uma séria falta de energia devido ao envelhecimento de suas indústrias de carvão e nucleares. Tudo isto trouxe a necessidade de se explorar todos os recursos renováveis, sendo um dos mais abundantes a biomassa, devido aos resíduos de colheitas e domicílios.

No Brasil muitos estudos mostram que a energia gerada pela gaseificação da biomassa pode ser favoravelmente comparada àquela gerada pelos recursos hídricos em termos de custos e potencial energético. Devido à grande produção de cana-de-açúcar e às experiências relativas ao uso de etanol, vêm sendo desenvolvidos estudos de viabilidade técnica e econômica para uma utilização mais expressiva do bagaço e da palha da cana em projetos de geração de energia. Como já foi dito, a energia gerada pela biomassa pode também contribuir para a descentralização da produção de eletricidade.

Segundo a ANEEL, existem 30 usinas de co-geração em operação no Brasil, com potência instalada de 414 MW, sendo que 62% da capacidade instalada está localizada no estado de São Paulo. O bagaço de cana e a lixívia estão entre as fontes de energia mais importantes nos setores sucroalcooleiro e de papel e celulose, além de diversos tipos de sistemas híbridos com combustíveis fósseis.

Existe um plano de expansão federal que estima o potencial técnico de cogeração nestes dois setores em 5.750 MW, com um potencial de mercado de pouco mais de 2.800 MW, em 2009. No setor sucroalcooleiro, a potência atualmente instalada é em torno de 1.150 MW. Já no setor de papel e celulose, existem 718 MW em operação, sendo que outros 930 MW poderiam ser obtidos no setor.

No Brasil deverão ser realizados incentivos governamentais para que a tendência histórica do desperdício dos resíduos agrícolas e florestais se reverta para a utilização eficiente da biomassa energética. Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia, os resíduos agrícolas, excetuados os da cana-de-açúcar, representam uma disponibilidade energética da ordem de 37,5 milhões de tep- toneladas equivalentes de petróleo - anuais, equivalentes a 747 mil barris diários de petróleo.

3.1.4.8 Pequenas usinas

Já foi escrito anteriormente a respeito da tendência do aumento da geração de energia por unidades distribuídas e descentralizadas, especialmente em áreas rurais ou onde a estabilidade do suprimento é essencial, como no caso de bancos, hospitais entre outros. A micro geração é a chave desta tendência e há diversas vantagens para a rede municipal em ser servida por pequenas unidades:

- A geração das pequenas usinas pode estar mais próxima do ponto de uso, superando a ineficiência de linhas longas de distribuição;
- Podem ser redimensionadas para adequarem-se às exigências exatas do consumidor;
- Na maioria das versões tem uma eficiência relativamente elevada, produzindo tanto eletricidade como calor;
- Há benefícios ambientais consideráveis;
- Em alguns casos é modulada, significando que podem ser escaladas para se ajustarem as necessidades de ampliação ou redução;

- A geração em pequena escala tem uma estadia de ligação curta e pode ser planejada, construída e comissionada em uma estadia muito mais curta do que no caso de maiores unidades;
- Pode aliviar a necessidade por estações de grande porte, frequentemente subordinadas ao inquérito público. Isto é especialmente importante para novas instalações nucleares;
- A micro usina é capaz de funcionar com uma variedade de combustíveis que emitem diversas taxas de particulados, como o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, que são significativamente mais baixos do que plantas maiores. No caso do hidrogênio direto, significaria emissão zero;
- São mais imunes à volatilidade do preço dos combustíveis fósseis, um fato bastante vantajoso devido ao preço do petróleo e do gás, e da diminuição das reservas, além das tensões políticas;
- Pode haver um controle da comunidade na escolha da tecnologia. Isto pode provocar iniciativas locais para uma estação de tratamento de esgoto por digestão anaeróbica para produzir biogás para o sistema de energia.
- A atração à geração distribuída é parte de uma tendência testemunhada inicialmente pelo uso de computadores. Os mini computadores foram 'vencidos' pelo computador pessoal, e agora o telefone fixo tem sido severamente desafiado pelos celulares e e-mails.

3.1.4.9 Pequenas centrais hidroelétricas

Figura 36. Pequena central hidroelétrica brasileira. Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2006.

Figura 37. Pequena central hidroelétrica. Fonte: NEW RULES PROJECT, 2006.

Figura 38. Pequena central hidroelétrica. Fonte: BUILDING IN SUSTENTABILITY, 2006.

As pequenas centrais hidrelétricas – PCH's - possuem uma história de mais de 2000 anos. A expansão da rede fez com que a busca por pequenas centrais fosse deixada de lado, porém isto vem mudando devido ao fato de serem consideradas fonte limpa de eletricidade, sem as consequências drásticas associadas à construção de grandes centrais.

Possuem impactos ambientais mínimos resultando em emissões zero de dióxido sulfúrico, dióxido de carbono e óxido de nitrogênio. Também não causam acidificação na água, podendo pelo contrário, oxigenar riachos e rios.

Sistemas energéticos renováveis causam um impacto ambiental 31 vezes menor do que os baseados em combustíveis fósseis. Cada kWh produzido nas pequenas centrais polui 300 vezes menos que a tecnologia mais poluente, o carvão mineral.

Os componentes essenciais para um sistema hídrico são: uma área adequada para captação da água da chuva e uma área de reservatório de água para prover um topo de água; um rio com uma queda de nível apropriada para permitir que a água seja desviada a um reservatório e depois a uma turbina na velocidade e quantidade certas; uma turbina, um gerador e uma conexão elétrica; e um reversor para retornar a água.

Uma das preocupações é que este sistema pode esgotar o estoque de peixes, o que implica em soluções como a construção de canais que previna sua entrada.

No Brasil, de acordo com a ANEEL, há 205 PCH's em operação no país, totalizando 865,6 MW, 40 empreendimentos em construção e 82 projetos outorgados que, se implantados, adicionarão ao sistema elétrico mais 1.323 MW. Há estimativas de que o potencial hidráulico remanescente possível de ser explorado por meio das PCH's seria da ordem de 7 mil MW. Muitos incentivos governamentais têm-se realizado para atrair a participação privada para as pequenas centrais hidrelétricas, tais como a inclusão de medidas regulatórias e políticas de financiamento. Porém, acredita-se que estudos referentes aos impactos ambientais destas intervenções não têm sido realizados criteriosamente.

3.1.4.10 Ondas e Correntes

Figura 39.Exemplo de um dispositivo em funcionamento. Fonte: WAVE DRAGON, 2006.

Figura 40. Imagem de uma caixa de concreto por onde passa a água do mar cuja energia é aproveitada na geração de eletricidade. Fonte: GUERRINI, 2001.

Nações litorâneas possuem um enorme recurso energético na forma de ondas. O mar é de fato um sistema de massa sazonal que oscila com uma frequência fixa. O comprimento de onda médio é ao redor de 120m e, em mares 'altos', uma onda carrega aproximadamente 100 quilowatts/m de energia potencial. No Brasil, temos cidades com grandes amplitudes de marés, como no Maranhão na Baía de São Marcos com 6,8 metros e em Tutóia com 5,6 metros. Porém a topografia destas regiões não favorece a construção econômica de reservatórios, o que impede seu aproveitamento (GUERRINI, 2001)

3.1.5 Panorama da Situação Energética Brasileira

Segundo a ANEEL (2002) – Agência Nacional de Energia Elétrica - O Brasil possui no total 1.429 empreendimentos em operação, gerando 92.147.383 kW de potência. Está prevista para os próximos anos, uma adição de 31.449.429 kW na capacidade de geração do país, proveniente dos 75 empreendimentos atualmente em construção e mais 516 outorgadas.

Quadro 6. Matriz da Energia Elétrica no Brasil. Fonte: ANEEL, 2002.

Empreendimentos em Operação						
Tipo		Capacidade Instalada		%	Total	
		N.º de Usinas	(kW)		N.º de Usinas	(kW)
Hidro		580	70.389.630	70,17	580	70.389.630
Gás	Natural	69	9.156.556	9,13	95	10.085.156
	Processo	26	928.600	0,93		
Petróleo	Óleo Diesel	458	3.992.201	3,98	476	5.151.279
	Óleo Residual	18	1.159.078	1,16		
Biomassa	Bagaço de Cana	218	2.177.839	2,17	257	3.070.673
	Licor Negro	12	665.572	0,66		
	Madeira	23	200.832	0,20		
	Biogás	2	20.030	0,02		
	Casca de Arroz	2	6.400	0,01		
Nuclear		2	2.007.000	2	2	2.007.000
Carvão Mineral	Carvão Mineral	7	1.415.000	1,41	7	1.415.000
Eólica		11	28.625	0,03	11	28.625
Importação	Paraguai		5.650.000	2,33		8.170.000
	Argentina		2.250.000	5,85		
	Venezuela		200.000	0,08		
	Uruguai		70.000	0,20		
Total		1.428	100.317.363	100	1.428	100.317.363

Quadro 7. Os valores de porcentagem são referentes à Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual à considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	177	92.993	92.700	0,10
Central Geradora Eolielétrica	11	31.075	28.625	0,03
Pequena Central Hidrelétrica	256	1.335.410	1.299.241	1,41
Central Geradora Solar Fotovoltaica	1	20	20	0
Usina Hidrelétrica de Energia	147	70.884.572	68.997.689	74,88
Usina Termelétrica de Energia	835	24.690.590	19.722.108	21,40
Usina Termonuclear	2	2.007.000	2.007.000	2,18
TOTAL	1.429	99.041.660	92.147.383	100

3.2 Materiais

Em diversos momentos ao longo do tempo, os materiais e a materialidade se tornaram pouco importantes na arquitetura. Na segunda metade do século XVIII, por exemplo, os desenhos arquitetônicos raramente indicavam os materiais a serem usados na construção. As elevações e cortes deste período não possuíam informações quanto ao uso de materiais, os detalhamentos eram incomuns, o que leva a perguntar como e quando eram especificados ao longo do projeto.

Ao contrário do que se pode imaginar, os edifícios deste período possuíam uma materialidade bastante presente, que os caracterizava logo ao primeiro contato visual. Como é comum até os dias de hoje, a escolha dos materiais normalmente provinha do critério econômico, onde o transporte possui um grande peso. A existência do material no próprio sítio, ou mesmo de uma região próxima, era muitas vezes a condição vital para a escolha construtiva do edifício. Junto a essa decisão, vinha diretamente o uso da técnica local, compartilhada tanto pelos arquitetos como pelos construtores.

Desta forma a harmonia entre a escala, textura, proporção e forma da maioria dos edifícios europeus tradicionais, derivavam de recursos naturais e técnicas locais. Ao contrário, edifícios para a camada mais abastada da sociedade, assim como edifícios religiosos, faziam uso de materiais transportados por longas distâncias e se utilizavam de técnicas ancestrais aprendidas de períodos longínquos (como as utilizadas no Império Romano), para criar uma diferenciação e uma monumentabilidade inversa aos edifícios comuns da plebe.

Desta forma a conveniência era a regra geral para a construção de edifícios, o que ainda hoje acontece devido a fatores principalmente econômicos.

A revolução construtiva do século dezanove

Na metade do século XIX, devido a grande produção industrial, muitos canais de escoamento de massa foram abertos para o transporte de produtos, como ferrovias, canais e estradas, o que alterou significativamente a disponibilidade de materiais ao redor do mundo. No mundo industrializado não era raro o uso do mármore italiano, do vidro belga, da madeira escandinava, entre outros, nos novos edifícios.

Como consequência a teoria e a prática da arquitetura mudaram radicalmente. Os desenhos arquitetônicos passam a representar detalhes do uso de materiais,

principalmente devido ao uso do ferro na construção, que exige uma precisão de informação maior que a usual.

Ainda a partir deste período, duas correntes de pensamento se distinguem. A primeira insiste na verdade do material como expressão arquitetônica, e a segunda compreende o espaço apenas pelas superfícies que o compõe, independentemente de como estas foram feitas. Enquanto na primeira corrente se distingue, por exemplo, o arquiteto Alvar Aalto com sua exploração do tijolo, do bronze e da madeira; na segunda uma onda de edifícios publicados nas melhores revistas se atentam para uma imagem forte do prédio, não importando para tanto o 'recheio' destas superfícies, se foram feitos de tijolos, gesso ou papel. A qualidade tectônica destes edifícios é compreendida pelo o que se supõe, pelo o que se vê por fora, muito diferentemente do que acontece com a produção de Le Corbusier após a Segunda Guerra, quando seus edifícios de concreto aparente expressam a 'verdade construtiva' do edifício.

O peso da construção

Atualmente, um fator muito importante a ser considerado na escolha dos materiais construtivos é seu peso. Obviamente, quanto maior for o peso da construção, mais se deve reforçar a estrutura, o que custa mais caro. Muito tem se investido no sentido de tornar as construções mais leves e este é um fator bastante significativo devido ao que se gasta financeiramente para estruturar um edifício.

Pensando de uma maneira bastante simplificada na questão ambiental, o uso menor de recursos é claramente mais sustentável e, portanto, mais desejável para um menor impacto. É claro que se deve atentar para a qualidade e desempenho destes materiais, assim como seu ciclo de vida, porém usualmente no mercado o fator predominante costuma ser sempre o econômico. O resultado disso são os edifícios construídos atualmente, bastante leves e 'baratos' porém sem um desempenho ambiental adequado. Prefere-se investir em elementos decorativos, em materiais importados na recepção do edifício para agradar os olhos dos transeuntes, ao invés do conforto ambiental do usuário.

O desenvolvimento de novos plásticos, vidros, metais, isolantes termo-acústicos, entre outros componentes construtivos, tornam os edifícios cada vez mais resistentes estruturalmente e mais leves, o que sem dúvida gera uma gama inimaginável de possibilidades arquitetônicas. Geralmente todos estes componentes são industrializados, produzidos fora do sítio e, portanto, transportados para todo o

mundo, suprimindo assim a ansiedade por novas materialidades. Pode-se gastar muito pelo uso de um material original, por uma nova estética.

A dúvida que se coloca aqui é: o quanto se pode gastar financeiramente por um edifício de qualidades ambientais adequadas?

Logicamente novas técnicas e materiais são necessários para gerar edifícios que coexistam mais harmoniosamente com o planeta. Neste processo não se pode perder a compreensão da relação dos homens e dos materiais, relação esta que constrói a arquitetura. A escolha demasiadamente leviana por qualidades estéticas deve ser evitada. Materiais suportam a idéia espacial do homem e sua escolha deve ser responsável ambiental e sócio-economicamente.

3.2.1 Conceituação

Os edifícios causam impactos no meio ambiente de diferentes formas. Podem tanto melhorar a qualidade ambiental daquele espaço, como se tornarem uma grande ferida. Geram efeitos no micro-clima, alterando as condições climáticas como temperatura, ventos, efeitos de sombreamento entre outros. Além disso, os impactos ambientais dos edifícios podem ser visualizados como: grandes crateras no solo, resíduos no ambiente e o efeito estufa.

Para que sejam produzidos os materiais de construção, muitas áreas são devastadas e têm o solo perfurado para que as matérias primas sejam obtidas, tais como minérios, combustíveis fósseis e a madeira. Já na construção de um edifício, o solo é novamente alterado, devido à retirada da camada vegetal, às perfurações e aos movimentos de terra. Estes fatores não só causam um impacto ambiental profundo, como criam uma dissociação com a paisagem natural, alterando significativamente a paisagem urbana.

Uma implementação mais difundida de políticas de reabilitação deve ser incentivada dentro da indústria, para que os efeitos da exploração de recursos possam ser mais conhecidos e assim mais controlados.

A produção de resíduos sólidos ou efluentes resulta de três fases do processo da edificação: a produção do edifício, seu uso e operação (o que inclui sua manutenção e reabilitação), e sua demolição.

A primeira fase da produção do edifício geralmente gera grandes quantidades de resíduos prejudiciais ao meio ambiente e de difícil controle. Muitos dos resíduos são depositados em locais isolados por ainda não se conhecer uma maneira de recolocá-lo no sistema de uma maneira sustentada.

Na segunda fase de operação, manutenção e reabilitação muitos detritos da construção, não biodegradáveis, são levados aos aterros sanitários, onde permanecerão por muito tempo sem um tratamento adequado, como carpetes entre outros.

O mesmo acontece durante a fase de demolição, quando os materiais não são reaproveitados sendo depositados em uma imensa quantidade nos aterros sanitários.

Quanto ao citado efeito estufa deve-se reportar que a maioria dos gases que o causam, como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) são produzidos devido às atividades humanas. Como já é sabido, o acúmulo dos gases de efeito estufa na atmosfera mantém uma temperatura na superfície da terra essencial para a vida humana no planeta, porém um aumento muito grande na concentração desses gases pode levar a um aquecimento global que desencadearia, e muitos cientistas já comprovam estes efeitos, sérios desastres ambientais.

A responsabilidade dos materiais no citado efeito estufa se dá prioritariamente em sua produção, quando se requer grandes quantidades de energia sendo geralmente associada à queima de combustíveis fósseis, o que libera por sua vez, grandes quantidades de poluentes como o dióxido de carbono.

Muitos dos materiais utilizam de muita energia para sua produção, como o aço, por exemplo, porém outro fator significativo que deve ser levado em consideração é o seu transporte associado. A somatória de todos os gastos energéticos nas diversas etapas de produção do material resulta em um valor chamado atualmente de energia incorporada do material. Este conceito será mais detalhado no capítulo a seguir.

3.2.1.1 Energia incorporada

A energia incorporada é definida como a quantidade de energia requerida por todas as atividades associadas ao processo de produção de um produto, incluindo todas as

atividades desde a aquisição dos recursos naturais, à energia utilizada para o feitiço e funcionamento dos equipamentos que produzirão um objeto.

A entrada de energia requerida para a extração, manufatura e transporte dos materiais do edifício, agregada à energia utilizada no processo da construção do mesmo, podem chegar a atingir um quarto da exigência energética durante todo o ciclo de vida de um edifício energeticamente.

Para que se possa reduzir a energia incorporada, sem comprometer sua longevidade ou eficiência incluem-se estratégias como: o reuso dos edifícios sempre que possível; projetar edifícios para uma maior duração, incluindo facilidades de adaptabilidade e manutenção; entre outras.

Segundo Lawson (1996), a visão de que a energia incorporada é quase insignificante comparada à energia de operação durante a vida de um edifício comercial é hoje altamente questionável. A ideia de conservação de energia e de emissões de CO₂ e do consequente incentivo à reciclagem de materiais pode-se dizer ultrapassada, isto devido ao fato de que o desejo em reduzir energia, muitas vezes reduzindo o movimento do ar nos aparelhos de ar-condicionado, afeta a saúde dos ocupantes.

Este fator relevante a ser considerado diz respeito ao problema conhecido como a síndrome do Edifício Doente. Esta síndrome é relacionada prioritariamente aos componentes orgânicos voláteis (COV) liberados por tintas, adesivos, enfim, materiais construtivos que prejudicam a saúde do ocupante por liberarem elementos tóxicos no ambiente. Desta forma, quanto menor a circulação de ar nos aparelhos para que se reduzam os gastos com energia, maior a toxidade do ambiente.

Por conseguinte, o conceito de energia incorporada não era tratado de uma forma holística, onde se incluíam questões como: a inter-relação das partes do problema, a visão a longo prazo, o equilíbrio dinâmico caracterizado por processos cíclicos.

No modelo comentado de ciclo fechado temos o diagrama exposto abaixo.

Figura 41. Modelo genérico do ciclo de vida dos materiais do edifício. Adaptado de LAWSON, 1996.

Neste modelo verifica-se a importância de um ciclo fechado entre a demolição e a reciclagem e a redução dos resíduos destinados ao aterro sanitário. Segundo *The Worldwatch Institute* (2005), em 2030 a principal fonte de matéria para indústria será proveniente de material reciclado.

Figura 42. O ciclo dos materiais adaptado de BERGE, 2001.

3.2.1.2 Análise do ciclo de vida

O ser humano interage com o meio natural consumindo recursos naturais, transformando o espaço e produzindo rejeitos. Estas são as formas com que suas necessidades são satisfeitas.

A denominação de ciclo de vida se dá ao conjunto de processos que envolvem toda a cadeia produtiva “do berço ao túmulo”, desde a extração de matéria prima até o destino dos rejeitos ou do próprio produto.

Cada uma destas etapas interage com o meio ambiente de alguma forma, produzindo efeitos e causando impactos ambientais. Para avaliar ambientalmente um produto é necessário utilizar uma metodologia que contabilize esta totalidade de interações, que ocorrem em diferentes processos e muitas vezes em distinto espaço e tempo (RIBEIRO, 2003). A Análise de ciclo de vida (ACV) visa simular esta metodologia e representa-se como a técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante:

- A compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- A avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- A interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo.

De acordo com Silva (2003), o conceito de análise do ciclo de vida na construção civil tem sido aplicado direta ou indiretamente em:

- Avaliação de materiais de construção;
- Rotulagem ambiental de produtos;
- Ferramentas computacionais de suporte de decisão e auxílio ao projeto;
- Instrumentos de informação aos projetistas;
- Esquemas de avaliação / certificação ambiental de edifícios.

Este último item será mais bem explicitado no capítulo seguinte, onde serão apresentadas as formas de aplicação da análise do ciclo de vida na avaliação de edifícios.

3.2.1.3 Resíduos e Reciclagem

Os seres humanos produzem muitos detritos que não se transformam em nutrientes para outras espécies, resíduos altamente tóxicos e de difícil reabsorção pela natureza.

Segundo William McDonough e Michael Braungart (2004) uma sociedade sustentável eliminaria o conceito de desperdício. Segundo ele, o desperdício não é simplesmente um produto não desejado e prejudicial à vida, é um material fora do lugar. O desperdício e a poluição demonstram a ineficiência do sistema econômico, que gera produtos que não são mais aproveitados pelos homens ou mesmo que se tornam perigosos para estes e outras espécies.

Segundo Berge (2001) a indústria da construção é a maior consumidora de matéria prima depois da indústria alimentícia. Nesta visão, a principal orientação do futuro deve ser a redução drástica do uso destes materiais, assim como a do desperdício de recursos durante a produção, o processo de construção e durante a operação do edifício. A reutilização de materiais depois da demolição deve ser considerada e os processos de reciclagem melhor desenvolvidos para que a qualidade destes produtos seja aprimorada.

A preocupação com resíduos no Brasil é bastante recente. A maior iniciativa neste sentido foi a aprovação da Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção Civil e cria uma cadeia de responsabilidades a todos os agentes envolvidos: o gerador, o transportador, os municípios.

Segundo Agopyan e John (2000), apesar de algum avanço na reciclagem de resíduos, o Brasil ainda está certamente longe de políticas mais abrangentes como a do governo dos EUA, chamada de *Resource Conservation and Recovering Act* (RCRA), que trata da compra preferencial de produtos ambientalmente saudáveis e que privilegia produtos gerados de outros resíduos.

Ainda segundo os autores, as experiências nacionais de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) se dão prioritariamente na forma de agregados, que são empregados em obras de pavimentação e, embora sem desenvolvimento técnico adequado, na produção de pequenos componentes de concreto, como por exemplo, blocos de pavimentação.

A massa de RCD gerado nas regiões urbanas pode ser superior à dos resíduos domiciliares. Estimativas brasileiras são raras e incertas, porém considera-se uma média de 510 kg/hab. Há ainda o problema da deposição ilegal dos resíduos, que pode variar entre 20 e 50% do total gerado nas cidades. A redução da geração deste resíduo é complexa e somente pode ser atingida no médio ou longo prazo. A

reciclagem dos RCD é viável do ponto de vista técnico e ambiental, pois o risco de contaminação ambiental pode ser considerado baixo, embora seja desejável um controle mínimo, prioritariamente a RCD oriundos de instalações industriais (AGOPYAN; JOHN, 2000).

Em relação à reciclagem de embalagens, os índices melhoram bastante. Vale lembrar que no Brasil, 95,7% da produção nacional de latas de alumínio foi reciclada em 2004, número que vem crescendo ano a ano, já que em 2003 o índice foi de 89%. Os números brasileiros superam países industrializados como Japão e EUA, este último recuperando 51% de suas latinhas no ano de 2004 (CEMPRE, 2006).

Índices de Reciclagem de diferentes tipos de materiais de embalagem (2003)

Alumínio	87%
Aço	42%
Longa Vida	20%
Papel Cartão	39%
Papel Ondulado	74%
PET	40%
Plásticos em geral	21%
Vidro	39%

Quadro 8. Índices de reciclagem de diferentes tipos de materiais de embalagem. Fonte: ABRE- Associação Brasileira de Embalagens (2006).

3.2.1.4 Três passos básicos

Para que melhor se possa optar por materiais de construção, sugere-se três passos básicos: a pesquisa, a avaliação e a seleção, como se segue.

1. Pesquisa. Este passo envolve o recolhimento de toda a informação técnica necessária para a avaliação, incluindo informações dos fabricantes, dados de testes de qualidade do ar interno, garantias do produto, propriedades dos materiais, dados sobre o conteúdo reciclado, indicadores ambientais e durabilidade.

2. Avaliação. Esta etapa envolve a confirmação da informação técnica, assim como o preenchimento das lacunas de informação. O avaliador também pode pedir para os fabricantes pelas certificações do produto para evitar classificações exageradas e inverossímeis a respeito do produto. A avaliação se torna ainda mais complexa ao se comparar diferentes tipos de materiais com a mesma função, podendo se tornar necessário o processamento de formulários de dados descritivos e quantitativos.

A avaliação do ciclo de vida (LCA) dirige-se aos impactos ambientais de um produto em todos os estágios de seu ciclo de vida. Embora seja um princípio bastante simples, na prática tem se tornado um processo difícil e dispendioso. Uma ferramenta computacional que usa a metodologia da avaliação do ciclo de vida é o BEES (LIPPIAT, 2000) (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), que permite que os usuários balanceiem o desempenho ambiental e econômico dos produtos do edifício.

3. Seleção. Esta etapa envolve frequentemente o uso de uma matriz de avaliação para apontar os critérios ambientais específicos de projeto. A contagem total de cada avaliação indicará os atributos ambientais do material. Os critérios incluídos no sistema de avaliação podem ser modificados de acordo com os objetivos específicos do projeto.

3.2.2 Da matéria-prima aos materiais de construção

Neste capítulo foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito dos materiais de construção mais utilizados na arquitetura, com o intuito de revelar as implicações ambientais e energéticas que acompanham seu processamento. Questões como resíduos gerados, impactos ambientais, durabilidade e potencialidade de reuso e reciclabilidade foram pesquisadas.

Com um conhecimento mais aprofundado em relação às implicações ambientais que são geradas no momento da seleção de um material para sua aplicação na arquitetura, torna-se mais evidente a responsabilidade e o papel do arquiteto no processo de concepção de um edifício de menor ou maior impacto ambiental.

3.2.2.1 Orgânicos

3.2.2.1.1 Madeira

Segundo Davey (2003) a existência da raça humana no planeta é íntima e ecologicamente limitada à vida das árvores. O efeito das florestas na atmosfera é indubitável, contudo seu papel como pulmão do mundo é muitas vezes exagerado. As florestas naturais estão próximas do equilíbrio ambiental permitindo o crescimento e a deterioração. A madeira contribui para o contrapeso do dióxido de oxigênio e de carbono na atmosfera.

Ainda hoje, alguns ecologistas orientados para o mercado defendem que um terreno gramado possuiria propriedades mais ou menos semelhantes que uma floresta natural quanto sua interação junto ao clima. Esta visão atestaria o que vem ocorrendo em grandes áreas de floresta natural da América do Sul e da Indonésia, que estão sendo convertidas em pastagens para a criação de gado.

Porém como pode ser visto mais adiante no sub-capítulo **Certificação da Madeira** - as florestas podem ser transformadas em grandes absorvedoras de dióxido de carbono à medida que a madeira é colhida antes que inicie seu período de deterioração. De fato, a maioria das árvores derrubadas, particularmente em florestas tropicais, é usada como combustível pela população mais pobre. Como combustível, o carbono retorna para a atmosfera, aumentando o efeito estufa e colaborando com o superaquecimento gradual do planeta. Contudo, se as árvores forem usadas como material construtivo nos edifícios, o carbono é armazenado no material de uma forma estável, que pode durar muitos séculos, o que acaba sendo um benefício positivo ao planeta.

Segundo Davey (2003), a madeira como material de construção tem a vantagem adicional de ter um baixo consumo de energia necessário no seu processamento, conseqüentemente em seu impacto total na biosfera. A conversão de uma árvore em madeira seca e tratada faz uso de 5.3 mega joules por quilograma, enquanto 35 MJ/kg são necessários para produzir o aço e 145 MJ/kg o alumínio. Segundo Lawson (1996), o consumo de energia total do processo variaria entre 3 e 6 MJ/kg, dependendo da eficiência da tecnologia de secagem empregada, já que aproximadamente 75% de toda energia requerida para a produção da madeira é consumida durante o processo de secagem.

A madeira tem aproximadamente as mesmas propriedades estruturais que o aço ou concreto reforçado, contudo para produzir uma seção de aço equivalente a uma seção de madeira de baixa densidade de 50 mm por 300 mm da mesma rigidez, é necessário 19 vezes mais energia. A madeira estrutural de alta densidade mostraria uma diferença ainda maior, pois uma seção menor teria a mesma rigidez. Mesmo em estruturas de grande extensão, a construção em madeira necessita menos do que um quarto da energia necessária para uma construção em concreto (DAVEY, 2003).

Segundo Mulfarth (2004) a madeira serrada proveniente de reflorestamento é a que possui maiores vantagens ambientais devido a sua alta eficiência quanto à energia embutida e quanto à captura de CO₂ da atmosfera. Ainda segundo a autora, as

madeiras industrializadas também possuem vantagens ambientais por aproveitarem muito bem o material com uma menor quantidade de sobras nas construções.

Entretanto o uso da madeira possui diversos problemas os quais devemos nos atentar. As florestas boreais e tropicais estão sendo catastróficamente destruídas mesmo em locais aonde há políticas oficiais de substituição, (cada árvore derrubada ao menos uma muda plantada). As extensas monoculturas resultam deste processo, que reduz extremamente a diversidade natural de espécies animais e vegetais. Está claro que é necessário preservar a diversidade das florestas naturais, não apenas para os interesses humanos. Destruindo a abundância da natureza, perde-se centenas ou milhares de espécies irrecuperáveis, que poderiam ser úteis para o equilíbrio do planeta.

O conceito da utilização total da árvore, no qual o tronco, ramos e até mesmo as raízes das árvores podem ser utilizadas no edifício, tornou-se uma medida importante de uso da madeira e de sua relação com as florestas. Muitos dos produtos que utilizam todas as partes da árvore são: a madeira serrada laminada, alguns tipo de placas, o mdf, o osb (placa orientada), entre outros. Quase todos eles perdem as qualidades enfáticas da madeira natural, mas podem responder a demandas essenciais na construção, podendo ser empregados sempre que possível.

A madeira é o único material construtivo que possui qualidades enfáticas: identificadas no conceito “do berço ao túmulo”. É único material que, corretamente manejado, pode realmente melhorar a qualidade de vida no planeta devido a sua habilidade de ‘estocar’ o carbono. Deve-se utilizá-lo, levando em conta o mais elevado grau de silvicultura, inovação tecnológica e arquitetônica.

3.2.2.1.1.1 Durabilidade da madeira

Segundo Berge (2003), a madeira é muito resistente aos efeitos da poluição atmosférica. Baseado nos textos do autor, os efeitos “naturais” para a deterioração da madeira podem ser originados por duas causas principais, que normalmente ocorrem concomitantemente: a oxidação causada pelo oxigênio presente no ar, ou através de uma reação causada pelo ataque de microorganismos às proteínas e açúcares da madeira. Efeitos “humanos” também foram verificados provavelmente devido ao uso extensivo de fertilizantes para o crescimento rápido da madeira, o que resulta na formação de células mais esponjosas, reduzindo assim a durabilidade da madeira.

Estas condições introduzidas nos anos 50 geraram a necessidade atual de impregnar a madeira de químicos devido a sua menor resistência.

O edifício de madeira mais antigo ainda intacto é considerado o Templo Budista Horyuji, do período Asuka (552-645 d.C.), no Japão. Em Pompéia também foram encontradas vigas de madeira intactas datadas de 1900 anos atrás.

3.2.2.1.1.2 Reciclabilidade da madeira

A madeira é um material reciclável e, na forma de componentes pré-fabricados, pode ser reutilizada de diversas maneiras, o que já é usual na Noruega e na Suécia.

Os japoneses desenvolveram uma série de técnicas para junções da madeira sem a necessidade de colas, conhecidas como "*timber locks*". A maioria de estruturas no século vinte foi baseada em princípios mais ou menos flexíveis, aonde as articulações eram normalmente coladas e pregadas. Alguns produtos químicos como a cola e tratamentos de superfície fazem da madeira imprópria para o uso como combustível, o que pode ser considerado um desperdício problemático.

Na Dinamarca o processo de reciclagem da madeira tem se tornado cada vez mais completo. Vigas de carvalho antigas são abertas, tendo o núcleo central removido para serem utilizadas em placas para assoalhos, por exemplo.

3.2.2.1.1.3 Certificação da Madeira

Em 1993, um grupo multidisciplinar de madeireiros, silvicultores, ambientalistas e sociólogos, fundaram o FSC – *Forest Stewardship Council* - em Toronto, no Canadá. Este conselho foi formado devido à necessidade identificada pelo grupo de um sistema de credibilidade que pudesse informar com honestidade à sociedade sobre a origem e manejo da madeira oriunda de florestas.

A instituição possui um caráter internacional e visa mudar a prática da gestão corrente das áreas florestais no mundo, promovendo um diálogo entre os setores econômico, social e ambiental.

O FSC Brasil foi originado em 2002, de um processo de criação de padrões nacionais iniciado em 1996 e que hoje resulta em unidades nos 5 continentes e em 66 países, somando um total de 54 milhões de florestas certificadas.

A missão do FSC Brasil no processo de certificação é coordenar o desenvolvimento de padrões de certificação nacionais e regionais de manejo florestal; coordenar consultas

junto às operações florestais certificadas no Brasil; e atuar como agente da logomarca FSC, emitindo a licença numerada que garante a autorização para sua aplicação.

Cabe às certificadoras avaliar operações de manejo florestal ou de cadeias de custódia para conceder o uso do selo FSC nos produtos, e auditar operações certificadas, sejam de manejo florestal ou de cadeia de custódia. Também cabe à certificadora precificar e cobrar por este serviço.

O Conselho Internacional estabelece regras para o credenciamento das certificadoras que serão as responsáveis pela liberação do selo FSC. Para garantir a credibilidade e acompanhar a evolução da certificação no mundo, as certificadoras são monitoradas constantemente.

No Brasil, existem atualmente quatro certificadoras credenciadas que estão autorizadas a avaliar as unidades de manejo florestal (empresariais ou comunitárias) e as indústrias processadoras (cadeia de custódia), para assim permitir o uso da logomarca.

Princípios e Critérios para a certificação FSC

Devido a difícil compreensão imediata em relação aos princípios e critérios para a certificação FSC, este trabalho enxergou a necessidade de elencá-los, para uma avaliação mais clara quanto aos parâmetros que compreendem a ponderação. Seguem abaixo os dez princípios balizadores do processo:

Princípio 1: Obediência às Leis e aos Princípios do FSC

O manejo florestal deve respeitar todas as leis aplicáveis ao país aonde opera, os tratados internacionais e acordos assinados por este país, além de obedecer a todos os Princípios e Critérios do FSC.

Princípio 2: Responsabilidades e direitos de posse e uso da terra.

Os direitos de posse e uso de longo prazo relativos à terra e aos recursos florestais devem ser claramente definidos, documentados e legalmente estabelecidos.

Princípio 3: Direitos dos Povos Indígenas.

Os direitos legais e costumários dos povos indígenas de possuir, usar e manejar suas terras, territórios e recursos devem ser reconhecidos e respeitados.

Princípio 4: Relações Comunitárias e Direitos dos Trabalhadores.

As atividades de manejo florestal devem manter ou ampliar o bem estar econômico e social de longo prazo dos trabalhadores florestais e das comunidades locais.

Princípio 5: Benefícios da Floresta.

As operações de manejo florestal devem incentivar o uso eficiente dos múltiplos produtos e serviços da floresta para assegurar a viabilidade econômica e uma grande gama de benefícios ambientais e sociais.

Princípio 6: Impacto Ambiental.

O manejo florestal deve conservar a diversidade ecológica e seus valores associados, os recursos hídricos, os solos, e os ecossistemas e paisagens frágeis e singulares, e ao assim atuar, manter as funções ecológicas e a integridade da floresta.

Princípio 7: Plano de Manejo.

Um plano de manejo apropriado à escala e intensidade das operações propostas deve ser escrito, implementado e atualizado. Os objetivos de longo prazo do manejo florestal e os meios para atingi-los devem ser claramente definidos.

Princípio 8: Monitoramento e Avaliação.

O monitoramento deve ser conduzido apropriado à escala e à intensidade do manejo florestal para que sejam avaliados a condição da floresta, o rendimento dos produtos florestais, a cadeia de custódia, as atividades de manejo e seus impactos ambientais e sociais.

Princípio 9 – Manutenção de florestas de alto valor de conservação.

As atividades em manejo de florestas de alto valor de conservação devem manter ou ampliar os atributos que definem estas florestas. Decisões relacionadas às florestas de alto valor de conservação devem sempre ser consideradas no contexto de uma abordagem precatória.

Princípio 10: Plantações.

As plantações devem ser planejadas e manejadas de acordo com os Princípios e Critérios de 1 a 9. Considerando que as plantações podem proporcionar um leque de benefícios sociais e econômicos e contribuir para satisfazer as necessidades globais por produtos florestais, recomenda-se que elas complementem o manejo, reduzam as pressões e promovam a restauração e conservação das florestas naturais.

3.2.2.1.2 Plásticos

Os polímeros sintéticos conhecidos como plásticos são materiais cada vez mais desenvolvidos tecnologicamente para atender a uma extensa gama de aplicações físicas e químicas. Atualmente o desempenho ambiental destes materiais tem sido bastante questionado, como é o caso do poli cloreto de vinila (PVC), entretanto novos produtos têm sido desenvolvidos para atender parâmetros ambientais mais seguros.

Os plásticos mais utilizados em edifícios são:

- Poliestireno expandido (EPS);
- Poliuretano;
- Polivinil clorídrico;
- Nylon
- Acrílico
- Formaldeídos

Genericamente pode-se dizer que estes materiais requerem muita energia durante seu processo de produção. O uso de aditivos que modificam as propriedades dos plásticos afeta a saúde das pessoas e do meio-ambiente e por isso muitos cuidados devem ser tomados durante todo o processo de produção.

O problema descrito anteriormente a respeito do PVC se dá devido às propriedades cancerígenas do monômero do cloreto de vinila que, mesmo em pequena quantidade, permanece nos produtos de PVC. Muitos países europeus restringiram o uso destes produtos, porém no Brasil ele continua sendo usado e não possui seu destino controlado. Além disto, devido ao baixo valor de alguns de seus produtos, seu uso continua crescendo em grandes proporções.

Segundo o Greenpeace (2006) o PVC é considerado um perigoso problema no Brasil, por criar danos ambientais por todo o seu ciclo de vida: durante a sua produção, devido à utilização de grandes quantidades de substâncias tóxicas; durante seu uso, devido à migração de aditivos tóxicos; e durante a sua eliminação, terminando nos lixões, aterros e corpos de água, contaminando o solo e águas subterrâneas. Caso sofra processos de incineração, o PVC emite substâncias tóxicas, tais como dioxinas e furanos.

Outros materiais que causam muitos males a saúde dos ocupantes são os compostos de formaldeídos, como colas, tintas e solventes. Estes materiais emitem partículas orgânicas voláteis (COVs) e estão presentes na maioria dos adesivos usados para colar carpetes.

Outro problema sério diz respeito ao destino destes materiais, que quando se dirigem aos aterros sanitários ou à incineração causam muitos problemas ambientais, como a grande presença de metais pesados no ar.

Alternativas para estes materiais tóxicos são as resinas elaboradas com mais de 70% de matérias-primas naturais renováveis, que não liberam gases tóxicos durante ou depois de sua aplicação, sendo muito recomendáveis para locais fechados. Já existem no mercado tintas e colas inodoras e que não liberam COVs. Muitas tintas à base de água, argilas e corantes naturais já estão disponíveis no mercado e respeitam normas européias de não possuir em sua composição mais de 0,1% de derivados de petróleo. Estes materiais são normalmente mais caros e muitas vezes não possuem um desempenho técnico ideal, como por exemplo, às vezes “escorrem” na parede e não proporcionam uma cobertura adequada.

Porém, o Brasil está lentamente se aproximando dos padrões internacionais, principalmente devido às pressões exigidas por empresas externas importadoras ou multinacionais instaladas no país. É o caso das tintas automotivas, que já atendem a padrões ISO 14.000. Entretanto, no setor da construção muito ainda deve ser feito.

3.2.2.1.2.1 Durabilidade dos plásticos

Muitos são os fatores que afetam a durabilidade dos plásticos: os raios visíveis e ultravioletas; condições térmicas extremas como frio, calor, vento, neve; estresse mecânico; ácidos; poluentes e o ozônio; água; microorganismos; plantas, entre outros.

Devido ao fato de que a maioria dos produtos plásticos está no mercado a mais ou menos vinte anos, não se sabe muito sobre a durabilidade destes, pois o desenvolvimento de novos materiais foi muito rápido e a gama de diferentes compostos e aditivos incluídos fazem com que haja uma variação muito grande de desempenho. O tempo e um maior conhecimento científico com certeza responderão melhor a esta dúvida.

3.2.2.1.2.2 Reciclabilidade dos plásticos

A PLASTIVIDA - Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos (2005) fez um acompanhamento da reciclagem de plástico pós-consumo no Brasil nos estados da Bahia, Ceará, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul e na Grande São Paulo entre 1999 e 2003.

O índice médio concluído pelo Instituto para o Brasil é de 17,5% de material plástico reciclado, o que parece bastante positivo em comparação à taxa europeia que gira em torno de 22%. Porém este dado é bastante genérico e não é possível verificar o peso do impacto dos resíduos plásticos produzidos pela indústria da construção, foco deste trabalho. Aliado a este fator, pouco se conhece em relação às tecnologias utilizadas para a reciclagem destes materiais para a construção, a ponto de se compreender qual o real impacto de uma decisão por um ou outro material.

Esta pesquisa localizou uma empresa dinamarquesa atuante no reaproveitamento de materiais contaminados, a qual desenvolveu um método para reciclagem química de PVC pós-consumo, que consiste na sua conversão em sal e compostos orgânicos e inorgânicos. O sistema foi projetado com apoio de um programa formado por indústrias europeias destinado ao desenvolvimento de técnicas de reaproveitamento de resíduos de PVC que contribuam para manter ou aumentar a viabilidade do uso desta resina.

Apesar da existência da tecnologia dinamarquesa e segundo o próprio Instituto do PVC (2006), organização criada em 1997 no Brasil, da quantidade total gerada de lixo, apenas 8% das peças plásticas são recicladas por um total de 800 empresas. A mesma instituição indica que o setor da construção civil é responsável por 60% do mercado mundial do material, o que mostra o tamanho do impacto deste produto sem um destino controlado.

Ao mesmo tempo um esforço tecnológico tem sido realizado, inicialmente com a criação de produtos feitos com material reciclado, como o polietileno tereftalato, mais conhecido como PET, por exemplo. O que acontece é que os efeitos deste material na forma de tubulação de água não são muito conhecidos, podendo causar danos à saúde dos ocupantes.

É importante lembrar que, como uma alternativa para os materiais plásticos de difícil reciclabilidade, os polímeros plásticos biodegradáveis (PADs) têm sido desenvolvidos, onde a compostagem pode se tornar um método importante no gerenciamento de

resíduos. A degradabilidade destes materiais após seu uso permite que continuem no ciclo natural de carbono. No setor da construção civil a aplicação deste tipo de material tem forma em cabos elétricos, isolantes térmicos, filmes e malhas protetoras, paredes de contenção, entre outros. (INOCENTNI-MEI; CORRÊA, 2005).

3.2.2.2 Cerâmicos

Em relação aos outros materiais, exceto a madeira, os cerâmicos não requerem um processamento complexo desde a extração do material até a fabricação do produto final. São materiais inorgânicos e consistem prioritariamente na pedra; cimentos e concretos; vidro; telhas e tijolos.

3.2.2.2.1 Terra e Tijolos

O uso da terra crua como material de construção é uma solução primitiva, mas até hoje novas tecnologias têm sido desenvolvidas para uma aplicação mais racionalizada deste material. As técnicas mais conhecidas consistem nos tijolos de adobe, paredes de taipa de pilão e blocos de solo-cimento.

Uma técnica mais atual é a chamada *Pneumatically Impacted Stabilized Earth* (PISÉ). O método é uma modificação da tradicional taipa de pilão e foi modificada para acelerar o processo de construção de paredes monolíticas (ELIZABETH; ADAMS, 2000).

Neste processo, o ar sob pressão é usado para direcionar e impactar a mistura de solo contra uma face formatada. Desta forma a construção é muitas vezes mais rápida, porém envolve a contratação de pessoal com equipamentos sofisticados e caros, que exigem dias de montagem.

Idealmente, a solução de se construir com terra deveria ser escolhida quando da presença deste material no local da obra, já que os custos econômicos e energéticos de transporte a inviabilizaria.

Um fator significativo na hora da seleção do material é a necessidade de grandes quantidades, o que torna a energia incorporada mais alta do que se espera. Segundo Lawson (1996), um indicador energético estaria entre 400 MJ/m². A virtude desta grande quantidade de material se reverte para a característica de possuir grande massa térmica e, por consequência, grande inércia, vantagem para climas de grande amplitude térmica.

Já os tijolos ou telhas que necessitam de queima, diferentemente dos até agora expostos, se tornam mais resistentes e duráveis, porém possuindo uma alta energia incorporada e causando efeitos ambientais negativos.

A maioria das argilas utilizadas para a produção de tijolos contém traços de sulfatos que são liberados durante o processo de queima como gases de dióxido de carbono (CO_2) e dióxido de enxofre (SO_2).

Produtos esmaltados ainda provocam piores impactos, pois os resíduos do esmalte podem contaminar a água como os componentes de metais tais como o cobalto, magnésio, ferro, zinco, cobre e cromo. Desta forma, a eliminação cuidadosa de tais desperdícios é necessária.

O maior consumo do processamento deste material se dá no momento da secagem e queima, chegando a até 80%. No Brasil há um número bastante expressivo de pequenas olarias, que extraem a madeira e a argila do entorno da fábrica para a fabricação dos tijolos e telhas e acabam por poluir a região de forma incontrolável. Só no município de Santa Catarina são 200 olarias queimando madeira, carvão e outros combustíveis e jogando material particulado na atmosfera (LISBOA, 2001). Aliado ao fator ambiental, há o problema sócio-econômico, devido ao uso de mão de obra infantil, principalmente no Nordeste do país.

Desta forma, para que a produção deste tipo no Brasil seja feita de forma sustentada, será necessário um maior controle em relação aos problemas acima citados. Infelizmente, estes processos não são conhecidos e divulgados claramente para o público comprador e este é um passo básico para que as construções tenham um melhor desempenho.

3.2.2.2.1.1 Durabilidade da terra e tijolos

Tomados os devidos cuidados as construções de terra costumam ter uma vida muito longa. O principal fator que impede a longa vida é a umidade e o efeito de micro organismos relacionados. Todos os esforços projetuais devem ser feitos para impedir este problema, que pode levar a riscos inconvenientes.

Uma boa e homogênea composição da terra crua para a construção pode chegar a ótimas propriedades estruturais, o que pode ser visto em construções de seis pavimentos na Alemanha.

Tijolos e telhas queimados possuem uma alta durabilidade. Um fator que não pode deixar de ser considerado, é que a maioria destes tijolos possui uma boa resistência para suportar cargas estruturais, porém vêm sendo utilizados apenas como vedação.

3.2.2.2.1.2 Reciclabilidade da terra e tijolos

Os edifícios de terra crua podem ser reciclados muito mais facilmente do que qualquer outro material, podendo chegar a 100% de reaproveitamento.

Já a reciclabilidade de tijolos queimados ou telhas cerâmicas deve ser considerada, já que a energia requerida durante sua manufatura é muito alta.

A maior proporção de resíduos nesta indústria cerâmica são as peças defeituosas, que são normalmente descartadas, enquanto poderiam ser incorporadas no corpo do material argiloso para a produção de novas peças.

Inicialmente deve-se considerar o reuso do material, principalmente aqueles que não tenham sido unidos por ligas de cimento.

3.2.2.2.2 Vidro

O vidro, tal como o concreto e o aço, foi emblemático durante o auge da arquitetura moderna. A tecnologia que permitiu a produção de grandes folhas de vidro (vidro de flutuação, conhecido como vidro *float*) é essencialmente simples em seu conceito e foi desenvolvida no início do séc.XX.

O vidro é composto de areia quartzosa, cinzas de soda, pedra calcária e quantidades menores de minerais como a dolomita e o feldspato. O Brasil consome cerca de 1,6 milhões de toneladas por ano – tpa - de areia quartzosa; 300 mil tpa barrilha; 240 mil tpa de calcário e 30 mil tpa feldspato (TANNO; MOTTA, 2000).

A operação, que dura 24 horas por dia, e a alta temperatura da produção do vidro contribuem para um consumo muito alto de energia, embora a fábrica moderna possua hoje uma operação eficiente energeticamente.

Os aditivos e os filmes usados nos vidros para gerar efeitos diferenciados são usualmente óxidos de metais, tais como o ferro, níquel, cobalto, o cobre e halides de prata para o caso de vidros foto cromáticos. Embora somente usados em pequenas quantidades é necessário verificar o cuidado tomado pelas indústrias, para assegurar de que não sejam liberados ao ambiente durante a manufatura. A adição destes componentes também pode dificultar a reciclagem do vidro.

No Brasil, as vidrarias compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem diretamente de campanhas de reciclagem. Além de voltar à produção de embalagens, a sucata pode ser aplicada na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, produção de espuma e fibra de vidro, tintas reflexivas, entre outros.

3.2.2.2.2.1 Durabilidade do vidro

Segundo o Banco de dados de Vidros do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo (ALLUCI, LONGO e INOUE, 2006) a diversificação dos produtos de vidro aplicados para construção é muito grande. Devido a este fator, pequenas variações na química e no tratamento dos vidros resultam em amplas diferenças de desempenho e aparência.

3.2.2.2.2.2 Reciclabilidade do vidro

O vidro pode ser reciclado sucessivamente, sem um limite no número de vezes, sem nenhuma redução na qualidade ou em suas propriedades. Segundo a ABIVIDRO- Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (2006), com um quilograma de vidro se faz outro quilograma de vidro, com perda zero e sem poluição para o meio ambiente. Além da vantagem do reaproveitamento de 100% do caco, a reciclagem permite poupar matérias primas naturais, como areia, barrilha, calcário, etc.

Segundo dados do CEMPRE (2006), 46% das embalagens de vidro brasileiras são recicladas, contra 22% no Reino Unido e 92% na Suíça. No restante da Europa, a média fica entre 50 e 70% de vidro reciclado, sendo que metade do vidro coletado se transforma em vidro verde e uma boa parte o vidro marrom.

Três segmentos de vidro são reciclados no nosso país: os planos, utilizados, por exemplo, em janelas e tampos de mesas; os de embalagem e os especiais, como os aplicados em garrafas térmicas, lãs de vidro, entre outros. Segundo a ABIVIDRO(2006), a reciclagem gera muitas vantagens econômicas, além das sociais, por provocar um número considerável de empregos no setor.

A maior vantagem na reciclagem do vidro é que o material reciclado necessita de uma menor temperatura para derreter que os vidros 'crus', o que gera uma economia considerável de energia. Conseqüentemente, a adição de maiores quantidades de vidro reciclado lavado e triturado aos novos materiais gera economias substanciais da

energia. Segundo Lawson (1996), para cada frasco de vidro reciclado seria possível acender uma lâmpada de 100 watts durante quatro horas. Segundo o CEMPRE (2006), para cada 10% de caco de vidro na mistura economiza-se 4% da energia necessária para a fusão nos fornos industriais e a redução de 9,5% no consumo de água. Outra vantagem no uso de material reciclado durante a manufatura diz respeito à poluição do ar e da água, que são diminuídos respectivamente em 20 e 50% em relação aos vidros produzidos com matéria-prima virgem. Uma tonelada de vidro produzida de materiais virgens cria aproximadamente 175 kg de resíduos durante a extração nas minas, porém, caso 50% da composição do vidro seja reciclado, a quantidade de resíduos cai para três quartos.

3.2.2.2.3 Cimento e Concreto

O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto torna-se uma pedra artificial e sua composição pode variar de acordo com as necessidades de cada obra. O concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água (ABCP, 2006).

Segundo a Comissão das Comunidades Européias (2001), cimento é a designação geral para agentes aglutinadores cujos ingredientes incluem óxido de cálcio (cal). Em sua produção queima-se uma mistura de carbonato de cálcio, silicatos (de areia, argila ou cinzas provenientes das centrais elétricas) e traços de minérios como alumínio ou ferro a uma temperatura de 1500°C. O produto deste processo é uma mistura de compostos químicos de cálcio, silício e oxigênio com traços de alumínio e ferro, aos quais se adiciona 5% de sulfato de cálcio (gesso). A composição exata da mistura dará uma propriedade diferente do cimento.

Devido à alta energia necessária para a queima, o processo é considerado intensivo energeticamente, consumindo de 5 a 6 MJ/kg, aonde 85% é concentrado na fase da calcinação (LAWSON, 1996). Além de consumir muita energia, o processo libera dióxido de carbono, óxidos nitrosos, sulfúricos e particulados na atmosfera. A quantidade depende da matriz energética da indústria e da composição exata da mistura, porém o problema ambiental gerado é um fato com o retorno dos particulados com a precipitação das chuvas, entre outros efeitos que agredem a saúde da população e do entorno natural.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2006), o mercado nacional dispõe de 8 opções, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras.

Esses tipos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições, tais como escórias, pozolanas e calcário, acrescentadas no processo de moagem.

Podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca etc. O próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição (CP I-S), neste caso, de 1% a 5% de material pozolânico, escória ou filer calcário e o restante de clínquer.

O Cimento Portland Composto (CP II- E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e filler, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I-S. Já o Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 70% (CP III), e pozolana de 15% a 50% (CP IV).

3.2.2.2.3.1 Durabilidade do cimento e concreto

Algumas alternativas foram desenvolvidas para alterar a composição do cimento, com o fim de melhorar suas características, diminuir o consumo de energia durante o processo de fabricação e reaproveitar os resíduos poluidores.

Desta forma foram desenvolvidos cimentos com o uso de adições como as escórias de alto forno (subproduto da fabricação do ferro-gusa) e pozolanas. Segundo a Companhia Siderúrgica de Tubarão, a aplicação de escória granulada de alto-forno traz vantagens, também, para os concretos, nas quais se destacam: maior resistência final e maior durabilidade; menor risco de fissuração; melhor trabalhabilidade e plasticidade; maiores resistências finais; menores porosidade e permeabilidade; contribuição para prevenção de reações álcalis-agregados e aumento da resistência à corrosão por cloretos e a sulfatos.

Segundo a ABCP as pozolanas (que podem ser cinzas volantes, argilas calcinadas, diatomitos, rochas vulcânicas, sílica ativa), componente do clínquer (principal responsável pelo calor de hidratação) e combinada com a cal gerada pela hidratação do cimento, podem diminuir a permeabilidade do concreto, aumentando sua resistência aos ataques químicos. Estes fatores melhoram a durabilidade do material.

3.2.2.2.3.2 Reciclabilidade do cimento e concreto

A reciclabilidade dos cimentos ou de composições que possuam este material, como concreto entre outros, é considerada pobre.

Porém, a indústria do cimento pode reduzir seu consumo de energia durante o processo de produção, utilizando-se da escória de alto-forno. Através do uso da escória e da pozolana, também é possível a redução da poluição devido à diminuição da emissão de gás carbônico.

Uma grande parte da escória granulada é consumida pela indústria cimenteira, no entanto uma parte considerável ainda é destinada e acumulada nos aterros sanitários. Os grãos menores de escória são predominantemente vítreos e podem ser utilizados na produção de cimento, enquanto os grãos maiores constituem-se em agregados leves.

Atualmente, indústria siderúrgica já considera a questão ambiental como parte de sua estratégia competitiva, valorizando economicamente seus resíduos, o que pode ser visto recentemente com a construção da primeira fábrica brasileira de cimento que não dispõe de forno próprio para a produção de clínquer, a cimento Mizu. Os efeitos ambientais deste tipo de cimento são substancialmente menores do que os gerados pelo cimento Portland comum e significativamente perceptíveis quando se avalia o ciclo de vida deste novo cimento (ÂNGULO et al, 2001).

Entretanto, segundo Ângulo et al (2001), devido à falta de critérios de controle adequados à realidade brasileira, a expansibilidade deste tipo de escória tem levado os vários desastres, tanto quando utilizada como base de pavimentação, aterro ou agregado para concreto. Desta forma o desenvolvimento de critérios técnicos para o controle da qualidade e uso do produto deve ser seriamente levado em consideração pelo setor siderúrgico.

3.2.2.3 Metálicos

Em épocas remotas os metais eram praticamente inaccessíveis devido à complexidade das técnicas requeridas para sua produção. Durante a revolução industrial, grandes mudanças ocorreram nas técnicas da produção e os metais tornaram-se praticamente essenciais na indústria dos edifícios, que se utiliza principalmente do aço e do alumínio, seguidos do cobre e do zinco.

3.2.2.3.1 Aço e Alumínio

A utilização do metal se dá por grande espectro de possibilidades, desde telhas metálicas, a janelas e estruturas e a pregos e pinturas. Em geral, os metais podem ser substituídos por outros materiais tal como a madeira e o cimento, o que não acontece quando da necessidade de elementos articuladores, tais como pregos e parafusos.

Durante a extração do minério, montanhas de resíduos e de poeira são produzidas, causando sérios impactos ambientais. A extração também cria cicatrizes na paisagem, que teoricamente deveriam ser restauradas. Mesmo assim se torna praticamente impossível de se restabelecer a flora e a fauna local e um nível aceitável da qualidade da água. Além disto, o consumo da energia para a produção dos metais é elevado. Produtos como o alumínio, resultam em 170MJ/kg, um valor bastante alto.

Como resíduos, os metais que são expostos à água corrente liberam partículas no solo e na água que podem danificar muitos organismos diferentes, dependendo da quantidade e do grau de toxicidade que contêm. É importante notar que a poluição proveniente de metais é irreversível, ela não se decompõe. Entretanto, a quantidade utilizada de metais na indústria da construção continua a crescer. Desta forma, apesar das potenciais possibilidades da reciclagem dos metais, ela é apenas uma forma de adiar uma poluição inevitável.

3.2.2.3.1.1 Durabilidade do aço e do alumínio

Materiais metálicos normalmente sofrem o processo de corrosão. A corrosão química ocorre principalmente na presença da água e do oxigênio, em um processo de oxidação. O ferro chega a perder até 20 por cento de sua massa neste processo, em contrapartida, o cobre, o alumínio e o cromo são relativamente resistentes. Os metais também são atacados por ácidos: o ácido carbônico, originado do dióxido de carbono e a água e o ácido sulfúrico. Esta reação acontece principalmente no ferro, alumínio e magnésio.

Materiais básicos tais como uma solução de cal e o concreto podem atacar os metais, particularmente o alumínio e o zinco. Determinadas combinações de metais também podem sofrer eletro corrosão. O restante dos metais, teoricamente, se enquadram no reuso e na reciclagem.

3.2.2.3.1.2 Reciclabilidade do aço e do alumínio

Estruturas pré-fabricadas são simples de serem reutilizadas devido ao descomplicado desmonte. No concreto reforçado, onde o índice de aço pode ser de até 20 por cento, a reciclagem se torna um processo difícil, porém um processo necessário.

Uma diferenciação deve ser feita entre o resíduo industrial e o doméstico. O industrial é geralmente puro e pode ser reciclado sem dificuldade, enquanto que o doméstico pode conter uma variedade de substâncias que podem causar problemas. O tratamento de superfície que se dá aos metais também gera complicações para a futura reciclagem.

Todos os metais e ligas usadas na indústria da construção podem ser derretidos e reciclados. O metal pode ser adicionado a novos processos em diversas proporções, de 10 a 100 por cento dependendo da qualidade do produto que se quer produzir. As ligas de aço e de alumínio somente podem ser usadas na composição de produtos similares, visto que o cobre e o níquel podem ser recuperados completamente como componentes principais. O cobre, por exemplo, pode ser removido das composições por um processo eletrolítico.

O setor siderúrgico é também um grande reciclador. Boa parte do aço destinado a reforço de concreto armado produzido no país é proveniente do processo de arco elétrico, que utiliza como matéria prima quase que exclusivamente sucata. A reciclagem desta sucata permitiu economizar em 1997 cerca de 6 milhões de toneladas de minério de ferro, evitou a geração de cerca de 2,3 milhões de toneladas de resíduos e de cerca de 11 milhões de toneladas de CO₂. (ÂNGULO et al, 2001).

O Brasil já dispõe de capacidade instalada para absorver 100% da sucata de embalagens de aço. Em 2003, foi atingido o recorde histórico de reciclagem quando se alcançou 78%, segundo dados do CEMPRE. Já em relação ao alumínio, os números mostram que o país reciclou, em 2003, 89% de todas as latas de alumínio consumidas, o que representa mais de 8,2 bilhões de unidades.

Segundo Berge (2001), por princípio, todos os metais podem ser reciclados e com isso, para a maioria deles, o consumo de energia poderia ser reduzido de 20 a 40% e, no caso do alumínio, de 40 a 70%. A indústria siderúrgica tem o potencial de gerar um calor adicional, que poderia ser distribuído nos distritos industriais.

3.3 Água

Durante séculos a água foi considerada um recurso de disponibilidade infinita. Porém, o crescimento das cidades aumentou de tal forma a quantidade de esgotos lançados nos córregos, rios, represas e lagos próximos às aglomerações, que a capacidade de autodepuração desses corpos receptores foi superada pela carga poluidora dos efluentes.

A escassez e a poluição dos recursos hídricos têm consequências sociais, econômicas e ambientais, uma vez que: comprometem o equilíbrio dos ecossistemas, dificultando a conservação da flora e da fauna e a diluição dos efluentes; provocam doenças por causa da má qualidade ou pela falta de água em quantidade suficiente para as necessidades mínimas; impedem o desenvolvimento socioeconômico, ao prejudicar as atividades de recreação e pesca e as propostas paisagísticas; atrapalham o desenvolvimento industrial, ao dificultar a geração de energia elétrica, refrigeração de máquinas, produção de alimentos, navegação e turismo; e o impedem desenvolvimento da agricultura, ao dificultar a produção de cereais, frutas e hortaliças.

Segundo Philippi (2005), cerca de 75% da superfície do planeta é constituída de água, sendo que 97% dessa proporção está situada nas águas salgadas dos mares e oceanos; 2,7% estão em forma de geleiras, neve e vapor atmosférico e em profundidades inacessíveis, restando apenas 0,3% para aproveitamento. Desta parte disponível, 8% é utilizada para consumo humano, podendo chegar a apenas 1%, como em países da América do Sul, que chegam a utilizar 99% da água disponível para agricultura.

Uma grande questão da água diz respeito a sua desigual disponibilidade ao redor do mundo e mesmo dentro do território brasileiro. Em um panorama mais amplo 60% dessa quantidade é distribuída em apenas três países: Brasil, China e Rússia. Dentro do território brasileiro, a região sudeste, que concentra 42.65% da população do país, possui apenas 6% dos recursos hídricos, enquanto a região Norte, que concentra 6.98% da população, possui 68.5% dos recursos hídricos do país.

Três grandes unidades hidrográficas: Amazonas, São Francisco e Paraná, concentram cerca de 80% da produção hídrica do país. Estas bacias cobrem cerca de 72% do território brasileiro, dando-se destaque à Bacia Amazônica, que possui cerca de 57% da superfície do País (AMBIENTE BRASIL, 2006).

Embora tamanha quantidade de água doce, há um grave problema de abastecimento no País devido ao crescimento das localidades e à degradação da qualidade da água. O baixo nível tecnológico e organizacional está em condições primárias de uso, recebendo a contribuição da ocupação rural, que aumenta o desmatamento das bacias hidrográficas. O grande desenvolvimento dos processos erosivos do solo faz com que haja um empobrecimento de pastagens nativas e redução das reservas de água do solo, assim produzindo a queda da produtividade natural.

O conhecimento das variações de tempo, espaço das chuvas, descargas dos rios, de fatores ambientais, sócio-culturais, condições de uso e conservação dos seus recursos naturais, permitem planejar, evitar ou atenuar os efeitos do excesso ou da falta de água.

A dessalinização das águas do mar e de aquíferos subterrâneos com salinidade elevada será a solução para vários países que tenham o capital, a tecnologia e o acesso à água salgada. Infelizmente a água potável gerada por estas usinas ainda será um produto caro e naturalmente inacessível a muitos.

Outra alternativa é a captação das águas de chuva. Esta é uma solução bastante simples e que provoca grandes impactos na quantidade de água demandada da rede servida. Em países com estações chuvosas é possível maximizar os reservatórios e estoques de água pelo uso inteligente da água de precipitação. Somente a água precipitada na Grande São Paulo durante os meses de janeiro a março é superior em volume a todo o consumo da cidade em um ano. Este exemplo é válido para quase todos os locais onde existem estações chuvosas.

3.3.1 O consumo de água no Brasil e no mundo

Segundo Philliphi (2005), considerando que o volume de água disponível nos rios, lagos e no subsolo seja de 44.800 km³ e a população do planeta de 6.60 bilhões de pessoas, a disponibilidade para cada pessoa é de 591 m³ de água. Com consumo médio de 100 litros/habitante/dia, cada pessoa teria água suficiente para se abastecer por dezessete anos. Supondo uma expectativa de vida de setenta anos, pode-se concluir que uma mesma pessoa irá fazer uso da mesma água por quatro vezes. Fica evidente, por esse cálculo expedito, a necessidade de tratamento de efluentes.

Segundo os autores, estima-se que o consumo de água no mundo na década de 1940 era em torno de 400m³/habitante/ano. Já na década de 1990, esse valor subiu para 800m³/habitante/ano (BID, 2005).

No Brasil, segundo fonte do BNDES (2005) a distribuição do consumo de água acompanha a do resto do mundo. Nos anos 90, 43% da água foi destinada a irrigação, 25% para uso industrial e 32% para uso doméstico. Estima-se que em 2010, o destino da água da rede pública aumente ainda mais para a irrigação, chegando à metade do uso do recurso, diminuindo-se então o uso para atividades domésticas, mantendo a proporção do uso industrial.

Figura 43. Distribuição do consumo de água por atividade em 1990 e em 2010. Fonte: BNDES, 2005.

Se a população continua a crescer, como imaginar a diminuição da proporção do uso de água doméstico? Segundo a fonte, citada principalmente devido ao aumento de tarifas que acabam por desestimular o uso do recurso, além de estratégias tecnológicas como o uso de sistemas economizadores (vasos sanitários com caixas com 6 e 3 litros – metade da vazão das caixas convencionais – entre outros).

Segundo Lomborg (2002), há três problemas decisivos. O primeiro, diz respeito à precipitação da água da chuva, que não está igualmente distribuída através do globo. O segundo, é que haverá cada vez mais pessoas na Terra e como os níveis de precipitação permanecerão mais ou menos constantes, haverá menos recursos hídricos para cada pessoa. O Terceiro é que muitos países recebem grande parte de seus recursos hídricos dos rios; 261 sistemas fluviais que drenam pouco menos da metade da área terrestre do planeta, são compartilhados por dois ou mais países. Pelo

menos 10 rios fluem por meia dúzia de países ou mais. A maioria dos países do Oriente Médio compartilha lençóis freáticos, o que significa que a questão da água também possui uma perspectiva universal, que pode ser um conflito internacional potencial.

Quadro 9. Países com escassez crônica de água – abaixo de 2.740 litros per capita por dia – em 2000, 2025 e 2050, comparados com alguns outros países. Fonte: LOMBORG, 2002.

Água disponível, litros per capita por dia	2000	2025	2050
Kuwait	30	20	17
Emirados Árabes Unidos	174	129	116
Líbia	275	136	92
Arábia Saudita	325	166	118
Jordânia	381	203	145
Cingapura	471	401	403
Iêmen	665	304	197
Israel	969	738	644
Omã	1.077	448	268
Tunísia	1.147	834	709
Argélia	1.239	827	664
Burundi	1.496	845	616
Egito	2.343	1.667	1.382
Ruanda	2.642	1.562	1.197
Quênia	2.725	1.647	1.252
Marrocos	2.932	2.129	1.798
África do Sul	2.959	1.911	1.497
Somália	3.206	1.562	1.015
Libano	3.996	2.971	2.533
Haiti	3.997	2.497	1.783
Burkina Faso	4.202	2.160	1.430
Zimbábue	4.408	2.830	2.199
Peru	4.416	3.191	2.680
Malavi	4.656	2.508	1.715
Etiópia	4.849	2.354	1.508
Irã	4.926	2.935	2.211
Nigéria	5.952	3.216	2.265
Eritreia	6.325	3.704	2.735
Lesoto	6.556	3.731	2.665
Togo	7.026	3.750	2.596
Uganda	8.046	4.017	2.725
Nigéria	8.235	3.975	2.573
Porcentagem de pessoas com escassez crônica	3,7%	8,6%	17,8%
Reino Unido	3.337	3.270	3.315
Índia	5.670	4.291	3.724
China	6.108	5.266	5.140
Itália	7.994	8.836	10.862
Estados Unidos	24.420	20.405	19.521
Botsuana	24.859	15.624	12.122
Indonésia	33.540	25.902	22.401
Bangladesh	50.293	35.855	29.576
Austrália	50.913	40.077	37.930
Federação Russa	84.235	93.724	107.725
Islândia	1.660.502	1.393.635	1.289.976

Além destes três problemas centrais, o autor também indica três outras questões importantes em relação à falta de água. Uma é a preocupação com a poluição da água, particularmente da potável. A segunda é em relação ao acesso à água no Terceiro Mundo, aonde existe uma visão errônea do problema, que não está na falta de água (exceto o Kuwait) e sim na falta de investimento em infra-estrutura. Por fim, a última diz respeito ao aquecimento global e sua relação com o uso da água.

Estima-se que um ser humano necessite de uns dois litros de água por dia, porém a abordagem mais comum consiste em usar o denominado índice de tensão hídrica proposto pelo hidrólogo Malin Falkenmark (1997) Esse índice tenta estabelecer um

nível mínimo aproximado de água per capita para manter uma qualidade de vida adequada em um país moderadamente desenvolvido em uma zona árida. Essa abordagem vem sendo usada por várias organizações, inclusive o Banco Mundial e com esse índice, avalia-se que os seres humanos necessitem de uns 100 litros diários para beber, para as necessidades domésticas e higiene pessoal, e entre 500 e 2000 litros adicionais para a agricultura, indústria e produção de energia. Como a água costuma ser mais necessária na estação seca, o nível de tensão hídrica é fixado em um nível mais alto: um país com menos de 4.600 litros disponíveis por pessoa deverá experimentar tensão hídrica regular ou periódica. Se o escoamento acessível cai para menos de 2740 litros, diz-se que o país experimenta uma escassez crônica de água. Abaixo de 1370 litros, o país experimenta escassez absoluta de água e escassez aguda (LOMBORG, 2002).

Desta forma os desafios da água enfatizam a necessidade de um gerenciamento mais cuidadoso, fixação de preços mais realistas e adequados e, em alguns lugares a substituição da agricultura pela importação. Segundo o relatório global World Water Vision, do World Water Council (2005): *'há uma crise de água atualmente. Mas a crise não consiste na insuficiência da água para satisfazer as nossas necessidades. Ela resulta da má gestão dos recursos hídricos, prejudicando gravemente bilhões de pessoas e o meio ambiente. '*

3.3.2 Impactos dos sistemas urbanos

O sistema urbano típico de uso da água apresenta hoje um ciclo imperfeito. A água é bombeada de uma fonte local, é tratada, utilizada e depois retorna para o rio ou lago, para ser bombeada novamente. Porém, a água devolvida raramente tem as mesmas qualidades da água original, extraída da natureza. Sais, matéria orgânica, calor e outros resíduos que caracterizam a poluição da água, agora fazem parte da substância.

Segundo Hall (1984), os efeitos da urbanização e seu crescimento acarretam em um conjunto de causas e efeitos que se relacionam diretamente com a urbanização das cidades e suas consequências, como se vê na figura abaixo.

Figura 44. Diagrama de causas e efeitos da urbanização. Adaptado de Barreto, 1998.

Graça Saraiva, em palestra realizada em 2003 no Workshop – A questão da água nas grandes cidades brasileiras (2004), alerta que o meio urbano é particularmente complexo nas suas relações com a água, dadas as profundas alterações tanto do ponto de vista qualitativo, como a poluição e degradação da sua qualidade; como do ponto de vista quantitativo, alterando o regime de caudais, morfologia e dinâmicas fluviais, agravando o risco de cheias e inundações.

Segundo o autor, desde tempos remotos o processo de alteração do escoamento hídrico em meio urbano está associado ao desenvolvimento das cidades, mas sobretudo, nos últimos séculos que se constata profundas modificações nas zonas ribeirinhas urbanas, devido à poluição, regularização, canalização e cobertura de rios em meio urbano. O risco de cheias e inundações tem sido, em muitas situações, a causa, mas também o efeito de muitas intervenções que tem contribuído para a degradação dos processos fluviais em bacias hidrográficas urbanas.

Segundo Orestes Gonçalves, também no Workshop – A questão da água nas grandes cidades brasileiras (2004), a questão da água é uma preocupação profunda para as edificações e para a construção civil, refletida em um dos quatro temas abrangidos na Agenda 21 para a construção civil criada pelo CIB, o Conselho Internacional da Construção.

Segundo Barreto (1998), a questão da água de abastecimento é crítica, pois envolve diversos fatores para a garantia de suprimento, visto que normalmente o crescimento das cidades avança em ritmo superior à capacidade de expansão da rede de água e esgotos.

Aliado a este fato, tanto os usuários industriais como os residenciais, de forma geral, não possuem uma consciência ambiental clara em relação ao desperdício da água. O primeiro potencializa o uso da água de forma a melhorar a margem de lucro da empresa, enquanto o segundo, se utiliza basicamente do recurso para cocção e higiene, normalmente não compreendendo seu possível desperdício.

Segundo o mesmo autor, diversos são os fatores que geram a alienação dos usuários, tais como a falta de informações precisas dos padrões de consumo de água de acordo com as diversas atividades dos setores comercial, institucional e público, bem como a falta de mecanismos que atuem diretamente no ambiente construído. Portanto, o usuário deste ambiente construído é diretamente responsável pelo consumo do mesmo.

O desenvolvimento das cidades sem um correto planejamento ambiental resulta em prejuízos significativos para a sociedade. Uma das conseqüências do crescimento urbano foi o acréscimo da poluição doméstica e industrial, criando condições ambientais inadequadas e propiciando o desenvolvimento de doenças, poluição do ar e sonora, aumento da temperatura, contaminação da água subterrânea, entre outros problemas.

O desenvolvimento urbano brasileiro concentra-se em regiões metropolitanas, na capital dos estados e nas cidades pólos regionais. Os efeitos desta realidade fazem-se sentir sobre todo aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos, ao abastecimento de água, ao transporte e ao tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

À medida que a cidade se urbaniza, geralmente ocorrem os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas;

- Aumento da produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos;
- Deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido e a ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Além destes impactos, ainda existem os causados pela forma desorganizada da implantação da infra-estrutura urbana: pontes e taludes de estradas que obstruem os escoamentos, redução da secção do escoamento de aterros, deposição e obstrução de rios, canais e condutos com lixos e sedimentos, projetos e obras de drenagem inadequada.

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando vários efeitos que modificam os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando alterações como:

- Redução da infiltração do solo;
- Aumento do escoamento superficial;
- Redução do escoamento subterrâneo;
- Redução da evapotranspiração.

O impacto da urbanização é mais significativo, para precipitações de maior frequência, onde o efeito da infiltração é mais importante. Para precipitações de baixa frequência, a relação entre as condições naturais e a urbanização é relativamente menor.

3.3.3 Gestão dos Recursos Hídricos

A gestão do uso da água deve ser realizada para impedir o desperdício, o uso excessivo e a exploração do recurso natural. Segundo Philippi (2005), é um processo que inclui monitoramento e controle das fontes de poluição e da qualidade da água dos mananciais, propondo soluções preventivas e corretivas para a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, tendo em vista a proteção da saúde do homem e dos ecossistemas.

A gestão busca a eficiência, onde se pode fazer "mais com menos", sem que sejam sacrificados o conforto ou o desempenho. A gestão da água é uma prática que incorpora a análise dos custos e usos da água; a especificação de soluções para a

economia da água; a instalação de medidores; e a verificação das economias para maximizar o custo benefício do recurso.

Neste trabalho, o processo de produção de água tratada, onde o insumo é a água bruta e o produto gerado é a água tratada pronta para consumo humano, será mais detalhado nos capítulos que se segue, aonde se teve como referência principal os conceitos explicitados na coleção ambiental – Saneamento, Saúde e Ambiente (PHILIPPI, 2005).

3.3.3.1 Captação da água

A captação da água pode ser feita em mananciais de águas superficiais (rios, lagos, represas), de águas subterrâneas (aqüíferos, poços rasos, freáticos ou tubulares profundos), por galerias de infiltração (fundos de vales) ou meteóricas (provenientes da chuva, neve ou granizo).

Geralmente as águas provenientes de aqüíferos não precisam ser tratadas, devido ao processo de filtragem natural do próprio subsolo, porém isto não é um consenso. Nos poços rasos ou freáticos, devem-se tomar medidas para evitar a extração de água contaminada, além de respeitar as distâncias mínimas em relação a fossas ou outros focos de contaminação. Além destes cuidados, a água deve ser desinfetada antes do consumo humano.

Já as águas meteóricas podem ser captadas por meio de calhas ou tubulações instaladas em telhados e conectadas a cisternas. Deve-se tomar cuidado com as primeiras águas, que lavam os telhados e são cheias de elementos tóxicos e particulados. Após a exclusão dessa primeira lavagem, a água, dependendo do seu destino, deve ser tratada para garantir a potabilidade da mesma.

3.3.3.2 Estratégias para a Conservação da água

A conservação de água é definida pela Associação Americana de Serviços de Água (AWWA) como a prática, as técnicas e as tecnologias que aperfeiçoam a eficiência do uso da água. O aumento da eficiência do uso deste recurso liberará o suprimento para outros fins, tais como o crescimento da população, o estabelecimento de novas indústrias e a melhoria do meio ambiente (TOMAZ, 1999).

No contexto internacional, a conservação de água vem sendo implementada através de medidas como:

- Diminuição das perdas de água nos sistemas públicos a menos de 10%;
- A otimização do sistema hidráulico;
- O uso de bacias sanitárias de baixo consumo, de 6 litros por descarga;
- Torneiras e chuveiros mais eficientes quanto à economia de água;
- Sistemas de reuso e reciclagem da água;
- Serviços públicos de informação.

Medidas não convencionais também vem sendo exploradas, como:

- O reaproveitamento de águas servidas residenciais (águas cinzas);
- A captação da água da chuva.

Uma grande escala das tecnologias e medidas pode ser empregada dentro de cada uma destas estratégias de conservação de água e de consumo de energia associado. Esses incluem:

- O uso de dispositivos eficientes (vasos e mictórios economizadores, arejadores e máquinas eficientes de lavar);
- Medidas para irrigação dos jardins (sistemas de irrigação eficientes, *sprinklers* de baixo fluxo de água, agendamento eficiente);
- Métodos para a redução do uso da água em sistemas de condicionamento ambiental.

O uso de submedidores de consumo individuais para o abastecimento de apartamentos, estabelecimentos comerciais e industriais, é mais uma medida efetiva para a diminuição do consumo da água. Tomaz (1999) cita algumas experiências reais que quantificam a relação de medição individualizada com economia. Entre 1989 e 1992 em Miami, foram instalados 10 mil submedidores em apartamentos residenciais, aliados a instalação de bacias sanitárias de baixo consumo. O gasto de água baixou entre 30 e 60%. O fator cultural gera uma grande mudança, pois quando se tem o conhecimento do quanto se consome individualmente, há a sensação de justiça de que se paga pelo o que se consome, o que consequentemente reduz os gastos.

A prática anterior de medição geral e divisão do valor total pelos condôminos gera uma atitude de desleixo em relação ao consumo. A sensação do condômino é de que está gastando pelo consumo exagerado de todos, desta forma, não pensa em ser o

único a se preocupar com economia, pois conta não levava em conta a quantidade de moradores por apartamento.

3.3.3.3 Transporte

A adução, como é chamado o transporte da água da captação à estação de tratamento e desta aos reservatórios, é feita separadamente em relação à água bruta e a tratada. Estas podem funcionar por pressão atmosférica ou por recalque (bombeamento) e devem possuir dispositivos de inspeção para a limpeza e manutenção.

3.3.3.4 Tratamento de água bruta

Antes do consumo da água captada pela natureza, a água precisa passar por um processo de adequação aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. Dependendo do uso que a água terá, vários processos serão realizados dependendo da qualidade e da quantidade de água. Estes processos serão resumidamente descritos a seguir.

3.3.3.4.1 Fervura

Quando será utilizada pequena quantidade de água, onde não está garantida sua potabilidade, se recomenda a fervura da mesma para consumo humano e preparo de alimentos.

3.3.3.4.2 Sedimentação simples

Este simples processo consiste em deixar a água em repouso por um período, a fim de que as partículas em suspensão sejam depositadas no fundo do recipiente, arrastando também microorganismos presentes na água. Esta é uma técnica muito antiga que foi substituída pela filtração, mas ainda pode ser utilizada para retirar partículas que deterioram as tubulações e bombas.

3.3.3.4.3 Filtração lenta

A filtração lenta consiste em fazer a água passar por camadas de areia de cerca de um metro e cascalho na parte inferior, com cerca de meio metro, sobrepostas. Este processo faz com que, pela ação das bactérias nos grãos de areia, seja formada uma camada gelatinosa, que retém os microorganismos presentes na água. As partículas maiores são retidas nas superfícies do grão de areia por sedimentação.

3.3.3.4.4 Aeração

O processo de aeração consiste em fazer a água entrar em contato com o oxigênio da atmosfera a fim de provocar a troca de gases e substâncias voláteis com o ar, introduzindo mais oxigênio na água. A aeração permite a eliminação de gases dissolvidos na água, e que são prejudiciais à saúde.

3.3.3.4.5 Irradiação Ultravioleta

Este processo consiste na incisão da energia eletromagnética emitida pela luz ultravioleta sobre uma película de água. Para uma boa eficiência, a água deve ser previamente tratada, livre de partículas em suspensão, material orgânico e inorgânico, ácidos e ferro.

As aplicações são realizadas principalmente no combate a bactérias em águas subterrâneas, após a filtração com uso de carvão ativado e como substituição da pós-cloração.

3.3.3.4.6 Ozônio

A aplicação do ozônio na água possui, além da ação desinfetante, controle de turbidez, redução de odor e de sabor na água, estes últimos deixados, pela ação do cloro.

3.3.3.4.7 Membrana Filtrante

Este processo consiste em fazer a água passar por uma membrana mediante uma pressão externa ou potencial elétrico. É um fenômeno onde não ocorrem reações químicas, apenas físicas.

As membranas filtrantes removem material particulado, coloidal e contaminantes, tanto biológicos (algas, protozoários, bactérias e vírus), quanto abióticos (turbidez, particulados, óxido de ferro e manganês).

Inicialmente, foi utilizada para dessalinização da água do mar, porém hoje tem sido utilizada nos países desenvolvidos para substituição dos sistemas convencionais, por ser um tratamento mais eficaz no controle de patógenos e contaminantes químicos.

3.3.3.4.8 Processo de uma ETA Convencional

A Estação de Tratamento de Água bruta convencional (ETA) consiste em uma seqüência de etapas que resultarão na água tratada, como ilustrado na figura abaixo.

Figura 45. Representação esquemática de uma Estação de Tratamento de Água Bruta (ETA) Convencional. Na figura os pontos A, B, C e D representam os pontos de aplicação de cloro.

Inicialmente são misturados à água de entrada produtos químicos tais como: sais de alumínio e de ferro para coagulação, polieletrolitos para coagulação e floculação, cal hidratada para a correção do pH e cloro para a pré-cloração (este último é arbitrário). Após a mistura destes produtos ocorre a coagulação e a floculação, para aglutinar as impurezas contidas na água em flocos maiores, que depois serão removidos por sedimentação e/ou filtração.

Em seguida, ocorre a desinfecção da água, para eliminação de microorganismos patogênicos. A desinfecção pode ser feita com a aplicação de compostos de cloro, cromo, iodo, prata, ozônio ou ação da radiação ultravioleta.

Desde 1985, a região metropolitana de São Paulo também passou a fazer a fluoretação da água, com o objetivo de prevenção das cáries dentárias, o que surtiu um efeito muito positivo na saúde da população.

3.3.3.4.8.1 O lodo das ETAs

O lodo produzido pelas estações de tratamento de água é considerado resíduo sólido e constitui mais um fator de degradação ambiental devido a altas concentrações de metais pesados, como o alumínio, quando disposto sem nenhum controle no solo e na água.

Além da disposição deste material em aterros sanitários, existem alternativas como a co-disposição com biossólidos, a aplicação em processos industriais e a disposição em estações de tratamento de esgoto (ETEs). No Brasil, a disposição final do lodo geralmente é o aterro sanitário. Além do alto custo, que pode chegar a 50 % do custo

operacional de uma ETE, a disposição de um resíduo com elevada carga orgânica no aterro, agrava ainda mais o problema com o manejo do lixo urbano.

Em países da Europa e América do Norte, o lodo geralmente é incinerado, depositado em aterros sanitários ou utilizado em áreas agrícolas, dependendo das características do resíduo. Na maioria dos países existem normas que regulamentam o destino do lodo, garantindo uma disposição segura. A adição ao solo parece ser a melhor opção sob o ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que apresenta o menor custo e promove a reciclagem de matérias orgânicas e nutrientes (AMBIENTE BRASIL, 2006).

Nos processos industriais, particularmente no setor da construção civil, uma destinação interessante para o lodo é na fabricação de tijolos e base para pavimentação.

Uma das práticas para conservação e recuperação dos solos incentivada pela Agenda 21 Brasileira é o uso de lodo de esgotos domésticos em solos agrícolas, mediante a garantia de que não ocorram impactos ambientais negativos. Vários estudos no Brasil comprovaram a eficácia do uso agrícola de biossólidos, entretanto, a possível presença de poluentes como metais pesados, patógenos e compostos orgânicos persistentes são fatores que podem provocar impactos ambientais negativos. O nitrato também representa um problema devido à falta de sincronismo entre sua mineralização e a absorção pelas plantas, resultando em risco de contaminação do lençol freático. Uma vez adicionados ao solo, alguns dos poluentes podem entrar na cadeia alimentar ou acumular-se no próprio solo, no ar, nas águas superficiais, nos sedimentos e nas águas subterrâneas. Portanto, é necessária uma rigorosa regulamentação para a adição do resíduo ao solo, bem como estudos que determinem riscos ambientais a curto e longo prazo (AMBIENTE BRASIL, 2006).

3.3.3.5 Reuso e reciclagem da água

A água não potável pode ser aplicada para diversos usos, o que resultará em economias significativas tanto em relação ao uso da água potável da concessionária, como em relação ao tratamento do esgoto relacionado.

O uso de recursos não potáveis é frequentemente mais efetivo quando os usos finais forem identificados logo no início do processo de projeto do edifício. Há quatro estratégias gerais que podem ser empregadas para o uso da água de reuso ou recicladas:

- Reuso ou reciclagem no local: este processo confere o reuso da água para a mesma finalidade no mesmo local e envolve geralmente um tratamento ou uma filtragem mínima para que seja aceitável o reuso pretendido. Como exemplo, pode-se incluir a água que é filtrada da lavagem dos veículos e da lavanderia, podendo ser utilizada novamente no ciclo seguinte da lavagem dos automóveis.
- Recuperação de água residual: este recurso não potável pode ser desenvolvido para tratar a água residual nos padrões de tratamento exigidos e então poder ser redistribuída para uso no local. Esta estratégia pode ser cara, mas pode ser efetiva devido aos aumentos do valor da água potável e os custos do tratamento de esgoto. Os padrões não potáveis de tratamento das águas residuais podem ser usados para usos finais tais como a irrigação da paisagem, água utilizada nas torres de refrigeração, descarga de vasos sanitários, sistemas de extinção de incêndios e outros processos industriais existentes no local.
- Água cinza: este recurso é derivado da água capturada de usos tais como chuveiros, banheiras, tanques e lavanderias sendo filtrada para remoção das partículas sólidas. A água cinza pode ser usada para servir usos de finais como a irrigação dos jardins (preferivelmente alimentado por baixo da superfície) e descarga dos vasos sanitários.
- Sistemas de captação de água: este recurso inclui a água não potável captada das chuvas ou dos rios, lagos, lagoas e poços que não foram tratados para se encontrarem aos padrões da água potável. Os sistemas de coleção de água da chuva dos telhados estão se tornando cada vez mais populares e a água capturada pode ser armazenada em cisternas. Os usos finais que podem ser servidos por este recurso incluem a irrigação do paisagismo, água de passagem para refrigeração, descarga dos vasos sanitários, lavagem de calçadas e veículos.

Para cada uma das estratégias acima descritas, é imperativa a revisão das normas e exigências locais em relação às permissões para tratar e utilizar recursos de água não potáveis, já que muitas jurisdições não permitem o uso da água cinza devido às questões de saúde pública.

3.3.3.6 Tratamento de águas residuárias

O tratamento das águas residuárias provenientes de esgotos domésticos e industriais deve ser planejado para atender a: requisitos sanitários, requisitos legais e proteção do meio ambiente; requisitos estéticos, que impeçam as atividades que interfiram na cor e odor da água (lazer e pesca); e a fatores socioeconômicos, na piora de indicadores de saúde, aumento nos custos de tratamento, entre outros.

Existem diversas tecnologias para o tratamento destas águas, porém a seleção da mais adequada depende muito da comunidade onde a estação vai ser implantada, do diagnóstico e da análise de viabilidade social, técnica e ambiental.

No Brasil atualmente há uma tendência à descentralização das estações devido a diversas vantagens, tais como a redução de interceptores e a possibilidade de um sistema de coleta e tratamento por etapas, ajustado às necessidades locais.

O tratamento das águas residuárias resultará de operações físicas unitárias e processos químicos e biológicos, compostos de acordo com o nível de tratamento requisitado.

Figura 46. Fluxograma de um sistema de tratamento físico químico de águas residuárias.

Os tratamentos biológicos, aeróbios e anaeróbios mais utilizados incluem: tanque séptico e filtro anaeróbio, lodo ativado, filtro biológico, lagoas de estabilização e disposição e tratamento no solo. Já os processos de tratamento físico-químicos utilizados incluem filtração, osmose reversa, adsorção em carvão ativado, oxidação por ozonização e troca iônica.

A seguir, serão descritos alguns sistemas geralmente adequados para o tratamento de esgotos domésticos e industriais atóxicos, entretanto, a escolha de uma ou outra solução, dependerá de fatores específicos como: mão de obra capacitada para operação e manutenção do sistema, quantidade e qualidade de efluentes gerados, fragilidade do ecossistema local, custos operacionais e energéticos.

3.3.3.6.1 Tanque séptico e filtro anaeróbio

Figura 47. Fotos de tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios. Fonte: ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ (2005)

Este sistema é normalmente utilizado em áreas rurais, em conjuntos habitacionais e outros lugares desprovidos de rede coletora de esgotos. Pode funcionar também como um pré-tratamento para posterior destino à rede coletora de esgotos, pois já reduz em muito a quantidade de sólidos sedimentáveis.

Baseia-se em um tanque de sedimentação para a remoção dos sólidos, dimensionado para ser limpo uma vez por ano, sempre com o cuidado de se deixar lodo no fundo, para o crescimento de microorganismos que farão o processo de digestão anaeróbia. Pode-se usar um novo tanque em seguida da fossa séptica, preenchido com pedras, o que aumenta a eficiência na remoção de matéria orgânica.

Figura 48. Corte esquemático de um tanque séptico seguido de filtro anaeróbio.

Desta forma, o processo é muito simples e exige pouca manutenção, porém, o tratamento é primário, e possui baixa eficiência na remoção de poluentes. Segundo Von Sperling (1996), a eficiência de remoção de DBO varia entre 70 a 90%.

Segundo Jordão et al (2005), verifica-se que filtros com brita, com espuma e com anéis de plástico apresentam eficiências que se poderiam considerar, em termos práticos, equivalentes. Identifica-se ligeira melhora no índice de remoção de SST – Sólidos suspensos totais - para o filtro de brita e um pouco maior no índice de

remoção de DBO – Demanda Bioquímica de oxigênio - para o filtro de anéis de plástico.

Ainda segundo os autores, com relação ao desempenho dos filtros nas diversas alturas, pode-se perceber que a eficiência aumenta no sentido crescente das alturas, porém, não se justificam profundidades maiores que as recomendadas em Norma.

3.3.3.6.2 Lodo ativado

Figura 49. Fotos de tanques de lodo ativado. Fonte: ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ, 2005.

Neste processo a remoção de poluentes se faz pela formação e sedimentação de lodo ativado (flocos biológicos) que retornam ao tanque de aeração para manter elevada a quantidade de microorganismos. Parte da remoção da matéria orgânica se dá pelo descarte de lodo e do processo de respiração das bactérias, protozoários e outros microorganismos.

Segundo Von Sperling (1996), a eficiência de remoção de DBO é de 85 a 93%.

Figura 50. Fluxograma do processo convencional de tratamento por lodo ativado.

3.3.3.6.3 Filtro biológico

Figura 51. Fotos da filtração biológica aeróbia. Fonte: Escola Politécnica de Saneamento da UFRJ, 2005.

O processo de tratamento por filtro biológico é o mais comuns dos tratamentos biológicos. Nele o esgoto permanece em contato com filtros de contato, no qual os microorganismos se fixam e através do qual o esgoto percola. Estes microorganismos presentes nos filtros são responsáveis pelo principal consumo de matéria orgânica do processo.

Segundo Von Sperling (1996), a eficiência de remoção de DBO varia entre 80 a 93%.

Figura 52. Fluxograma de um sistema de tratamento biológico de águas residuárias com filtro biológico.

3.3.3.6.4 Lagoas de estabilização

Figura 53. Fotos da lagoa de estabilização. Fonte: ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ, 2005.

As lagoas de estabilização são construídas para fins de tratamento de resíduos líquidos de natureza orgânica. Os principais tipos de lagoas são: anaeróbia, aeróbia, facultativa, aerada e de maturação, as quais podem funcionar isoladamente ou em conjunto.

As lagoas anaeróbias são lagoas de oxidação onde a estabilização não conta com o curso do oxigênio dissolvido, de maneira que os organismos existentes têm de remover o oxigênio dos compostos das águas residuárias, a fim de retirar a energia para sobreviverem. Devido à baixa eficiência na remoção de DBO, recomenda-se a utilização de outra lagoa de tratamento, como a facultativa, onde ocorrem ao mesmo tempo processos de fermentação anaeróbia, oxidação e redução fotossintética das algas.

Figura 54. Esquema de lagoa de estabilização.

A vantagem do uso de lagoas de estabilização para o tratamento é o baixo custo de operação e manutenção (exceto as aeradas), porém a um alto custo vinculado referente à necessidade de grandes áreas para a implantação do sistema. Outras desvantagens dizem respeito aos problemas com odores e insetos, que aparecem quando da operação incorreta do sistema.

Segundo Von Sperling (1996), a eficiência de remoção de DBO varia entre 70 a 90%.

3.3.3.6.5 Disposição e tratamento de águas residuárias no solo

Este processo aplica águas residuárias em áreas de vegetação, de modo que a ação da microfauna presente no solo e a utilização de nutrientes pelas plantas, estabilizem os efluentes.

Os métodos mais utilizados são: infiltração lenta, rápida, sub-superficial e superficial.

Nestes sistemas, podem ser feitas plantações agrícolas (como milho, batata, algodão e trigo), como também plantações de gramíneas para alimentação de gado, preparo de adubo orgânico e recuperação de áreas de reflorestamento.

Os sistemas sub-superficiais operam em geral com efluentes provenientes de sistemas primários por tanque séptico. O esgoto é aplicado por baixo do nível do solo, por meio de valas de infiltração ou sumidouros.

Figura 55. Esquema em corte demonstrando a infiltração sub-superficial.

No sistema de escoamento superficial, o esgoto se aproveita da declividade do terreno e escoar da parte mais alta para mais baixa, passando pela vegetação e pelas bactérias presentes nas raízes, que consomem os nutrientes. Neste percurso uma grande parte do volume é perdida por evaporação e, ao final, o resto líquido é coletado por canaletas.

Figura 56. Esquema em corte demonstrando o escoamento superficial.

Nos sistemas por infiltração a água aplicada é em parte percolada pelo solo, parte perdida por evaporação.

Segundo Von Sperling (1996), a eficiência de remoção de DBO varia entre 85 a 99%.

3.3.3.7 Uso da água da chuva

O aproveitamento da água da chuva para consumo humano é muito antigo. Segundo Tomaz (1999) existem cisternas datadas de 3.000 a.C. no Oriente Médio. A fortaleza de Masada, em Israel, possui dez reservatórios encravados nas rochas, com uma capacidade de 40 milhões de litros. No México existem cisternas em uso, de mais de 500 anos de atividade.

Seu uso não é indicado para fins potáveis, porém gera diversos benefícios, econômicos, sociais e ambientais. Entre eles destacam-se: a economia do uso da água proveniente da rede pública; a reserva de água em períodos de seca e/ou falta de água por problemas de abastecimento da rede; e a redução nos efeitos das enchentes nos centros urbanos, onde a impermeabilização do solo não permite o escoamento adequado das águas pluviais.

Nas edificações a superfície principal para a captação da água da chuva é relativa à área dos telhados. A captação pode ser realizada pela colocação de calhas, condutores verticais e coletores horizontais. A água então passa por um filtro (2), onde são descartadas folhas e partículas maiores destinadas à rede pluvial pública. Em seguida, a água filtrada vai para a cisterna (3), exposta ou enterrada e canalizada até o freio de água no fundo do reservatório (A). Este processo favorece a sedimentação e oxigena a água, impedindo processos anaeróbios de decomposição. A captação de água encaminhada novamente para o edifício é feita por sucção, através de um conjunto bóia-mangueira, que capta sempre a água mais limpa disponível na cisterna. O excesso de água é descartado através do sifão-ladrão (C), que também tem a função de evitar a entrada de odores e animais no reservatório.

Figura 57. Esquema de uso de água pluvial em uma residência.

Figura 58. À esquerda. Esquema de filtro de água pluvial.

Figura 59. À direita. Esquema com a sequência do percurso da água no reservatório.

O sistema pode ser aplicado tanto em residências em construção – onde pode ser feito um sistema paralelo ao da água de rua - para incluir o uso da água de chuva para a descarga de banheiros, lavagem de roupa e torneiras externas, como em casas já construídas. Quando não for possível alterar as instalações existentes, é possível aproveitar a água de chuva para os jardins, piscina, limpeza de calçadas, lavagem de carros, entre outros usos.

4 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE: ENERGIA, MATERIAIS E ÁGUA

4.1 Indicadores de Sustentabilidade

4.1.1 Definição dos Indicadores

O termo "indicador" vem do verbo em latim *indicare*, que significa "divulgar ou apontar, anunciar ou tornar evidente publicamente, ou estimar ou pôr um preço sobre" (HARDI; BARG, 1997). Os indicadores são sinais de fatos ou sistemas complexos, são informações que apontam as características dos sistemas ou que destacam o que está acontecendo. Os indicadores são usados para simplificar a informação sobre fenômenos complexos, tais como o desenvolvimento sustentável, de forma a facilitar a comunicação e a possível quantificação dos fenômenos.

Um indicador pode ser uma variável (por exemplo, a quantidade total de produtos orgânicos cultivados) ou uma função das variáveis (por exemplo, uma relação entre reciclados versus a quantidade total de resíduos sólidos). Um indicador pode ser uma variável qualitativa (por exemplo, vizinhança segura ou insegura, decisão participativa ou não participativa), um ranking variável (por exemplo, melhor ou o pior programa de treinamento, o mais baixo ou mais elevado ranking de mortalidade) ou uma variável quantitativa (por exemplo, o uso da energia em quilowatt/horas/ano, ou a taxa de resíduos domésticos bruto/*per capita*).

Embora os indicadores quantitativos sejam os mais difundidos, os indicadores qualitativos são também importantes quando o assunto a ser medido não é quantificável (como por exemplo, os valores culturais); quando as informações são baseadas em exames de opinião (por exemplo, respostas positivas ou negativas às perguntas como "Você está satisfeito com a sua situação?" ou "Você participa em programas de conservação?"); quando a informação quantitativa não estiver disponível (falta de dados); quando os custos elevados impedirem o uso de indicadores quantitativos ou quando um simples sinal, tal como uma luz vermelha em um painel ou em uma lousa, é suficiente para o início da ação.

A maioria de indicadores existentes foi desenvolvida para questões específicas. Os indicadores ambientais, econômicos, sociais e da saúde não são considerados indicadores de desenvolvimento sustentável por si próprios, mas têm um valor

explanatório dentro do contexto de uma estrutura sustentável de desenvolvimento. Problemas complexos do desenvolvimento sustentável requerem alternativas integradas e a interligação dos indicadores, ou uma agregação dos mesmos. Há alguns poucos indicadores agregados, a maioria de caráter experimental, que fazem os enlaces entre as distintas entradas do desenvolvimento sustentável explícito e foram desenvolvidos para essa finalidade, podendo ser considerados índices de desenvolvimento sustentável (HARDI; BARG, 1997).

4.1.2 Função dos Indicadores

De acordo com Hardi e Barg (1997), os indicadores podem ser distinguidos considerando sua função como sistemas de indicadores (às vezes chamados como descritivos) ou indicadores de desempenho. Os indicadores de sistema sintetizam alternativas individuais de medidas para as diferentes características dos ecossistemas e de sistemas humanos e sociais, e comunicam as mais relevantes informações aos produtores de decisão (UNEP; DPCSD, 1995). Os indicadores de sistemas são, sempre que possível, baseados em introspecções técnicas e científicas, porém devido às incertezas inerentes aos sistemas naturais, exige-se uma prova de dúvidas.

Conseqüentemente, os padrões e os *benchmarks* a que os indicadores estão relacionados, são determinados somente parcialmente pela ciência e a um grau considerável pelo processo político, sendo assim, produtos de um acordo entre a exatidão científica e as necessidades de tomada de decisão e de urgências de ação. Esta limitação torna-se clara na dimensão social, onde muitas das variáveis, tais como a estabilidade política, aspiração cultural e equidade, são dificilmente quantificáveis e não podem mesmo ser definidas em termos físicos. Não obstante, qualquer nível de exatidão conseguido na definição dos indicadores, permanece um verdadeiro esforço para medi-los consistentemente através do tempo e do espaço, de forma a se determinar tendências.

Os indicadores de desempenho são ferramentas para a comparação, incorporando um indicador descritivo, um valor de referência ou um alvo político. Fornecem informações a formadores de opinião de como estão levando em consideração os objetivos, a medida e os indicadores locais, nacionais ou internacionais. Estes indicadores são usados em todas as escalas espaciais e, em particular, na fase da avaliação da política do processo de tomada de decisão. Têm um papel em ajustar objetivos de organização e em conectá-los às ações.

De acordo com a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável do Departamento de questões Econômicas e Sociais (*Department of Economic and Social Affairs*) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2001), resultados testados mostram que os indicadores de desenvolvimento sustentável têm um claro potencial de auxílio na tomada de decisão nacional. Alguns países relataram ter usado ou ter planejado o uso destes indicadores para:

- Levantar questões importantes à agenda política;
- Ajudar na identificação de tendências em setores prioritários;
- Facilitar o relato do estado do desenvolvimento sustentável aos responsáveis por tomadas de decisões e ao público geral, doméstico e internacional;
- Promover o diálogo nacional sobre o desenvolvimento sustentável;
- Ajudar o acesso às avaliações das metas e compromissos governamentais, e na revisão destes objetivos e alvos;
- Facilitar a preparação e a monitoração dos planos;
- Ajudar no acesso às avaliações de desempenho de políticas e de ações ao executar os planos;
- Elucidar o conceito de desenvolvimento sustentável em termos práticos;
- Focar os programas e os orçamentos nacionais para a sustentabilidade.

Desta forma, observa-se o potencial de transformação dos sistemas de indicadores e dos indicadores de desempenho, mecanismos importantíssimos para a melhora da qualidade dos projetos de arquitetura, assim como para a criação de *benchmarks* para uma sucessiva evolução dos parâmetros estabelecidos.

4.1.3 A Avaliação dos Edifícios

4.1.3.1 O conceito de análise do ciclo de vida

O ser humano interage com o meio ambiente consumindo recursos naturais, transformando o espaço e produzindo rejeitos. Estas são as formas com que suas necessidades são satisfeitas.

A denominação de ciclo de vida se dá ao conjunto de processos que envolvem toda a cadeia produtiva “do berço ao túmulo”, desde a extração de matéria prima até o destino dos rejeitos ou do próprio produto.

Cada uma destas etapas interage com o meio ambiente de alguma forma, produzindo efeitos e causando impactos ambientais. Para avaliar ambientalmente um produto é necessário utilizar uma metodologia que contabilize esta totalidade de interações, que ocorrem em diferentes processos e muitas vezes em distinto espaço e tempo (RIBEIRO, 2003). A Análise de ciclo de vida (ACV) visa simular esta metodologia, e representa-se como a técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante:

- A compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- A avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- A interpretação dos resultados das fases de análise, de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo.

De acordo com Silva (2003), o conceito de análise do ciclo de vida na construção civil tem sido aplicado direta ou indiretamente em:

- Avaliação de materiais de construção;
- Rotulagem ambiental de produtos;
- Ferramentas computacionais de suporte de decisão e auxílio ao projeto;
- Instrumentos de informação aos projetistas;
- Esquemas de avaliação / certificação ambiental de edifícios.

Este último item será mais bem explicitado no capítulo seguinte, onde serão apresentadas as formas de aplicação da análise do ciclo de vida na avaliação de edifícios.

4.1.3.2 A análise do ciclo de vida e a avaliação ambiental de edifícios

Após a crise do petróleo no início dos anos 70, a avaliação ambiental de edifícios concentrava-se nos aspectos de uso de energia. A aplicação da análise do ciclo de

vida, entretanto, ampliou o questionamento sobre os mais extensos impactos da atividade da construção de edifícios, abrindo a discussão sobre aspectos como a energia incorporada aos materiais e o volume de resíduos gerados nas atividades de construção e demolição.

Desta forma, a ACV procura descrever todos os fluxos de entrada e saída de um produto da forma mais objetiva possível, explicitando o consumo de recursos e a saída de emissões e resíduos. Estendendo estes conceitos à avaliação de edifícios, procurou-se ilustrar de uma forma sistematizada este processo, conforme figura abaixo:

Figura 60. Ciclo de vida de um edifício genérico. Fonte: Adaptado de Silva, 2003.

Figura 61. Esquema dos fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício. Fonte: Adaptado de Silva, 2003.

Como se pôde observar nas figuras acima, o controle de todos estes processos, suas caracterizações e quantificações são complexos e exigem muitos domínios. Entretanto, o Brasil possui muitas dificuldades na obtenção de dados confiáveis de ACV. Não há um banco de dados das análises dos materiais de construção nacionais completo e confiável, o que obriga a utilização dos recursos disponíveis estrangeiros.

4.2 Indicadores de sustentabilidade de edifícios

Após a crise energética mundial vieram à tona problemas relacionados aos impactos ambientais, que se desencadearam em diversas iniciativas focadas na avaliação da eficiência energética de edifícios.

O conceito de análise de ciclo de vida forneceu a base conceitual para o desenvolvimento das metodologias para a avaliação ambiental de edifícios na Europa e nos EUA, na década de 90. O objetivo inicial era encorajar o mercado por níveis superiores de desempenho ambiental, com a criação, por exemplo, de selos ambientais.

O conceito da construção sustentável tem por objetivo hoje, a criação e a administração responsável de um ambiente construído saudável baseado em princípios eficientes e ecológicos. Avalia as questões ambientais e de qualidade de vida, da equidade social e questões culturais e econômicas.

Os indicadores de sustentabilidade podem ser um dos mecanismos mais efetivos para a construção de cidades mais sustentáveis. Os indicadores são necessários para definir precisamente os critérios de sustentabilidade e medir o desempenho da indústria da construção e do ambiente construído. Formadores de opinião e responsáveis necessitam de indicadores para avaliarem as estratégias economicamente viáveis e técnicas praticáveis para melhorar a qualidade de vida, enquanto aprimoram o uso eficiente de recursos. Numerosos agentes do processo da construção necessitam de ferramentas e diretrizes baseadas em indicadores para melhorar práticas atuais, assim como a qualidade da construção.

Segundo Silva (2003), há duas categorias de sistemas: os criados com orientação para o mercado, de forma a serem absorvidos pelos projetistas, como o LEED; e os orientados para a pesquisa, centrados no desenvolvimento metodológico e fundamentação científica, como o BREEAM.

Há uma quantidade muito grande de sistemas de avaliação. Nesta pesquisa encontraram-se mais de 40 deles, com mais de 500 indicadores relacionados, como pode ser visto nos anexos deste trabalho. Muitos deles são específicos em relação à avaliação de um ou outro critério, a maior parte deles concentrados na questão energética. Para a seleção de quais seriam estudados, além da disponibilidade dos dados, a questão principal foi em relação à abrangência da avaliação aos três grupos temáticos (energia, materiais e água) e sua absorção pelo mercado e pela pesquisa em um cenário internacional.

A abrangência e o poder de síntese na seleção dos sistemas foram levados em grande consideração, devido ao fato de que o profissional, arquiteto, que irá projetar um edifício mais sustentável, deve conhecer e visualizar com clareza quais os pontos positivos e negativos do edifício, para que assim possa interferir novamente no projeto com critérios.

Sabe-se que a questão da sustentabilidade envolve um conjunto de fatores: ambientais, sociais, culturais e econômicos e é muito difícil atingir um equilíbrio em todos estes campos. Se na questão ambiental, questão esta enfocada neste trabalho, forem consideradas apenas questões energéticas como suficientes para a produção de um edifício sustentável, estará muito longe de se atingir edifícios adequados. Desta forma, dentro da questão ambiental e dos temas hoje considerados mais críticos, como a demanda da água e do uso de materiais, uma avaliação que envolva estes fatores será certamente mais completa.

Desta forma foram selecionados oito indicadores, descritos em ordem crescente de acordo com a data de criação dos mesmos, sendo estes: BREEAM - 1990; GBTool - 1996; LEED - 1999; SPEAR - 2000; HQE - 2002; CASBEE - 2002; Modelo para avaliação de sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros (2003) e NABERS - 2004.

Seguem a seguir os sistemas escolhidos para avaliação deste artigo e a análise destes em relação à energia, materiais e água.

4.2.1 BREEAM

O BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method - (2004) é um método de avaliação de edifícios criado pelo Reino Unido em 1990, que se tornou base para o desenvolvimento de muitos dos sistemas posteriores. Este sistema teve como base a avaliação do desempenho de edifícios nas seguintes áreas:

- Gerenciamento: política de administração global, comissionamento e administração do sítio e assuntos processuais;
- Uso de energia: energia para operação e assuntos relacionados à emissão de gás carbônico (CO₂);
- Saúde e bem-estar: questões relacionadas aos recintos fechados ou abertos que afetem a saúde e o bem-estar do usuário;
- Poluição: do ar e da água;
- Transporte: relação entre transporte e emissões de CO₂;
- Uso do Solo: áreas verdes e locais de “aterro”;
- Ecologia: conservação de valor ecológico e valorização do sítio;
- Materiais: implicações ambientais no uso de materiais de construção, incluindo impactos durante o ciclo de vida;
- Água: consumo e eficiência.

Os profissionais (incorporadores ou desenhistas) são encorajados a considerarem estes assuntos previamente para assim, maximizarem as chances em alcançarem uma boa avaliação BREEAM.

O sistema é atualizado de três a cinco anos e são três os estágios do desenvolvimento do edifício: o de projeto, de gerenciamento e operação, e de revisão pós-construção.

Podem ser avaliados edifícios de escritórios, residências, indústrias e espaços comerciais.

São premiados créditos em cada área de acordo com o desempenho de cada item. Um sistema de pesos ambientais habilita os créditos a serem somados para produzirem uma única contagem global. O edifício é então avaliado e tem um resultado que varia de APROVADO a BOM, MUITO BOM ou EXCELENTE, e é emitido um certificado que pode ser usado para a promoção do mesmo.

O BREEAM oferece uma gama de benefícios, desde ambientais a financeiros, dentre estes:

- Complacência com exigências ambientais de ocupantes, planejadores, agências de desenvolvimento e fomentadores;
- Melhoria Ambiental em defesa de uma estratégia incorporada mais abrangente ou como uma contribuição individual;
- Benefícios aos ocupantes criando um lugar melhor para pessoas trabalharem e viverem;
- Comercialização como um potencial de venda para inquilinos ou clientes;
- Benefícios financeiros alcançando rendas de aluguel mais altas e melhor eficiência na operação e manutenção dos edifícios;
- Melhores práticas provendo uma lista de verificações (*check list*) completa ou uma ferramenta para comparar edifícios;
- Requisitos dos Clientes responder às exigências dos usuários.

Para a avaliação do sistema no que concerne o conforto ambiental e a eficiência energética foi escolhido a versão residencial BRE EcoHomes, podendo estes ser avaliados em edifícios novos ou existentes, estando estes ocupados ou não.

4.2.1.1 Abordagem em energia, materiais e água.

Como já foi visto anteriormente, a avaliação consiste no desempenho de nove áreas no total. Neste capítulo serão mostrados os pesos finais de cada área e os atributos simplificados da avaliação dos pontos referentes à energia, materiais e água. Para esta consideração foi escolhido o sistema adequado para edifícios residenciais.

O BRE Eco Homes (2004) fornece um *check-list* simplificado (lista de verificação) para orientar as equipes de projeto e gestão quanto aos requisitos para obtenção de créditos. Desta forma a metodologia completa só é acessível aos avaliadores credenciados.

Os valores totais possíveis de serem atribuídos às áreas, para este caso, são:

- Energia: 40 pontos;
- Saúde e bem-estar: 28 pontos;
- Poluição: 28 pontos;
- Transporte: 14 pontos;
- Uso do Solo e Ecologia: 27 pontos;
- Materiais: 31 pontos; e
- Água: 20 pontos.

O resultado da avaliação é dado em pontos, que podem chegar a um máximo de 188, e são representados em faixas de adequação. Para que se obtenha o selo, é necessário um mínimo de 68 pontos, o que corresponde a um girassol (mínimo de pontos). Com 90 pontos conseguem-se dois girassóis (bom); com 113, três girassóis (muito bom) e a partir de 132 pontos, quatro girassóis (excelente), a melhor avaliação possível no sistema.

Rating		Average weighting points (max 188)
Pass	68
Good	90
Very Good	113
Excellent	132

Figura 62. Notas finais do método de Avaliação BRE EcoHomes (2004)

Os parâmetros, no que concerne à avaliação quanto a Energia, Materiais e Água, estão descritos a seguir.

Energia

- Produção de dióxido de carbono devido ao consumo de energia;
- Desempenho da Envoltória do Edifício;
- Provisão de espaço para secagem de roupas;
- Equipamentos eficientes energeticamente;
- Iluminação externa.

Materiais

- Elementos Construtivos do Edifício de Madeira;
- Madeira como elemento para o acabamento;
- Materiais recicláveis;
- Impacto ambiental dos Materiais.

Água

- Consumo de água.

Energy			Points predicted	
A	Credits are awarded to achieve CO ₂ emissions as follows: • EITHER: Less than or equal to 60 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 50 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 45 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 40 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 35 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 30 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 25 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 20 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 10 kg/m ² /yr • OR: Less than or equal to 0 kg/m ² /yr	2 OR 4 OR 6 OR 8 OR 10 OR 12 OR 14 OR 16 OR 18 OR 20		max 20
B	Improving the performance of the building envelope compared with the relevant building regulations: If the development is built according to part L of the 1996 Building Regulations: • EITHER: 10% improvement • OR: 15% improvement • OR: 20% improvement • OR: 25% improvement • OR: 30% improvement OR If the development is built according to part L of the 2002 Building Regulations: • EITHER: 3% improvement • OR: 6% improvement • OR: 9% improvement • OR: 12% improvement • OR: 15% improvement	2 OR 4 OR 6 OR 8 OR 10 2 OR 4 OR 6 OR 8 OR 10		max 10
C	Provision of secure drying space	2		max 2
D	Provision of eco labelled white goods with the following energy ratings: • EITHER: All fridges, freezers, fridge-freezers with an A rating • PLUS: All washing machines, and dishwashers if supplied, with an A rating and washer dryers and dryers with a rating of C or higher • OR: No white goods provided but info on Eco labels	2 +2 OR 2		max 4
E	Provision of external lighting systems which are low energy: • EITHER: All feature external lighting and cut building lighting to accommodate CFLs or fluorescent strips • PLUS: Security/ safety lighting to accommodate CFLs or fluorescent strips only and all intruder lighting to have maximum wattage of 150 watts, and be fitted with appropriate controls	2 +2		max 4
Total Number of Energy Points Achieved				max 40

Materials				
L	Sustainably managed timber for basic building elements OR re-used timber OR timber products made from pre or post consumer waste streams: • EITHER: FSC certification; • OR: UKWAS, PEFC or equivalent scheme; • OR: Information of precise origin and confirmation that they are cut under government licence	6 OR 4 OR 2		max 6
M	Sustainably managed timber for finishing elements OR re-used timber OR timber products made from pre or post consumer waste streams: • EITHER: FSC certification; • OR: UKWAS, PEFC or equivalent scheme; • OR: Information of precise origin and confirmation that they are cut under government licence	3 OR 2 OR 1		max 3
N	Storage of recyclable waste: • EITHER: Provision of internal and external storage; • OR: Provision of internal storage only • OR: Provision of external storage only	6 OR 2 OR 2		max 6
O	The following elements obtaining an A rating from the Green Guide for Housing: • Roof • PLUS: External walls • PLUS: Internal walls • PLUS: Floors • PLUS: Windows • PLUS: Hard landscaping • PLUS: Fencing	3 +3 +3 +3 +2 +1 +1		max 16
Total Number of Materials Points Achieved				max 31

Water				
P	Water consumption per bed space as follows: • EITHER: Less than 50 m ³ per bed space per year • OR: Less than 45 m ³ per beds pace per year • OR: Less than 40 m ³ per bed space per year • OR: Less than 35 m ³ per bed space per year • OR: Less than 30 m ³ per bed space per year	4 OR 8 OR 12 OR 16 OR 20		max 20
Total Number of Water Points Achieved				max 20

Figura 63. Notas finais do método de Avaliação BRE EcoHomes (2004).

4.2.2 GBTool

O GBTool - *Green Building Tool* - é um esforço de colaboração internacional iniciado pelo Canadá em 1996, com o intuito de desenvolver uma ferramenta de avaliação ambiental comum aos países cooperantes, respeitando a diversidade regional de cada país participante e permitindo uma flexibilidade para que estes selecionem idéias para incorporarem ou modificarem suas ferramentas.

As cinco metas gerais para o processo do "*Green Building Challenge*" são:

- Avançar o estado da arte em metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios;
- Manter um sumário de vigilância nas questões referentes à sustentabilidade para averiguar a relevância destas em relação ao "edifício verde" e particularmente para estruturação dos métodos de avaliação de desempenho ambiental de edifícios;
- Patrocinar conferências que promovam a troca de informações entre a comunidade de pesquisa ambiental e o mercado da construção, exibindo os métodos de avaliação de desempenho ambiental de edifícios;
- Desenvolver uma referência genérica internacionalmente aceita, que possa ser usada para comparar edifícios existentes através de métodos de avaliação ambiental, além de poder ser usada por outros na produção de sistemas regionais;
- Expandir o escopo do GBC – *Green Building Challenge* - a respeito do "edifício verde" na inclusão de novas questões de sustentabilidade ambiental, além de facilitar comparações internacionais de desempenho ambiental de edifícios.

Este sistema tem como base a avaliação do desempenho de edifícios nas seguintes áreas:

- Consumo de recursos;
- Cargas;
- Qualidade Ambiental Interna;
- Qualidade dos Serviços;
- Economia;
- Gerenciamento pré-operação;
- Transporte Público (em desenvolvimento).

Cada categoria de desempenho inclui um conjunto de itens a serem avaliados. Os itens são pontuados de acordo com uma escala de graduação de desempenho que varia de -2 a +5. O zero corresponde à referência (*benchmark*) e os valores negativos apontam a possibilidade de um decréscimo na pontuação devido a um desempenho negativo.

A aplicação do método para diferentes contextos se dá pelo ajuste nos critérios de ponderação, que é feito após a pontuação final do edifício. Assim são atribuídos pesos a esses resultados, de acordo com quatro níveis hierárquicos, do mais baixo ao mais alto: sub-critérios (1), critérios (2), áreas de desempenho (3) e temas principais (4).

4.2.2.1 Abordagem em energia, materiais e água

A avaliação consiste no desempenho de sete áreas no total. Nesta etapa serão mostrados os pesos de cada área e os atributos simplificados da avaliação dos pontos referentes a energia, materiais e água. Os pesos de cada área são os seguintes:

- Consumo de recursos (R1): 20% do peso;
- Cargas Ambientais (L1): 25% do peso;
- Qualidade Ambiental Interna: 20% do peso;
- Qualidade dos Serviços: 15% do peso;
- Aspectos Econômicos: 10% do peso;
- Gerenciamento pré-operação: 10% do peso;
- Transporte Público (em desenvolvimento).

Em relação ao consumo de recursos (R1), os itens que possuem ligação direta com os parâmetros de energia, materiais e água estão detalhados como se segue. Conforme

foi possível a disponibilidade de dados, os critérios de desempenho foram explicitados junto aos itens selecionados.

R1. Uso do ciclo de vida da energia primária da rede. Este item envolve dois critérios de desempenho:

- R1.1. A energia preliminar incorporada nos materiais durante seu ciclo de vida;
- R1.2. A energia não renovável utilizada para a operação do edifício durante seu ciclo de vida.

O indicador de desempenho utilizado para a avaliação é a relação: MJ/m²/ano.

R2. Uso do solo e impacto na qualidade do terreno.

- R2.1 Uso e ocupação do solo do edifício e finalidades relacionadas ao desenvolvimento do local.
- R2.2. Mudança no valor ecológico do terreno.
- R2.3. Mudança na capacidade agricultável do terreno.

R3. Consumo de água potável da rede

Esta categoria de desempenho avalia o consumo total anual da água do edifício estudado. O aumento contínuo da população dos centros urbanos demanda uma quantidade considerável de água. A redução no uso diminui a carga na demanda de novas fontes de água e no tratamento dos efluentes.

O indicador de desempenho utilizado para a avaliação é a relação: m³/pessoa/ano, aonde se leva em consideração o reuso das águas cinzas e o uso de água pluvial.

R4. Reuso de estruturas e materiais existentes no terreno

- R4.1. Conservar estruturas existentes no local. O indicador de desempenho utilizado para esta avaliação é a proporção da área do edifício mantido, em relação à área total do novo edifício, resultando em uma porcentagem da área total.
- R4.2. Reuso de materiais e componentes de estruturas existentes no terreno.
- R4.3. Reuso do “bota-fora” dos materiais das estruturas existentes no local. A medida de desempenho é a proporção dos materiais e dos componentes

salvados da estrutura existente, reusados na nova estrutura, dado em uma porcentagem do peso total.

R5. Quantidade de materiais reutilizados procedentes de outro local

- R5.1. Uso de materiais reutilizados provenientes de fora do terreno. A medida de desempenho é a proporção dos materiais e componentes utilizados no estudo de caso.
- R5.2. Uso de materiais de conteúdo reciclado de outras procedências que não do próprio local. A medida de desempenho é a proporção de materiais e componentes arquitetônicos reciclados e o índice a porcentagem do peso total.
- R5.3. Uso de produtos de madeira certificados ou com atestados semelhantes. A medida de desempenho é a proporção dos materiais de madeira certificada com atestado de origem e o indicador a porcentagem do peso de todos os componentes feitos de madeira.

Em relação às cargas ambientais (L1), os itens que possuem ligação direta com os parâmetros de energia, materiais e água estão detalhados como se segue:

L1. Emissão de gases de efeito estufa provenientes da produção e operação do edifício

- L1.1. Emissões incorporadas nos materiais, com base no ciclo de vida.
- L1.2. Emissões de GHG – Gás de efeito estufa (*Green House Gas*) - de toda energia utilizada para operações de construção ao longo do ciclo de vida.

A medida de desempenho é a relação: Kg de CO₂ equiv/m²/ano.

L3. Emissão de gases que conduzem acidificação nas operações dos edifícios

Muitos poluentes do ar, como óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), hidrocarbonetos como o metano e particulados emitidos durante a produção dos materiais de construção e da queima de combustíveis fósseis, causam impactos ambientais locais e regionais adversos, como a poluição do ar urbana e a chuva ácida. Estes fatores geram riscos a saúde humana e espécies animais, vegetais e marinhas. A medida de desempenho é a relação: kg de SO₂ equiv/m²/ano.

L6. Resíduos Sólidos

- L6.1. Evitar o derrubamento das estruturas existentes no local. A medida de desempenho é a porcentagem de material das estruturas existentes (kg/ton) que não serão mais destinadas aos aterros sanitários.
- L6.2. Evitar o desperdício contínuo resultante do processo construtivo. A medida de desempenho é a porcentagem pelo peso dos resíduos resultantes da construção de edifícios novos ou reformados que não serão destinados aos aterros sanitários.
- L6.3. Evitar o desperdício contínuo resultante do gerenciamento e operação do edifício.

L7. Efluentes líquidos

- L7.1. Precipitação da água da chuva no local. A medida de desempenho é a relação entre o volume de água da chuva, pela área do terreno que não requererá a eliminação pela rede pública, em $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$.
- L7.2. Reuso da água cinza dentro dos limites do terreno. A medida de desempenho é a relação entre o volume de água que não requererá tratamento da rede pública, em $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$.

L8. Resíduos perigosos resultantes de resíduos de demolições

L9. Impactos ambientais locais e em propriedades vizinhas

- L9.1. Emissões térmicas que causam impacto na temperatura da água de lagos ou aquíferos sub-superficiais. A medida de desempenho é uma avaliação qualitativa da extensão das implicações, por exemplo, do uso de bombas de calor, que causem implicações ao local.

A lista de verificação pode ser visualizada como se segue.

GBT2k Building Performance Rating System									
Version 1.05 2000.05.19									
Performance Assessment Sheet									
Building Name: Mon Repos MegaCentre		Office Building		Save		EBIC default: Most default			
Building Type: Office Building		Multi-Unit Residential		Revised		School		Select Primary Building Type	
Version: Daylight, low-energy version									
City & Country: Toronto, Canada									
<p>Note: In both the Assessment and Content worksheets, information is available at various levels of detail. Click on the small buttons at the upper left of each cell to view the results.</p> <p>Additional comments: indicate that the parameter is theoretically relevant, but that an assessment is not possible or is impractical in this case.</p> <p>Note that dummy scores have been entered into this version of the system. This means that some scores may not make sense - e.g. if a parameter is non-applicable to a certain building type but applicable to another type, then it is likely to be a score entered. However, the weighted score will still make sense, since weights are automatically zeroed if the parameter is non-applicable.</p>									
<p>Enter Score or text:</p> <p>Enter Weight:</p> <p>Formula (left):</p> <p>Formula held linked to other scores:</p> <p>Results or weighted score field:</p> <p>Hyperlink:</p> <p>Parameter or text depends on building type:</p>									
<p>Performance Relative to Appropriate Benchmarks</p> <p>Scoring</p> <p>Weighting and scoring</p>									
<p>R RESOURCE CONSUMPTION</p> <p>Score: 21/65 Weight: 1/4 VMC: 21/65 Score: 21/65 VMC: 21/65 Category: 21/65</p>									
<p>L LOADINGS</p> <p>Score: 21/65 Weight: 1/4 VMC: 21/65 Score: 21/65 VMC: 21/65 Category: 21/65</p>									
<p>Q INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY</p> <p>Score: 21/65 Weight: 1/4 VMC: 21/65 Score: 21/65 VMC: 21/65 Category: 21/65</p>									
<p>S QUALITY OF SERVICE</p> <p>Score: 21/65 Weight: 1/4 VMC: 21/65 Score: 21/65 VMC: 21/65 Category: 21/65</p>									
<p>E ECONOMICS</p> <p>Assessor's Notes</p>									
<p>M PRE-OPERATIONS MANAGEMENT</p> <p>Assessor's Notes</p>

Figura 64. Planilhas da avaliação do sistema GBTool. Fonte: GBC2000, 2004.

4.2.3 LEED

O LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* – é um programa iniciado em 1994 pelo US Green Building Council (USGBC), instituição financiada pelo National Institute of Standards and Technology (NIST), com o intuito de desenvolver um sistema de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios orientado para o mercado, de forma a estimulá-lo, acelerar o alcance de metas ou mesmo superá-las.

De acordo com o USGBC, em 2001, o desenvolvimento de sistemas de classificação de desempenho ambiental de edifícios incentiva outros segmentos da indústria da construção no desenvolvimento de produtos e serviços de maior qualidade ambiental. Os sistemas de avaliação “voluntários” anteriores ao LEED como o BREEAM, do Reino Unido e o BEPAC, do Canadá, demonstraram que a identificação e a comunicação da eficiência e desempenho ambiental de edifícios elevaram a conscientização e o critério de seleção dos consumidores e estimularam os esforços de proprietários e construtores a produzirem edifícios ambientalmente mais corretos (SILVA, 2003). A

intenção é que seu uso como linha-guia para concepção e execução de projetos e ferramenta de certificação, traga melhorias para os edifícios em diferentes planos: no bem-estar dos seus ocupantes, no seu desempenho ambiental e nos seus retornos econômicos.

O programa foi iniciado em 1996 e voltado inicialmente para edifícios de ocupação comercial (LEED-NC), como edifícios de escritórios, institucionais, hotéis e edifícios residenciais com mais de quatro pavimentos. Até o momento o sistema possui outros cinco programas: a versão piloto do LEED-EB para edifícios existentes em operação, a versão piloto do LEED-CI Projetos de interiores comerciais, a versão piloto do LEED-CS Projetos de escritórios, o LEED-H Projetos residenciais e o LEED-ND para o desenvolvimento de bairro.

A certificação é válida por cinco anos. Após este período, deverá ser encaminhada uma nova solicitação de avaliação por um programa do USGBC apropriado em relação à avaliação da operação e gestão do empreendimento. Sendo um padrão de caráter dinâmico, o LEED recebe revisões e modificações, sendo a sua última versão a de número 2.1.

A estrutura do programa é baseada em especificações de desempenho e tem como referências normas e recomendações de organismos de credibilidade reconhecidos como a ASHRAE, a ASTM, a EPA e o DOE (SILVA, 2003). Baseada em um sistema de pontos obtidos com o cumprimento de normas estabelecidas, a certificação oficial para o padrão LEED é feita por profissionais certificados pelo USGBC através de cursos e exames. Caso o projeto atenda as normas mínimas estabelecidas este recebe um selo "certificado".

A verificação de adequação às exigências LEED é avaliada através de um *check list* padronizado, que aborda todas as áreas a serem consideradas. Cada uma destas áreas é subdividida em itens e cada um destes deve ser avaliado individualmente. A cada item avaliado são atribuídos pontos que, somados, devem atingir patamares pré-determinados para obtenção da certificação em diferentes graus. Quanto maior o cumprimento dos requisitos, maior o número de pontos atingidos, o que resulta em um selo de maior valor. São quatro os padrões a serem atingidos, descritos a seguir de forma crescente, em relação ao seu valor; o "*certified*", o "*silver*", o "*gold*" e o "*platinum*". É importante ressaltar que alguns destes itens são pré-requisitos e, não estando estes de acordo com as normas estabelecidas, o projeto poderá ficar

impossibilitado no prosseguimento de sua avaliação, o que incapacitará sua certificação.

Seguem, abaixo, as áreas e itens avaliados na certificação LEED:

Sítios Sustentáveis

- Erosão e Controle de Sedimentação;
- Seleção da área;
- Densidade de desenvolvimento;
- Re-desenvolvimento de áreas contaminadas;
- Transporte alternativo;
- Distúrbio reduzido da área;
- Gerenciamento de águas pluviais;
- Efeito de ilha de calor;
- Redução de poluição luminosa.

Eficiência do Uso de Água

- Paisagismo eficiente no uso de água;
- Tecnologias inovadoras no tratamento de efluentes;
- Redução do uso de água.

Energia e Atmosfera

- Comissionamento dos sistemas fundamentais do edifício;
- Desempenho energético mínimo;
- Redução de CFC em equipamento de ar-condicionado e ventilação;
- Otimização do desempenho energético.

Energia renovável

- Comissionamento adicional;
- Destruição de ozônio;
- Medição e verificação;
- “Energia Verde”.

Materiais e Recursos

- Armazenamento e coleta de recicláveis;
- Re-utilização de construções;
- Gerenciamento de rejeitos de construção;
- Re-utilização de recursos;
- Conteúdo reciclado;
- Materiais locais / regionais;
- Materiais rapidamente renováveis;
- Madeira certificada.

Qualidade Ambiental Interna

- Desempenho mínimo de qualidade do ar interno;
- Controle de fumaça de tabaco;
- Monitoramento de dióxido de carbono;
- Efetividade da ventilação;
- Plano de gerenciamento de qualidade do ar interno da construção;
- Materiais de baixa emissão;
- Controle de fontes internas de poluição e emissões químicas;
- Controlabilidade de sistemas;
- Conforto térmico;
- Luz natural e vistas.

Inovação e Processo de Projeto

- Inovação no projeto;
- Profissional com certificado LEED.

4.2.3.1 Abordagem em energia, materiais e água

Criado para aplicação no território dos Estados Unidos da América, o padrão LEED baseia-se no cumprimento de normas e padrões estabelecidos por diferentes entidades norte americanas, tanto de âmbito governamental quanto privado.

Esta característica traz consigo algumas potenciais dificuldades quando se deseja aplicar o padrão em outros países, principalmente no que se refere à existência ou inexistência de padrões locais estabelecidos seja por lei ou por instituições locais que entrem em conflito com as exigências ditadas pelo LEED.

Há diversos casos documentados de projetos certificados fora do território norte americano e as circunstâncias e condições em que ocorreram ainda não foram estudadas.

Os créditos LEED são premiados como se segue:

- Locais sustentáveis: 8 créditos, 14 pontos;
- **Eficiência de água: 3 créditos, 5 pontos;**
- **Energia e Atmosfera: 6 créditos, 17 pontos;**
- **Materiais e Recursos: 7 créditos, 13 pontos;**
- Qualidade Ambiental em recinto fechado: 8 créditos, 15 pontos
- Inovação: 4 pontos; e,
- LEED Accredited o Profissional: 1 ponto

Os créditos referentes à energia, aos materiais e a água estão marcadas na Figura 65 a seguir nos campos pontilhados.

LEED-NO versão 2.1		
CRÉDITOS	CATEGORIAS	PONTOS
SÍTIOS SUSTENTÁVEIS		14
Pré-Requisito	Controle de erosão e sedimentação	Pré-Requisito
Crédito 1	Seleção do terreno	1
Crédito 2	Densidade de desenvolvimento	1
Crédito 3	Redesenvolvimento de áreas contaminadas	1
Crédito 4.1	Transporte alternativo. Acesso ao transporte público.	1
Crédito 4.2	Transporte alternativo. Estacionamento de bicicletas e vestiários.	1
Crédito 4.3	Transporte alternativo. Veículos com o uso de combustíveis alternativos.	1
Crédito 4.4	Transporte alternativo.	1
Crédito 5.1	Redução de perturbações dos sítios. Proteger e restaurar o espaço aberto.	1
Crédito 5.2	Redução de perturbações dos sítios. Rastro de desenvolvimento.	1
Crédito 6.1	Administração da água da chuva. Taxas e quantidades.	1
Crédito 6.2	Administração da água da chuva. Tratamentos.	1
Crédito 7.1	Paisagismo e projeto de áreas externas para a redução de ilhas de calor. Sem cobertura.	1
Crédito 7.2	Paisagismo e projeto de áreas externas para a redução de ilhas de calor. Com cobertura.	1
Crédito 8	Redução de poluição luminosa.	1
USO EFICIENTE DA ÁGUA		6
Crédito 1.1	Paisagismo com uso eficiente de água. Reduzido para 50%.	1
Crédito 1.2	Paisagismo com uso eficiente de água. Uso de água não potável, sem irrigação.	1
Crédito 2	Tecnologias inovadoras para reutilização de água.	1
Crédito 3.1	Redução do uso da água. 20% de redução.	1
Crédito 3.2	Redução do uso da água. 30% de redução.	1
ENERGIA E ATMOSFERA		17
Pré-Requisito 1	Sistemas fundamentais de comissionamento de edifícios.	1
Pré-Requisito 2	Otimização do desempenho energético.	1
Pré-Requisito 3	Redução de HCFC (hidroclorofluorcarbono) em equipamentos de condicionamento.	1
Crédito 1	Otimização do desempenho energético.	1
Crédito 2.1	Energia renovável. 5%.	1
Crédito 2.2	Energia renovável. 10%.	1
Crédito 2.3	Energia renovável. 20%.	1
Crédito 3	Comissionamento adicional.	1
Crédito 4	Depleção de ozônio.	1
Crédito 5	Mensuração e verificação.	1
Crédito 6	Energia "verde".	1
MATERIAIS E RECURSOS		13
Pré-Requisito 1	Local para depósito e coleta de recicláveis.	1
Crédito 1.1	Reutilização do edifício. Mantendo 75% da estrutura original.	1
Crédito 1.2	Reutilização do edifício. Mantendo 100% da estrutura original.	1
Crédito 1.3	Reutilização do edifício. Mantendo 100% da estrutura original e 50% do restante dos componentes.	1
Crédito 2.1	Gestão dos desperdícios de obra. Desvio de 50%.	1
Crédito 2.2	Gestão dos desperdícios de obra. Desvio de 75%.	1
Crédito 3.1	Reuso de recursos. 5%.	1
Crédito 3.2	Reuso de recursos. 10%.	1
Crédito 4.1	Conteúdo reciclado. 5% (pós-consumo + 1/2 pós-industrial).	1
Crédito 4.2	Conteúdo reciclado. 10% (pós-consumo + 1/2 pós-industrial).	1
Crédito 5.1	Materiais regionais/locais. 20% manufaturado localmente.	1
Crédito 5.2	Materiais regionais/locais. Mais de 20% manufaturado localmente, 50% colhido na região.	1
Crédito 6	Materiais rapidamente renováveis.	1
Crédito 7	Madeira certificada.	1
QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO		15
Pré-Requisito 1	Performance mínima da qualidade do ar interno.	1
Pré-Requisito 2	Controle ambiental da fumaça de cigarro.	1
Crédito 1	Monitoramento de dióxido de carbono (CO2)	1
Crédito 2	Ventilação eficaz.	1
Crédito 3.1	Plano de gestão da qualidade do ar interno durante o processo de construção.	1
Crédito 3.2	Plano de gestão da qualidade do ar interno antes da ocupação.	1
Crédito 4.1	Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Adesivos e selantes.	1
Crédito 4.2	Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Tintas.	1
Crédito 4.3	Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Carpetes.	1
Crédito 4.4	Materiais com baixa liberação de compostos voláteis. Madeiras compostas e fibras.	1
Crédito 5	Controle de poluição interna de origem química.	1
Crédito 6.1	Controlabilidade dos sistemas. Perimetral.	1
Crédito 6.2	Controlabilidade dos sistemas. Não perimetral.	1
Crédito 7.1	Conforto térmico. De acordo com a norma ASHRAE 55-1992.	1
Crédito 7.2	Conforto térmico. Sistemas de monitoramento permanentes.	1
Crédito 8.1	Luz natural e vistas. Espaços iluminados por 75% de luz natural.	1
Crédito 8.2	Luz natural e vistas. 90% dos espaços com vista.	1
INOVAÇÃO E PROCESSO DE PROJETO		5
Crédito 1.1, 1.2, 1.3, 1.4	Inovações de projeto.	1
Crédito 2	Envolvimento de profissional habilitado pelo LEEDtm.	1
CERTIFIED		26-32
SILVER		33-38
GOLD		39-51
PLATINUM		52-69

Figura 65. Tabela simplificada LEED. Fonte: US GREEN BUILDING COUNCIL, 2002.

4.2.4 SPeAR

O Spear – *Sustainable Project Appraisal Routine* - é um sistema independente desenvolvido na Inglaterra pelo escritório londrino de engenharia Arup. Com respeito ao desafio de transformar as questões de sustentabilidade da teoria à prática, o escritório desenvolveu uma ferramenta para demonstrar a sustentabilidade de um projeto, processo ou produto de forma a ser usada como um instrumento de informação ou como parte de um processo de projeto. A Rotina de Avaliação do Projeto Sustentável (SPeAR®) está baseada em um modelo de quatro quadrantes que estrutura os assuntos de sustentabilidade de forma a empreender a avaliação de desempenho.

Estas quatro grandes áreas são subdivididas de acordo com a figura abaixo.

Meio-Ambiente Qualidade do ar Uso do Solo Água Ecologia e Herança cultural Projeto e Operação Transporte	Sociedade Saúde e Bem-estar Conforto/Satisfação do Usuário Forma e espaço Acesso Amenidades Inclusão
Recursos Naturais Materiais Água Energia Uso do Solo Hierarquia dos Resíduos	Economia Benefícios Sociais Transporte Habilidades Empregatícias Efeitos da Competitividade Viabilidade

Figura 66. Esquema com as quatro áreas avaliadas pelo sistema SPeAR.

As diversas áreas do sistema e os indicadores subjacentes não têm um peso, de forma a não possibilitar que uma ou outra área tenha mais ou menos importância do que outra. Sua estruturação lógica dos assuntos diversos de sustentabilidade provê uma metodologia para avaliar o desempenho dos indicadores e transferir o resultado em um diagrama. Além disso, o sistema:

- Realça as forças e as fraquezas do projeto, ilustrando as áreas possíveis de serem melhoradas futuramente;
- Fornece informações que ajudam no processo de decisão;
- Fornece informações auditáveis para garantia e propósitos de verificação.

A escala de pontuação vai de 3 a -3. A ferramenta calcula a média das contagens para todos os itens de uma grande área, o que produz uma avaliação global daquele

indicador. As avaliações são exibidas dentro de cunhas de cores diferentes dentro de círculos, que vão do verde escuro (+3) que representa a melhor prática, ao vermelho (-3), como o pior caso. O círculo ou Diagrama de Rosa não dá uma única contagem global; é uma visualização gráfica da sustentabilidade de um projeto particular em um momento específico. O diagrama mostra claramente onde o projeto é fraco e onde é forte e assim pode ser usado para guiar o time envolvido no projeto, para que perceba os itens que necessitam de melhorias.

4.2.4.1 Abordagem em energia, materiais e água

A avaliação consiste no desempenho de quatro grandes áreas, cada uma delas subdivida em outras seis. Atribuem-se pontos que vão de 3 a -3, que ilustrados numa rosácea como representado na Figura 67. Quanto melhor o desempenho em cada tema, mais o ponto se aproxima do alvo. O resultado gráfico é bastante didático, pois se visualiza rapidamente as áreas fortes ou fracas do projeto, o que facilita novas intervenções para melhorias.

Os campos diretamente referentes à Energia, Materiais e Água estão marcados na figura abaixo, porém não foi possível um melhor detalhamento devido à dificuldade no acesso de maiores informações, já que o sistema é independente e suas informações são confidenciais à empresa. Basicamente eles dizem respeito a grande área recursos naturais, com alguma participação no grupo meio-ambiente.

Figura 68. Modelo de quatro-quadrante. Nesta figura quanto mais as cunhas verdes se aproximam do alvo do centro do círculo, melhor o desempenho naquele item. Fonte, ARUP.

[illegible]

Figura 69. Imagem da lista de verificação SPeAR. Fonte, ARUP.

4.2.5 HQE

Programa iniciado na França em 2002 sob responsabilidade do CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*), o HQE – *La Haute Qualité Environnementale* - visa atestar o desempenho ambiental de edifícios comerciais e assegurar que todo o processo desde a fase de programação até de execução do edifício se dê de maneira controlada e a qualidade ambiental garantida. Inicialmente o sistema é aplicável a quatro tipos de edifícios comerciais novos: escritórios, hotéis, instituições de ensino e comércio (lojas, supermercados, *shopping centers*).

Existem dois referenciais para a certificação: o sistema de gestão do empreendimento (SMO - *Système de Management d'Opération*) e o da qualidade ambiental do edifício (QEB - *Qualité Environnementale du Bâtiment*). A primeira referência é universal, podendo ser aplicada a qualquer país, e a segunda local, adaptada para as construções francesas.

A certificação é dada por níveis, no caso estrelas, e não por uma soma de pontos. São avaliados 14 itens no total, sendo estes:

ECO-CONSTRUÇÃO

1) Relação do edifício com o seu entorno.

2) Escolha integrada dos produtos, sistemas e processos construtivos.

3) Canteiro de obras com baixo impacto ambiental.

ECO-GESTÃO

4) Gestão da energia.

5) Gestão da água.

6) Gestão dos rejeitos (lixo).

7) Gestão da manutenção.

CONFORTO (*dos usuários do edifício*)

8) Conforto higrotérmico.

9) Conforto acústico.

10) Conforto visual.

11) Conforto olfativo.

SAÚDE (*dos usuários do edifício*)

12) Qualidade sanitária dos ambientes.

13) Qualidade sanitária do ar.

14) Qualidade sanitária da água.

Figura 70. Os 14 itens da avaliação HQE divididos em quatro grupos: Eco-construção, Eco-gestão, Conforto e Saúde. Fonte: CARDOSO, 2003.

O planejador traça um perfil do empreendimento que determina as categorias de preocupação ambiental, sanitária e de conforto que serão “pesadas” dentre as 14

definidas. As categorias privilegiadas deverão ter um desempenho igual ou superior aos exemplos de excelência ambiental do país e, os não privilegiados, deverão ao mínimo responder ao desempenho normalizado usual.

Para cada categoria existem três níveis de desempenho: o *Base*, o *Performant*, e o *Três-Performant*. Ao menos três dos itens devem atender a categoria *Performant* e ao menos sete devem atender a *Três-Performant*.

4.2.5.1 Abordagem em energia, materiais e água

Basicamente os itens mais diretamente relacionados com a avaliação em energia, materiais e água estão no grupo Eco-gestão. No grupo saúde, a qualidade de água sanitária também é um item importante que será detalhado mais abaixo. Os parâmetros avaliados no sistema estão elencados nas planilhas abaixo, com o atendimento mínimo que deve ser contemplado. Alguns itens devem ter no mínimo desempenho *Performant*, enquanto que outros apenas devem atender as premissas básicas.

(2) Escolha integrada dos produtos, sistemas e processos construtivos

Essa categoria de preocupações trata de três preocupações essenciais distintas, mas fortemente relacionadas entre si. A primeira diz respeito à consideração de critérios de qualidade ambiental na escolha dos produtos que serão incorporados ao edifício. A segunda preocupa-se com a durabilidade e com a adaptabilidade do empreendimento, que ainda são muitas vezes negligenciadas por empreendedores e arquitetos. Finalmente, a terceira preocupação exige a consideração dos impactos ambientais, ao longo do ciclo de vida, quando da escolha dos produtos que serão incorporados ao edifício.

- 2.1. Escolha integrada dos produtos de construção incluindo critérios de qualidade ambiental
 - 2.1.1. Selecionar produtos cujas características sejam verificadas (B) (M)
 - 2.1.2. Estratégia de escolha de produtos incluindo critérios ambientais (B – P – TP) (M)
 - 2.2. Escolha de sistemas construtivos a fim de assegurar a durabilidade e a adaptabilidade do empreendimento
 - 2.2.1. Escolha de produtos a fim de melhorar a adaptabilidade do empreendimento (B) (M)
 - 2.2.2. Escolha de produtos a fim de facilitar a futura renovação e reforma do empreendimento (B) (M)
 - 2.2.3. Adequação dos sistemas construtivos à vida útil do empreendimento (B) (M)
 - 2.3. Escolha de produtos de construção a fim de limitar os impactos ambientais do empreendimento (B – P – TP) (M e F)
- Não há maior detalhamento da sub-categoria sob a forma de preocupações ambientais, sanitárias ou de conforto

(3) Canteiro de obras com baixo impacto ambiental

Essa categoria de preocupações visa a minimizar os impactos do canteiro de obras na vizinhança, mas também nas pessoas que nele trabalham. Para tanto, exige que se planeje o canteiro e que se preocupe com a sua gestão. Trata-se de uma categoria que envolve vários agentes (empreendedor, projetistas, construtores, etc.). Uma outra ênfase é dada aos canteiros de demolição, em particular nos de deconstrução seletiva, que deve ser otimizada em função do contexto.

- 3.1. Projeto do canteiro objetivando limitar a produção de resíduo e otimizar a sua gestão
 - 3.1.1. Reduzir a produção de resíduos (B) (M)
 - 3.1.2. Quantificar os resíduos do canteiro (B) (M)
 - 3.1.3. Organizar a triagem e a estocagem dos resíduos no canteiro (B) (M)
- 3.2. Otimização da gestão dos resíduos do canteiro
 - 3.2.1. Assegurar a qualidade da triagem (P) (F)
 - 3.2.2. Assegurar a rastreabilidade dos resíduos (B) (F)
 - 3.2.3. Retroalimentar a experiência do canteiro quanto à gestão dos resíduos (TP) (M)
- 3.3. Redução dos incômodos e das poluições
 - 3.3.1. Sensibilizar e implicar os funcionários quanto aos incômodos e às poluições causados pelo canteiro (B) (M)
 - 3.3.2. Sensibilizar e implicar os vizinhos quanto aos incômodos e às poluições causados pelo canteiro (B) (M)
 - 3.3.3. Limitar os incômodos (B) (M)
 - 3.3.4. Limitar as poluições (B) (M)
- 3.4. Controle dos recursos água e energia
 - 3.4.1. Controlar o consumo de água no canteiro (P) (M)
 - 3.4.2. Controlar o consumo de energia no canteiro (TP) (M)
- 3.5. Demolição e deconstrução seletiva (quando houver demolição)
 - 3.5.1. Realizar projeto de deconstrução objetivando otimizar o grau de deconstrução (B) (M)
 - 3.5.2. Realizar projeto de deconstrução objetivando limitar seus incômodos e poluições (B) (M)
 - 3.5.3. Gerenciar o canteiro de modo a otimizar técnica e economicamente a gestão dos resíduos de deconstrução (B) (M e F)

Figura 71. Planilha de avaliação da eco-construção do HQE. Fonte: CARDOSO, 2003.

ECO-GESTÃO

Essa família agrupa as categorias de preocupações cujos impactos relacionam-se com a fase de Uso do edifício, quando de sua gestão

(4) Gestão da energia

Desde o início dos anos 1970, a diminuição dos consumos energéticos faz parte das preocupações de governantes e projetistas, num primeiro momento devido a razões económicas, e mais recentemente visando à preservação dos recursos naturais e à redução das poluições devidas aos processos de conversão energética.

Essa categoria de preocupações enfoca por um lado a redução do consumo de energia primária não renovável, durante a fase de Uso do empreendimento, e por outro lado a redução dos impactos associados à energia, relacionados a três tipos de poluição devidas à transformação de matéria combustível em energia: as emissões de gases causadores do efeito estufa, as emissões responsáveis pelas chuvas ácidas e os rejeitos radioativos devidos a produção de energia a partir de fontes nucleares.

4.1. Redução do consumo de energia primária não renovável

4.1.1. Reduzir o consumo de energia primária não renovável (B) (F)

4.1.2. Melhorar a capacidade do envelope do edifício a reduzir as necessidades de calefação (B) (F)

4.1.3. Melhorar a capacidade do edifício a reduzir os consumos ligados ao resfriamento interior através de soluções passivas (P) (M)

4.1.4. Melhorar a capacidade do envelope do edifício a reduzir o uso de condicionamento de ar (somente para edifícios climatizados) (B) (F)

4.1.5. Melhorar a eficiência dos equipamentos energéticos e a sua gestão (B) (M)

4.1.6. Utilizar energias renováveis locais (B) (M)

4.2. Controle das poluições geradas pelo consumo de energia

4.2.1. Limitar a contribuição ao efeito estufa (P) (F)

4.2.2. Limitar a contribuição ao fenómeno das chuvas ácidas (P) (F)

4.2.3. Limitar a produção de rejeitos radioativos (P) (F)

(5) Gestão da água

Essa categoria de preocupações se interessa inicialmente pelo problema da economia de água potável e por conseguinte pelo seu uso de forma racional. Ela destaca igualmente a importância da gestão das águas pluviais no âmbito do sítio (terreno).

5.1. Redução dos consumos de água potável (B – P – TP) (M e F)

Não há maior detalhamento da sub-categoria sob a forma de preocupações ambientais, sanitárias ou de conforto

5.2. Gestão das águas pluviais no sítio (terreno)

5.2.1. Gestão da infiltração (B) (F)

5.2.2. Gestão da retenção (B) (F)

5.2.3. Gestão das águas superficiais poluídas (B) (M)

(6) Gestão dos rejeitos (lixo)

Essa categoria de preocupações volta-se aos rejeitos gerados ao longo da vida do edifício pelos diferentes agentes que ele abriga. A ênfase é dada para a questão da estimativa da produção dos rejeitos, quanto à sua quantidade e natureza, para a organização e para a gestão interna dos rejeitos e para a obtenção de uma coerência entre a gestão interna e as estratégias propostas pelos agentes externos (para a coleta e tratamento).

6.1. Estimativa da produção de rejeitos

6.1.1. Quantificar por categoria de rejeito e explorar as alternativas locais de reciclagem e reuso (P) (M)

6.2. Garantia da adequação entre coleta interna e externa (B – P) (M)

Não há maior detalhamento da sub-categoria sob a forma de preocupações ambientais, sanitárias ou de conforto

6.3. Otimização do sistema de coleta interna

6.3.1. Otimizar a coleta nos locais de produção (B – P – TP) (M)

6.3.2. Otimizar os circuitos de coleta entre os locais de produção, de estocagem, de agrupamento e de coleta (B – P – TP) (M)

6.3.3. Otimizar a coleta nos locais de estocagem, de agrupamento e de coleta (B – P – TP) (M)

Figura 72. Planilha de avaliação de gestão do HQE. Fonte: CARDOSO, 2003.

(14) Qualidade sanitária da água

Essa categoria de preocupações não se interessa pela qualidade sanitária da água em si, mas pela qualidade das redes que permite limitar os riscos sanitários. Ela leva em conta as normas de projeto e as disposições (principalmente relacionadas aos materiais) a adotar de modo a limitar os riscos sanitários relacionados à presença de águas de diferentes tipos, no interior do empreendimento.

- 14.1. Garantia da qualidade e da durabilidade dos materiais empregados nas redes internas
 - 14.1.1. Assegurar a compatibilidade dos materiais empregados com a regulamentação sanitária (B) (M)
 - 14.1.2. Escolher materiais compatíveis com a água (B) (M)
 - 14.1.3. Aplicar materiais com durabilidade assegurada (B) (M)
- 14.2. Organização das redes
 - 14.2.1. Organizar as redes por tipo de uso (B) (M)
 - 14.2.2. Sinalizar as redes (B) (M)
- 14.3. Proteção das redes públicas e internas de água potável contra os retornos de água
 - 14.3.1. Proteger os equipamentos ligados às redes (B) (M)
 - 14.3.2. Proteger as redes (B) (M)
 - 14.3.3. Proteger as conexões (B) (M)
 - 14.3.4. Separar a rede de água potável das outras redes (no caso de fonte própria) e reduzir os riscos de ligação acidental (B) (M)
- 14.4. Garantia da circulação e da estabilidade de temperatura nas redes de água potável
 - 14.4.1. Assegurar a boa concepção das instalações individuais de água quente para uso sanitário (B) (M)
 - 14.4.2. Assegurar a boa concepção das instalações coletivas de água quente para calefação e de água fria para uso sanitário (B) (M)
- 14.5. Controle dos tratamentos anti-corrosão e anti-carbonatação (formação de tártaro)
 - 14.5.1. Assegurar a adequação de tratamento eventual de água (B) (M)
 - 14.5.2. Assegurar a qualidade dos produtos de tratamento (B) (M)
 - 14.5.3. Controlar o desempenho dos tratamentos anti-corrosão e anti-carbonatação (B) (M)

Figura 73. Planilha de avaliação da qualidade da água do HQE. Fonte: CARDOSO, 2003.

4.2.6 CASBEE

A ferramenta CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* - foi desenvolvida no Japão em 2002, com o intuito de lançar um novo sistema ambiental de avaliação de edifícios que unisse as exigências políticas com as do mercado, informando a sociedade quanto ao ciclo de vida do edifício.

Considerando este impacto, o novo sistema foi projetado para o uso concomitante aos processos de projeto do edifício, desde a fase de pré-projeto às segundas fases de projeto e de pós-projeto.

Assim, o sistema consiste em quatro ferramentas de avaliação com usuários bem definidos. As ferramentas avaliam o projeto ou edifício por seus estágios específicos de ciclo-vida e incluem: "*The pre-design Tool*"; o "*Design for Environment Tool - DfE*", "*The Eco-labeling Tool*" e "*The Sustainable operation and Renovation Tool*", conforme ilustrados na Figura 74.

	Main users	Pre-design phase	Design phase	Post-design phase		
		Planning stage	Design stage	Completion stage	Operation stage	Renovation design stage
0. The pre-design Tool Application for new building	Client, Planner, Designer	Assessment for the issues that are possible to study at planning stage. (Including site selection and programming)	Assessment for the issues that are possible to study at first design stage.	Tool-0		
1. The DfE (Design for environment) Tool Application for new building	Client, Designer (At the completion stage, the measure is assessed with cooperation of constructors.)		Assessment for the issues that are possible to study at design stage. <ul style="list-style-type: none"> U Energy efficiency R Resource efficiency L Local environment I Indoor environment 	Assessment for the issues that are possible to study at detail design stage (including design modification through the completion)	Tool-1	
2. The Eco-labeling Tool Application for assessment including operational experience and existing building	Client, Designer, Constructor (Client entrusts Designer with self-assessment and petition. Judgment by the third organization.)			Provisional assessment and provisional labeling with the tool for design with environmental care.	Assessment and Labeling including operational experience of approx. one year use or more.	Tool-2
3. The Sustainable operation and Renovation Tool Application for operational improvement of existing building and renovation.	Client, Designer, (Client entrusts consultant with assessment.)			Tool-3	Assessment and Labeling including operational experience of approx. one year use or more.	Assessment on the timing of renovation considering the assessments of design stage and detail design stage for facilities

Figura 74. Ferramentas de avaliação do método CASBEE de acordo com cada etapa do projeto.

A avaliação pode ser feita para diferentes tipos de edifícios incluindo escritórios, escolas e edifícios residenciais uni ou multi-familiares.

A descrição mais detalhada das ferramentas está descrita a seguir.

- *Tool-0: "The pre-design Tool"* - A ferramenta de avaliação permite a proprietários, planejadores e projetistas identificarem o contexto básico do projeto. Esta ferramenta sugerirá a seleção do local apropriado e o impacto básico do projeto.
- *Tool-1: "Design for Environment Tool - DfE"* - (projeto para o meio ambiente). Ferramenta de verificação para clientes e projetistas para melhorarem o desempenho ambiental do edifício durante o processo do projeto. Contempla quatro grandes áreas de estudo: a eficiência energética, a eficiência de recursos, o meio ambiente local e o ambiente interno.
- *Tool-2: "The Eco-labeling Tool"* - A ferramenta é usada para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios após sua conclusão. Pode também ser usada para determinar o valor básico da propriedade e do edifício no mercado.

- *Tool-3: "The Sustainable operation and Renovation Tool"* - Ferramenta de operação e de renovação fornece a proprietários de edifícios e projetistas informações a respeito de como melhorarem o desempenho ambiental dos edifícios.

Como exposto no GBTool, o CASBEE é um exemplo de cumprimento do objetivo do *Green Building Challenge* em relação a uma base metodológica sólida. O conceito de eficiência ambiental é resultado de uma divisão com o numerador representado pela qualidade ambiental e denominador representado pelas cargas ambientais. A qualidade ambiental é resultado da somatória de pontos referentes ao ambiente interno, à qualidade dos serviços e ao ambiente externo ao edifício. A carga ambiental é decorrência da somatória dos pontos de energia, recursos e materiais e ambiente fora dos limites do terreno.

$$\text{ECO-EFICIÊNCIA} = \frac{(Q) \text{ Qualidade e desempenho ambiental do edifício}}{(L) \text{ Cargas Ambientais ocasionadas pelo edifício}}$$

Figura 75. Método de cálculo do sistema de avaliação, que considera os efeitos positivos, divididos pelos efeitos negativos da edificação.

A pontuação final é sumarizada em cinco conceitos, do mais baixo ao mais alto: C, B-, B+, A e S (superior). Há uma pontuação mínima (BEE>1) que deve ser atingida pela classificação. A avaliação do projeto ou edifício é representada em um gráfico, que ilustra a posição do resultado em relação aos outros conceitos.

Figura 76. Gráfico com o resultado final de duas simulações de edifícios no CASBEE.

4.2.6.1 Abordagem em energia, materiais e água

Como foi visto, o método CASBEE separa dois campos de avaliação: o **Q** (Qualidade): Qualidade e Desempenho Ambiental do Edifício, que avalia as melhorias realizadas para o público do edifício e no interior da propriedade; e o **L** (Cargas): Cargas Ambientais do Edifício, que avalia os aspectos negativos gerados pelo projeto que ultrapassam os limites do terreno afetando áreas mais amplas.

A respeito da energia, dos materiais e da água, os indicadores avaliados são posicionados no denominador da equação representado pelas cargas ambientais, isto é, quanto maior forem as cargas, pior a posição do edifício no gráfico final Figura 76. Na Figura 77 vê-se com maior detalhe os parâmetros avaliados.

A seguir são mostrados os formulários com os campos avaliados e, marcados em tracejado, as áreas onde se desejava maior profundidade de informações.

Aspectos avaliados	Categorias para derivar o BEE Categoria (peso)	Pts	BEE
Consumo de energia Uso de recursos críticos Ambiente local Ambiente interno	Qualidade ambiental		
	Q1: Ambiente interno (0,5)		
	Ruído e acústica	15	
	Conforto térmico	15	
	Iluminação	20	
	Qualidade do ar	15	
	Q2: Qualidade dos serviços (0,35)		
	Serviceability (funcionalidade, aconchego)	10	
	Durabilidade	10	
	Flexibilidade e adaptabilidade	15	
	Q3: Ambiente externo (ao edifício) no terreno (0,15)		
	Manutenção e criação de ecossistemas	5	
	Paisagem	5	
	Características locais e culturais	5	
	Cargas ambientais		
	L1: Energia (0,5)		
	Carga térmica do edifício	5	
	Uso de energia natural	10	
	Eficiência dos sistemas prediais	5	
	Operação eficiente	10	
	L2: Recursos e materiais (0,3)		
	Água	10	
	Eco-materiais	30	
	L3: Ambiente fora do terreno (0,2)		
	Polluição do ar	5	
	Ruído e odores	10	
	Acesso a ventilação	5	
	Acesso a iluminação	5	
	Efeito de ilhas de calor	5	
	Carga em infraestrutura local	5	
80 subitens	18 categorias	220	

Figura 77. Qualidade e cargas ambientais consideradas no cálculo CASBEE.

LR Reduction of Building Environmental Loadings						3.0
LR-1 Energy			0.40			3.0
1	Building Thermal Load	3.0	0.30	+	-	3.0
2	Natural Energy Utilization	3.0	0.20	+	-	3.0
2.1	Direct Use of Natural Energy	3.0	0.50	+	-	
2.2	Converted Use of Renewable Energy	3.0	0.50	+	-	
3	Efficiency in Building Service System	3.0	0.30	+	-	3.0
4	Efficient Operation	3.0	0.20	+	-	3.0
4.1	Monitoring	3.0	0.50	+	-	
4.2	Operational Management System	3.0	0.50	+	-	
LR-2 Resources & Materials			0.30			3.0
1	Water Resources	3.0	0.15	+	-	3.0
1.1	Water Saving	3.0	0.40	+	-	
1.2	Rainwater & Gray Water	3.0	0.60	+	-	
1	Rainwater Use Systems	3.0	0.66	+	-	
2	Gray Water Reuse System	3.0	0.33	+	-	
2	Materials of Low Environmental Load	3.0	0.85	+	-	3.0
2.1	Recycled Materials	3.0	0.35	+	-	
1	Reuse Efficiency of Materials Used in Structure	3.0	1.00	+	-	
2	Reuse Efficiency of Non-structural Materials	3.0	+	+	-	
2.2	Timber from Sustainable Forestry	3.0	0.03	+	-	
2.3	Materials with Low Health Risks	3.0	0.08	+	-	
2.4	Reuse of Existing Building Skeleton etc.	3.0	0.17	+	-	
2.5	Reusability of Components & Materials	3.0	0.17	+	-	
2.6	Use of CFCs & Halons	3.0	0.17	+	-	
1	Fire Retardant	3.0	0.33	+	-	
2	Insulation Materials	3.0	0.33	+	-	
3	Refrigerants	3.0	0.33	+	-	
LR-3 Off-site Environment			0.30			3.0
1	Air Pollution	3.0	0.15	+	-	3.0
2	Noise, Vibration & Odor	3.0	0.15	+	-	3.0
2.1	Noise & Vibration	3.0	0.50	+	-	
2.2	Odors	3.0	0.50	+	-	
3	Wind Damage & Sunlight Obstruction	3.0	0.15	+	-	3.0
4	Light Pollution	3.0	0.10	+	-	3.0
5	Heat Island effect	3.0	0.30	+	-	3.0
6	Load on Local Infrastructure	3.0	0.15	+	-	3.0

Figura 78. Planilha de cálculo das cargas ambientais consideradas em relação à energia, materiais e água no método CASBEE.

Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency		CASBEE for New Construction		CASBEE-NCe_2004v1.0																																				
Assessment sheet of Preliminary Design Stage		Assessment date	5-Jun-04	Assessor	XXX																																			
		Date of approval	10-Jul-04	Approved by	XXX																																			
(1) Building Outline																																								
Building Name	XX building				Appearance, views, etc. Unprotect sheet when you paste pictures.																																			
Building Type	Offices																																							
Location / Climate	XX city, XX pref.		Zone IV																																					
Area / Zone	Commercial Area																																							
Completion	Aug-03 Scheduled		Number of Floors +XX F																																					
Site Area	XXX m ²		Structure RC																																					
Construction Area	XXX m ²		Occupancy XX persons																																					
Gross Floor Area	XXX m ²		Annual Occupancy XXX hrs/yr																																					
(2) Results of Comprehensive Assessment for Building Environmental Efficiency																																								
(2)-1 Building Environmental Quality & Performance and Load Reduction (Results by Category)																																								
Q: Building Environmental Quality & Performance		Score: $S_Q = 3.0$ $S_Q = 0.4 \cdot S_{Q1} + 0.3 \cdot S_{Q2} + 0.3 \cdot S_{Q3}$																																						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Q-1</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>Q-2</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>Q-3</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>LR-1</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>LR-2</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>LR-3</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table>				Category	Score	Q-1	3.0	Q-2	3.0	Q-3	3.0	LR-1	3.0	LR-2	3.0	LR-3	3.0																					
Category	Score																																							
Q-1	3.0																																							
Q-2	3.0																																							
Q-3	3.0																																							
LR-1	3.0																																							
LR-2	3.0																																							
LR-3	3.0																																							
LR: Reduction of Building Environmental Loadings																																								
Score: $S_{LR} = 3.0$ $S_{LR} = 0.4 \cdot S_{LR1} + 0.3 \cdot S_{LR2} + 0.3 \cdot S_{LR3}$																																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LR-1</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>LR-2</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>LR-3</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table>				Category	Score	LR-1	3.0	LR-2	3.0	LR-3	3.0																											
Category	Score																																							
LR-1	3.0																																							
LR-2	3.0																																							
LR-3	3.0																																							
(2)-2 BEE Building Environmental Efficiency																																								
		<p>BEE = $\frac{\text{Building Environmental Quality \& Performance } Q}{\text{Building Environmental Loadings } L}$</p> <p>$= \frac{25 \cdot (S_Q - 1)}{25 \cdot (5 - S_{LR})} = \frac{50}{50} = 1.0$</p> <p>$Q = 25 \cdot (S_Q - 1)$ S_Q: Score of Q category $S_Q = 0.4 \cdot S_{Q1} + 0.3 \cdot S_{Q2} + 0.3 \cdot S_{Q3}$</p> <p>$L = 25 \cdot (5 - S_{LR})$ S_{LR}: Score of LR category $S_{LR} = 0.4 \cdot S_{LR1} + 0.3 \cdot S_{LR2} + 0.3 \cdot S_{LR3}$</p>																																						
(3) Important Assessment Items Excluded from Comprehensive Assessment for Building Environmental Efficiency																																								
(3)-1 Quantitative Assessment Indicators for Typical Building Environmental Loadings																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Value / y / m²</th> <th>Value / person / h</th> <th>Reduction / y / m²</th> <th>Reduction Rate %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energy consumption in building operation</td> <td>MJ/y/m²</td> <td>MJ/person/h</td> <td>MJ/y/m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CO₂ emission in building operation</td> <td>kg-CO₂/y/m²</td> <td>kg-CO₂/person/h</td> <td>kg-CO₂/y/m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Water consumption</td> <td>m³/y/m²</td> <td>m³/person/h</td> <td>m³/y/m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lifecycle CO₂ emission</td> <td>kg-CO₂/y/m²</td> <td>kg-CO₂/person/h</td> <td>kg-CO₂/y/m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lifecycle amount of waste disposal</td> <td>t/y/m²</td> <td>t/person/h</td> <td>t/y/m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lifecycle amount of resource</td> <td>t/y/m²</td> <td>t/person/h</td> <td>t/y/m²</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Value / y / m ²	Value / person / h	Reduction / y / m ²	Reduction Rate %	Energy consumption in building operation	MJ/y/m ²	MJ/person/h	MJ/y/m ²		CO ₂ emission in building operation	kg-CO ₂ /y/m ²	kg-CO ₂ /person/h	kg-CO ₂ /y/m ²		Water consumption	m ³ /y/m ²	m ³ /person/h	m ³ /y/m ²		Lifecycle CO ₂ emission	kg-CO ₂ /y/m ²	kg-CO ₂ /person/h	kg-CO ₂ /y/m ²		Lifecycle amount of waste disposal	t/y/m ²	t/person/h	t/y/m ²		Lifecycle amount of resource	t/y/m ²	t/person/h	t/y/m ²	
	Value / y / m ²	Value / person / h	Reduction / y / m ²	Reduction Rate %																																				
Energy consumption in building operation	MJ/y/m ²	MJ/person/h	MJ/y/m ²																																					
CO ₂ emission in building operation	kg-CO ₂ /y/m ²	kg-CO ₂ /person/h	kg-CO ₂ /y/m ²																																					
Water consumption	m ³ /y/m ²	m ³ /person/h	m ³ /y/m ²																																					
Lifecycle CO ₂ emission	kg-CO ₂ /y/m ²	kg-CO ₂ /person/h	kg-CO ₂ /y/m ²																																					
Lifecycle amount of waste disposal	t/y/m ²	t/person/h	t/y/m ²																																					
Lifecycle amount of resource	t/y/m ²	t/person/h	t/y/m ²																																					
(3)-2 Design Process Assessment																																								
Concerned Items																																								
Design Stage																																								
1 Design by Accredited Professional																																								
Construction Stage																																								
2 Environmental Management Plan																																								
<p>Notes: *1: Essential assessment results are displayed in (1) and (2). *2: Site - selection - related assessments are not included. A standard building constructed on this site is given the score of 3. "NA" denotes that the item is excluded from assessment. *3: Assessment (3) is optional. If possible, it is recorded only in the execution design stage and the construction completion stage.</p>																																								

Figura 79. Planilha CASBEE para edifícios novos.

4.2.7 NABERS

O Governo australiano desenvolveu o primeiro sistema de avaliação do ambiente construído do país, validado em 2004 e chamado NABERS - *National Australian Building Environmental Rating Scheme*. É um sistema de avaliação que mede o desempenho ambiental global de um edifício existente durante a operação em relação a uma gama de categorias fundamentais de impacto ambiental.

O sistema é uma ferramenta voluntária que proverá informação sobre a sustentabilidade dos edifícios existentes no país e que, imagina-se, promoverá uma mudança na maneira de se ver o ambiente construído. O governo australiano espera que o resultado seja a atração de maiores investimentos em alternativas de edifícios sustentáveis.

Estão disponíveis planilhas eletrônicas para edifícios comerciais ou residenciais no endereço eletrônico do sistema. Estas planilhas eletrônicas permitem a introdução dos dados exigidos para completar a avaliação e gerar uma contagem para um edifício em particular.

As áreas avaliadas pelo sistema são:

- Uso de Energia e emissões de efeito estufa;
- Uso de refrigerantes (Potencial de Aquecimento Global e de depleção de ozônio);
- Uso da água;
- Área permeável;
- Controle de poluição da água pluvial;
- Volume de esgoto expelido;
- Diversidade do paisagismo;
- Transporte;
- Materiais Tóxicos;
- A qualidade do ar interno;
- A satisfação dos ocupantes;
- Resíduos.

Estes itens cobrem o conjunto de parâmetros de desempenho ambientais que estão abaixo do controle direto ou influência dominante do edifício básico.

As contagens individuais das categorias de impacto ambiental são, ao final, condensadas em uma única contagem que vai de zero a dez, onde o menor valor representa o pior da prática atual, o valor cinco representa a prática atual média e o valor 10 representa o melhor desempenho. Quase todos os edifícios comerciais podem ser classificados nesta escala enquanto fornecem um reconhecimento imediato de bons e péssimos exemplos em desempenho no mercado australiano atual, além de prover dados de melhor prática internacionalmente.

NABERSPoints	OGS	OWS	SMS	OIS	Interpretation
10	5	5	4	3,5	World precedent
9	4,5	4,5	3,6	3,2	World class
8	4	4	3,2	2,9	Best practice
7	3,5	3,5	2,8	2,6	Good practice
6	3	3	2,4	2,3	Upper average
5	2,5	2,5	2	2	Average
4	2	2	1,6	1,7	Lower Average
3	1,5	1,5	1,2	1,4	Poor
2	1	1	0,8	1,1	Very poor
1	0,5	0,5	0,4	0,8	Extremely poor
0	0	0	0	0	Failed

Figura 80. Tabela com a pontuação e interpretação dos resultados nos diferentes grupos avaliados na metodologia do sistema NABERS.

NABERS Residential		Show instructions
		Show technical background
Summary		
Environmental Issue	Score	
Energy/Greenhouse	#NOME?	####
Transport	#NOME?	####
Water Use	#NOME?	####
Stormwater Runoff	#NOME?	####
Stormwater Pollution	#NOME?	####
Sewage Outfall	#NOME?	####
Landscape Diversity	#NOME?	####
Toxic Materials	#NOME?	####
Waste Total	#NOME?	####
Waste Landfill	#NOME?	####
Indoor Air Quality	#NOME?	####
Occupant Satisfaction	00/5	
Greenhouse Score	#NOME?	
Water Score	#NOME?	
Site Management Score	#NOME?	
Occupant Impact Score	#NOME?	
Overall Score	#NOME?	
Assessment	#NOME?	

Figura 81. Imagem da planilha final de avaliação do sistema australiano NABERS.

4.2.7.1 Abordagem em energia, materiais e água

Nos casos descritos anteriormente foi priorizada a avaliação dos sistemas para edifícios de escritórios, porém, para a avaliação dos parâmetros mais completos de conforto no sistema NABERS, apenas foram encontradas planilhas de análise na versão residencial, conforme descrito adiante.

A avaliação energética cobre o consumo e a emissão de gases de efeito estufa. Para o cálculo do consumo de energia é necessário o recolhimento dos 12 últimos meses das contas de energia, assegurando-se de que as contas cubram um ano inteiro. O desempenho da energia e do efeito estufa é calculado na base do uso real da energia, convertido em emissões de gases estufa e regulado pelo clima e pela quantidade e horas de ocupação do edifício.

Em relação à água, a avaliação é referente ao consumo em m³/pessoa/ano. Neste valor, o uso de água pluvial ou água de reuso previsto no projeto não é computado, sendo um benefício e não um prejuízo à estimativa.

Em relação aos materiais, a avaliação dos possíveis componentes tóxicos é empreendida por uma observação. A avaliação é baseada nos cuidados dados aos produtos e equipamento potencialmente perigosos: na presença, armazenamento e cuidados na eliminação dos mesmos.

A contagem é feita para cada área acima descrita e os resultados são referentes à média da contagem total. A seguir, pode-se visualizar as planilhas de avaliação do sistema.

NABERS Residential		
Show instructions Show technical background		
Water Use		
Water Consumption	Units	Quantity
Metered water consumption from all sources	m^3 per year	
Normalised: m^3 /person/year		#NOME?
SCORE		#NOME?
Stormwater Runoff		
Select assessment method	Method 1 Method 2 Method 3	
Table 1:		
Surface Type	units	
Impervious surfaces	m^2 /in	
Semi-pervious surfaces	m^2 /in	
Pervious surfaces	m^2 /in	
Other surface 1	m^2 /in	
Other surface 2	m^2 /in	
Table 2:		
Value	units	
Metered stormwater reuse	m^3 /year	
Annual rainfall	mm /year	
Evaporation	m^3 /year	
Table 3:		
Value	units	
Metered stormwater flows	m^3 /year	
Calculated stormwater distortion index		#NOME?
SCORE Method 1		#NOME?
Stormwater Pollution		
Area ID	Surface Type	Area (m ²)
	Loose organic matter	General rubbish
	Toxic rubbish	Hydrocarbon spills
	Sewage	Artificial fertiliser
	Long residence herbicide	Pesticide
	Car washing	
Activities/use		
Click "Add" to add a new row		
Score		#NOME?
Sewage Outfall Volume		
Table 1: Method 1 - Direct Measurement		
Item	Units	volume
Metered sewage outfall volume	m^3 /year	
Table 2: Method 2 - Metered Estimation		
Item	Units	volume
Metered fresh water	m^3 /year	
Evaporation loss	m^3 /year	
Irrigation	m^3 /year	
Rainwater used internally	m^3 /year	
Externally reticulated treated greywater	m^3 /year	
Calculated sewage outfall	m^3 /year	0

Energy & Greenhouse			
Fuel type	Units	Quantity	kg of CO ₂ e/year
Electricity	kWh/year		0
Gas	MJ/year		0
Coal black	kg/year		0
Coal brown	kg/year		0
Oil / diesel	Litres/year		0
Firewood	tonnes/year		0
TOTAL			0
Normalised: kgCO ₂ e/person/year			#NOME?
SCORE		#NOME?	
Table 3: Method 3 - Unmetered Estimation			
Item	Units	volume	
Lowest quarter metered fresh water	m^3 /quarter		
Calculated annual sewage outfall	m^3 /year	0	
Normalised sewage outfall volume		m^3 /occupant per year	#NOME?
SCORE		#NOME?	
Toxic Materials			
Toxic Material Category	Cleaning chemicals	Garden chemicals	Pool chemicals
	Hydrocarbons	Paints, varnishes and thinners	Batteries
	Electronic Equipment	Smoke detectors	Fluorescent tubes
Use			
Present on site	☐	☐	☐
Presence score			5
Storage			
Original container?	☐	☐	☐
Container integrity?	☐	☐	☐
No spills present?	☐	☐	☐
Storage integrity?	☐	☐	☐
Storage security?	☐	☐	☐
Storage score			#NOME?
Disposal			
Direct to environment	☐	☐	☐
To normal waste infrastructure or still on site	☐	☐	☐
Approved disposal method	☐	☐	☐
Disposal score			#NOME?
Overall score			#NOME?
Show instructions Show technical background			
NABERS Residential			
Waste			
General data required		Units	waste quantity
Weight of total waste		kg	
Weight of waste sent to landfill		kg	
Total Waste Score		#NOME?	

Figura 82. Planilhas referentes à avaliação de energia, materiais e água da metodologia NABERS.

4.2.8 Modelo brasileiro

O Brasil ainda não possui um método de avaliação da sustentabilidade de edifícios oficial, até a data de fechamento deste trabalho. Porém algumas pesquisas estão caminhando neste sentido.

Um sistema de avaliação - Modelo para a avaliação de sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiro - foi resultado de um trabalho de doutorado realizado na POLI-USP em 2003 e desenvolvido pela Profa. Vanessa Gomes da UNICAMP. Este sistema propõe a definição de parâmetros para projeto e avaliação de desempenho ambiental

de edificações no Brasil, proporcionando diretrizes para a concepção de empreendimentos imobiliários, desde a fase de projeto à de uso, operação e manutenção. O sistema ainda está em fase de aprimoramento e a autora espera que possa ser implantado futuramente.

Apesar do sistema ainda não ter sido lançado oficialmente foi estudado nesta pesquisa devido a sua formatação que leve em consideração a realidade nacional. A análise está demonstrada mais abaixo, porém o sistema não será disposto junto aos outros no quadro síntese deste capítulo.

As categorias avaliadas são divididas em três grandes áreas de indicadores do empreendimento: ambientais, sociais e econômicas; e ainda conta com uma área de avaliação quanto à gestão, que podem ser feitas em duas etapas: a de auto-avaliação, feita pelo público interessado; e a revisão da auto-avaliação, feita por avaliadores credenciados. As etapas de avaliação são divididas pelo ciclo do empreendimento: Planejamento, Projeto, Construção 1 e 2 e Operação.

Figura 83. Estrutura temática para organização dos indicadores qualitativos e quantitativos proposto. Fonte: SILVA, 2003.

O modelo de avaliação possui um sistema de classificação de desempenho dividido em três níveis:

- Nível A: correspondente a > de 90% dos pontos obtidos;
- Nível B: de 71% a 90% dos pontos obtidos;
- Nível C: de 50% a 70% dos pontos obtidos.

Após a classificação de nível, há uma atribuição de bônus, em forma de estrelas, para mais uma classificação à parte, conforme se segue.

Figura 84. Imagem da tela de entrada do aplicativo e imagem da tela de saída com a avaliação final.

Os resultados são representados graficamente em uma rosácea, onde quanto mais os pontos se aproximam da região externa do círculo, melhor é o resultado.

Figura 85. Saídas gráficas do aplicativo e tabela com a relação de pontos e estrelas correspondentes.

4.2.8.1 Abordagem em energia, materiais e água

A abordagem nestes três conjuntos temáticos se faz prioritariamente na etapa de avaliação do projeto. Em relação às questões sobre a energia, os itens são simplificados, resumindo-se a respostas afirmativas ou negativas a respeito da existência de alguma previsão de meta quanto ao consumo de energia, ou previsão de uso de energia renovável no projeto.

Em relação à avaliação dos materiais, a análise é realizada sobre a proporção de materiais de “melhor valor” em relação a proporção de materiais totais aplicados nos componentes do edifício. “Melhor valor” é considerado no aplicativo como: rapidamente renováveis, reutilizáveis, recicláveis, biodegradáveis e/ou madeira certificada.

Em relação à água, a avaliação também é realizada de uma forma simplificada, bastando-se responder se foi ou não prevista alguma medida de economia e consumo, além da existência ou não de algum processo de gestão de água da chuva.

Desta forma, como outros sistemas analisados, faltam informações mais aprofundadas em relação aos critérios e indicadores de avaliação de energia, materiais e água.

Os formulários podem ser visualizados como se segue.

PA2 - ENERGIA

PA2.1 - Quais medidas de economia de energia foram incorporadas no projeto?

☐ Dispositivos energeticamente eficientes para iluminação
 ☐ Dispositivos energeticamente eficientes para condicionamento
 ☐ Soluções energeticamente eficientes para ventilação
 ☐ Isolamento adequado
 ☐ Uso de fontes renováveis
 ☐ Outros

PA2.2 - Foi definida uma meta de projeto quanto a consumo de energia?

☒ Não
 ☐ Sim
 Qual?

PA2.3 - Foi definida uma meta de projeto quanto a uso de energia renovável?

☒ Não
 ☐ Sim
 Qual?

PA3 - ÁGUA

PA3.1 - Quais medidas de economia de água foram incorporadas no projeto?

☒ Dispositivos eficientes/ economizadores
 ☐ Medição setorizada / individualizada
 ☐ Mecanismos de detecção de vazamentos
 ☐ Procedimentos regulares (max.cdi. 6 meses) para identificar e reparar vazamentos
 ☐ Outros

PA3.2 - Foi definida uma meta de projeto quanto a consumo de água?

☒ Não
 ☐ Sim
 Qual?

PA3.3 - Quais medidas de gestão de água de chuva foram incorporadas no projeto?

☐ Infiltração: uso de pavimentos permeáveis
 ☐ Retenção: reservatório enterrado (<500m2 área impermeável)
 ☐ Retenção por criação de áreas alagáveis
 ☐ Filtragem/tratamento no próprio sítio: faixas vegetadas filtrantes
 ☐ Filtragem/tratamento no próprio sítio: biosswales
 ☐ Outros

BÔNUS 2 - CONSERVAÇÃO DE ÁGUA

☐ Previsão de coleta e tratamento de água da chuva para uso em irrigação
 ☐ Sistemas de drenagem mais sustentáveis
 ☐ Outros

PA4 - MATERIAS

PA4.1 - Não utilização de materiais reconhecidamente danosos ao ambiente

☐ Asbestos
 ☐ Isolantes (ou componentes que contenham isolantes) que liberem CFCs durante a produção
 ☐ Refrigerantes a base de CFC no sistema de condicionamento artificial
 ☐ Madeiras constantes na lista de espécies ameaçadas (Portaria IBAMA 37N de 1992)
 ☐ Outros

PA4.2 - Porcentagem de materiais especificados com base no "melhor valor", que inclui consideração do seu impacto ambiental (por porcentagem de unidade funcional).

locais (<150 Km) - rapidamente renováveis - madeira certificada - reutilizáveis - renováveis - biodegradáveis - conteúdo reciclado

1 - Estruturas (volume)

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

2 - Vedações (área)

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

3 - Piso (área)

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

4 - Cobertura (área)

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

PA4.3 - Seleção de materiais usados internamente (pisos, forros, pintura, isolamento, colas, adesivos e solventes, impermeabilizantes) com base em emissão de VOCs e partículas respiráveis

☐ Piso
 ☐ Forro
 ☐ Pintura
 ☐ Isolamento
 ☐ Colas e Adesivos
 ☐ Impermeabilizantes
 ☐ Solventes
 ☐ Outros

BÔNUS 3 - Reutilização de materiais e componentes em condições adequadas

1 - Estruturas

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

2 - Vedações

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

3 - Piso

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

4 - Cobertura

☒ < 20 %
 ☐ 20 - 40 %
 ☐ 41 - 60 %
 ☐ 61 - 80 %
 ☐ > 80 %

PA5 - RESÍDUOS

PA5.1 - Quais medidas para redução e controle de resíduos foram incorporadas no projeto?

☐ Dispositivos para redução de resíduos
 ☐ Facilidades para segregação de resíduos
 ☐ Facilidades para reciclagem de resíduos
 ☐ Reuso de materiais e componentes
 ☐ Outros

Figura 86. Planilhas de avaliação durante a etapa de projeto que correspondem à análise em energia, materiais e água.

4.3 Síntese dos Sistemas

A análise dos sete sistemas de avaliação de sustentabilidade estudados anteriormente, demonstra certa congruência em relação a sua abordagem quanto à energia, materiais e água. O consumo de energia, a presença de materiais reciclados, o uso de energia renovável, o consumo de água, todos são indicadores comuns junto aos sistemas, no entanto, estes diferem quanto aos pesos finais em cada avaliação.

A seguir está apresentado um quadro síntese, que detalha os itens avaliados em cada sistema.

Quadro 10. Síntese da avaliação dos sistemas quanto à energia, materiais e água.

	ENERGIA	MATERIAIS	ÁGUA
BRE Eco Homes (BREEAM)	<ul style="list-style-type: none"> • produção de CO₂ devido ao consumo de energia • desempenho da envoltória do edifício • provisão de espaço para secagem de roupas • uso de equipamentos eficientes energeticamente • iluminação externa de baixo consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • elementos construtivos de madeira • madeira como acabamento • materiais recicláveis • impacto ambiental dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> • consumo de água (m³/casa/ano)
GBTool	<ul style="list-style-type: none"> • consumo total e anual de energia primária incorporada (GJ, MJ) • consumo de energia primária renovável e não renovável para a operação do prédio (MJ) • energia incorporada nos materiais durante seu ciclo de vida (MJ/m²/ano) • energia não renovável utilizada para a operação do edifício durante seu ciclo de vida (MJ/m²/ano) • emissões de gases de efeito estufa das fontes de energia utilizadas nas operações do edifício durante seu ciclo de vida (Kg de CO₂ equiv/m²/ano) • emissão de gases (NO_x, SO_x, etc) que conduzem à acidificação nas operações dos edifícios (kg de SO₂ equiv/m²/ano) 	<ul style="list-style-type: none"> • conservação de estruturas existentes (proporção da área do edifício mantido em relação à área total do novo edifício) • reuso de materiais e componentes de estruturas existentes no terreno • reuso do bota-fora dos materiais e componentes de estruturas existentes no terreno • uso de materiais reutilizados (proporção dos materiais e componentes utilizados) • emissões de gases efeito estufa incorporadas nos materiais durante seu ciclo de vida (Kg de CO₂ equiv/m²/ano) • evitar o derrubamento das estruturas existentes no local. A medida é a porcentagem de material das estruturas exist. (kg/ton) que não serão mais destinadas aos aterros sanitários • evitar o desperdício contínuo resultante do processo construtivo. A medida é a porcentagem pelo peso dos resíduos result. da constr. de edifícios novos ou reform. que não serão destinados aos aterros sanitários • evitar o desperdício contínuo resultante do gerenciamento e operação do edifício. • resíduos perigosos resultantes de resíduos de demolições 	<ul style="list-style-type: none"> • consumo de água potável da rede (m³/pessoa/ano) • precipitação da água da chuva no local. A medida de desempenho é a relação entre o volume de água da chuva, pela área do terreno que não requererá a eliminação pela rede pública (m³/m²/ano) • reuso da água cinza dentro dos limites do terreno. A medida de desempenho é a relação entre o volume de água que não requererá tratamento da rede pública (m³/m²/ano)

LEED	<ul style="list-style-type: none"> • comissionamento dos sistemas fundamentais do edifício • otimização do desempenho energético • redução de CFC em equipamentos de ar-condicionado e ventilação • energia renovável 	<ul style="list-style-type: none"> • armazenamento e coleta de recicláveis • reutilização de material de construções • gerenciamento de rejeitos de construção • reutilização de recursos 	<ul style="list-style-type: none"> • paisagismo eficiente no uso da água • tecnologias inovadoras para a reutilização da água • redução do uso da água • administração da água da chuva. Taxas e quantidades. Tratamentos.
	<ul style="list-style-type: none"> • comissionamento adicional • depleção de ozônio • medição e verificação • energia verde • transporte alternativo: veículos com o uso de combustíveis alternativos 	<ul style="list-style-type: none"> • conteúdo reciclado • materiais locais-regionais • materiais rapidamente renováveis • materiais com baixa liberação de compostos voláteis 	
SPEAR	<ul style="list-style-type: none"> • consumo de energia • Monitoramento de consumo de energia • energia incorporada • luz natural • fontes renováveis de energia 	<ul style="list-style-type: none"> • uso de novos materiais • agregados virgens • materiais reutilizados • materiais reciclados • materiais locais • madeira reutilizada • especificação de produtos sustentáveis • redução de impacto com o uso de análise do ciclo de vida 	<ul style="list-style-type: none"> • consumo • condições da água que retorna à fonte • alternativas para o suprimento da rede • sistemas de drenagem sem tubulações • qualidade da água de descarte que é destinada ao solo • esgoto tratado organicamente
HQE	<ul style="list-style-type: none"> • reduzir o consumo de energia primária não renovável • controle das poluições geradas pelo consumo de energia • controlar o consumo de energia no canteiro 	<ul style="list-style-type: none"> • estimativa da produção de rejeitos • garantia da adequação entre coleta interna e externa • otimização do sistema de coleta interna • escolha integrada dos produtos de construção incluindo critérios de qualidade ambiental • escolha de sistemas construtivos a fim de assegurar a durabilidade e adaptabilidade do empreendimento • escolha de produtos de construção a fim de limitar os impactos ambientais do empreendimento • demolição e desconstrução seletiva • projeto do canteiro objetivando limitar a produção de resíduo e otimizar a sua gestão • otimização da gestão de resíduos do canteiro 	<ul style="list-style-type: none"> • redução do consumo da água potável • gestão das águas pluviais no sítio • garantia da qualidade e durabilidade dos materiais empregados na rede (materiais compatíveis com a água) • organização das redes • proteção das redes públicas e internas de água potável contra os retornos de água • garantia da circulação e da estabilidade de temperatura nas redes de água potável • controle dos tratamentos anti-corrosão e anti-carbonatação • controlar o consumo de água no canteiro
CASBEE	<ul style="list-style-type: none"> • cargas térmicas do edifício • uso direto de energia natural • uso convertido de energia renovável • eficiência dos sistemas do edifício • eficiência da operação do edifício 	<ul style="list-style-type: none"> • uso de materiais reciclados • madeira certificada • materiais com baixo riscos à saúde • reutilização do edifício • reciclabilidade dos componentes e materiais • uso de CFCs e Halons 	<ul style="list-style-type: none"> • economia de água • uso de água da chuva • uso de águas cinzas
NABERS	<ul style="list-style-type: none"> • uso de energia primária convertida em Kg de CO₂ e/ano • energia utilizada no transporte, calculada através do combustível utilizado, distância rodada e conversão em emissões de CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • presença de materiais tóxicos no local • armazenamento de materiais tóxicos • destino dos materiais • peso total dos detritos e do material destinado aos aterros 	<ul style="list-style-type: none"> • consumo de água • quantidade de água da chuva não absorvida pelo solo • volume do esgoto • poluição da água da chuva

PARTE 3

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas

Pôde-se ver ao longo do trabalho, o esforço em classificar os sistemas envolvidos na produção de uma arquitetura de menor impacto ambiental. Foram estudadas as inovações tecnológicas dos sistemas que envolvem energia, água e o que se conhece atualmente em relação aos materiais de construção. Igualmente, a abordagem destes parâmetros foi analisada nos sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios.

Percebe-se que, na maioria destes sistemas, há certo consenso quanto aos temas avaliados. Todos eles avaliam, por exemplo, a questão da utilização de energia renovável, a presença de conteúdo de materiais reciclados, o consumo de água. Então, quais as principais congruências e diferenças em relação a estes sete sistemas?

Todos eles funcionam como uma ferramenta para conscientização dos agentes envolvidos, desde a incorporação até a operação dos edifícios, em relação às questões ambientais que envolvem os materiais e sistemas que compõem a arquitetura. A função destes sistemas é também a de elevar os padrões de exigência ambientais do edifício, na forma de atualizações constantes.

A maior diferença se dá nos pesos finais das avaliações em cada grupo de informações, diferença esta que tem relação com as políticas ambientais de cada país. O NABERS, sistema australiano, por exemplo, avalia a questão do uso da água através de diversos indicadores, desde consumo, área permeável do solo e qualidade da água. Estas preocupações certamente remontam a preocupações ambientais específicas da região, aonde o problema da escassez de água potável é grave.

Como foi dito anteriormente, os padrões de exigências ambientais vêm constantemente sendo elevados, como é o caso, dos novos regulamentos britânicos – *Building Regulations PART L* – parte que envolve o consumo de combustíveis e energia. Em muitos casos, para que os edifícios tenham o desempenho necessário, são utilizadas novas tecnologias, como por exemplo, fontes de energia renovável, painéis fotovoltaicos, sistemas para reuso das águas, entre outros.

Desta forma, a abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas, remonta a uma questão básica: a relação entre a arquitetura, a engenharia e a tecnologia.

Para se aproximar a esta questão foram entrevistados dez profissionais envolvidos na área de sustentabilidade da arquitetura, entre eles arquitetos, engenheiros e consultores ambientais. Foi possível realizar uma viagem ao final da pesquisa para a cidade de Londres, aonde se fez contato pessoal com os seguintes profissionais, em ordem alfabética:

- Arq. Ivan Harbour, do *Richard Rogers Partnership*;
- Eng. Klaus Bode, do BD+SP;
- Prof. Koen Steemers, do *Martin Centre - University of Cambridge*;
- Arq. Lora Nicolau, do DEGW;
- Eng. Max Fordham, do *Max Fordham Partnership*;
- Eng. Mohsen Zihri, do ARUP;
- Arq. Raul Moura, do WSP;
- Arq. Rob Nicholson, do *Edward Cullinan Architects*;
- Prof. Simos Yannas, da AA - *Architectural Association School*;
- Prof. Suzannah Hagan, da UEL – *University of East London*.

Estas entrevistas possibilitaram a compreensão da prática atual em relação à temática da sustentabilidade na arquitetura, preenchendo assim a pesquisa, até o momento bibliográfica.

Para se atingir a sustentabilidade na arquitetura é necessário o envolvimento de diversas especialidades, um grupo multidisciplinar que trabalhe com um enfoque comum. Segundo Yannas (2006), hoje em dia há tanta informação no que diz respeito aos campos do conhecimento que tentar fazer tudo é, não só impossível como também improdutivo. Moura (2006) garante a necessidade de uma equipe multidisciplinar para enfrentar o desafio do projeto sustentável. Em sua equipe existem engenheiros, arquitetos, técnicos de água, solo, entre outros. Deve-se trabalhar em conjunto para maximizar a eficiência dos sistemas e minimizar a perda de recursos. O que é uma perda para um pode ser um recurso para outro. Desta

forma Raul Moura aponta para a necessidade de um sistema integrado: *'um edifício que demanda refrigeração e, para este fim produz uma exaustão de calor, em vez de desperdiçá-lo, o recupera em outro edifício do conjunto que precisa da produção de água quente para o aquecimento de espaços. '*

Para Yannas (2006), a maior pergunta é: *'qual seria o ponto inicial para o arquiteto, já que seu saber é tão pequeno em relação ao conhecimento que a sustentabilidade engloba? '*

Ele contesta que a resposta não viria através de sistemas que envolvem muitos indicadores, como os analisados nesta pesquisa:

'A razão é que estes (sistemas de avaliação de sustentabilidade) tornam muito difícil entender exatamente o que seu projeto poderá afetar, (...) devido ao grande número de parâmetros e categorias diferentes (...) e a tradução destas categorias em outras mais resumidas, de forma a obter uma medida global, se torna muito complicado, assim é muito fácil perder completamente o foco e não compreender realmente os efeitos do projeto. Eu prefiro ter medidas e critérios que se relacionam aos parâmetros que nós que trabalhamos neste campo podemos verificar todo o processo e compreender (...) o efeito de um parâmetro no desempenho do todo.'

Finalizando seu raciocínio, Yannas (2006) diz que o conforto térmico e a energia utilizada para atingi-lo são parâmetros que se relacionam a tudo desde o início das preocupações ambientais, sendo, até hoje os únicos parâmetros importantes. Isto porque quando se conhece o quanto de energia o edifício necessita para se manter frio ou aquecido, também se pode conhecer as emissões de CO₂ associadas e, por sua vez, conhecer o impacto deste edifício no ambiente imediato.

Fordham (2006) centraliza o desempenho ambiental em um parâmetro, o da iluminação, isto por que na Inglaterra edifícios de escritórios consomem metade da energia para esta função. Para ele a primeira pergunta que se deve fazer é:

'De quanta luz esse edifício necessita? Pois se necessitar de muita luz, irá requerer muita energia, que será ou para eletricidade, ou para resfriamento ou aquecimento. Então se pode especificar o edifício apenas pela quantidade de luz que ele demanda. '

Para Cullinnan (2006), o enfoque principal da prática do escritório desde 1965 está nos edifícios passivos, de baixo consumo energético (*low-energy*), mais do que em materiais e água, como parte da agenda de sustentabilidade.

Segundo Ivan Harbour (2006) do escritório do Richard Rogers and Partners, no mundo inteiro existem diferentes ênfases em relação a parâmetros referentes à energia, materiais e água, principalmente em relação à água. Diz ele que esta questão é muito importante mesmo na Inglaterra, pois há uma idéia de que chove muito neste país, porém na realidade há falta de água. Entretanto, o arquiteto pensa que a única maneira de inserir efetivamente conceitos de sustentabilidade nos edifícios está nos materiais, pois sua ação passa diretamente na escolha destes produtos.

Para Steemers (2006), um dos problemas dos sistemas de avaliação também é a falta de uma unidade comum de quantificação, pois não se poderia comparar energia com materiais: *'A unidade para medir a água também é diferente da de energia, então é difícil de comparar, é duro saber como calcular o balanço destes vários parâmetros, uma combinação destes parâmetros.'* Sua opinião é de que na maioria dos sistemas de avaliação o critério ambiental não muda em função das preocupações locais e regionais, as preocupações são muito universais, sem um devido respeito ao clima, condições em relação à água, recursos em termos dos materiais.

Steemers (2006) não faz uso de nenhum dos métodos de avaliação de sustentabilidade por não serem, segundo ele, dirigidos ao ambiente acadêmico, e sim, para promover atenção. Assim como Yannas (2006), ele diz que estes sistemas misturam parâmetros e não são tão técnicos. Existem pontos que não são medidos, o que implica em suposições. Desta forma, estes sistemas não são muito utilizáveis como uma ferramenta de pesquisa e sim, para se explorar:

'Para se tentar descobrir se estão passando uma mensagem correta, se as pessoas estão usando as tecnologias corretamente. O que eu vejo com o LEED, por exemplo, é que as pessoas não estão aprendendo sobre o desempenho ambiental e sim como somar pontos.'

O arquiteto acha que estes sistemas são muito bons para promover as questões ambientais, para levantar o debate. E adiciona:

'A única razão que tenho para criticá-los do ponto de vista de pesquisa, é que eles são muito difíceis de serem utilizados, de serem interpretados, porém do ponto de vista prático, são muito bons para disseminar o debate,

particularmente politicamente. Eles não são obrigatórios, porém, sem dúvida, estão caminhando para construções mais sustentáveis. '

Para Harbour (2006), o que acontece com os sistemas de avaliação é que tendem a ser voluntários, pois se fossem compulsórios transformar-se-iam em regras. Ele ainda brinca:

'Na verdade acho que as pessoas são muito preguiçosas, e a confusão é que precisamos de regras e leis que são preditivas (não reagem as demandas e sim prevêm o futuro). Elas tendem a vir depois de tudo. Mas acho que nós precisamos de regras para deixarmos de ser preguiçosos. E os clientes as precisam, se não reagem assim: Por que eu preciso gastar dinheiro com isso? Neste caso nos apoiaremos na lei! ' E conclui: 'os sistemas são muito úteis, mas não necessários. '

Bode (2006) atenta para o fato de que hoje há todo um vocabulário associado a sustentabilidade utilizado por todos, como conservação de energia, de água, materiais. Muitas vezes as pessoas ainda não compreendem a extensão destes termos. Então, pergunta-se, como irão implementá-los? A utilização deste vocabulário e a real ação são coisas totalmente diferentes.

Nicolaou (2006), assim como Bode, concorda que existem milhares de palavras relacionadas ao termo sustentabilidade que não significam absolutamente nada e que são necessários parâmetros reais para que se possa oferecer ao cliente, para que ele veja em números, onde estão as diferenças de abordagem entre uma escolha convencional e outra com critérios ambientais. A arquiteta diz que o impulso inicial no sentido de criar um empreendimento mais sustentável se dá sim, pelo interesse do cliente, porém o segundo passo viria da aplicação de ferramentas simples.

Como especialista nesta área de conhecimento, o engenheiro Klaus Bode (2006) não emprega os sistemas de avaliação mais conhecidos no mercado em seus projetos. Em seu escritório foi criada uma lista de verificação própria. Isto normalmente já faz com que, ao final de uma avaliação média, por exemplo, através do sistema BREEAM, já seja possível obter a certificação. Segundo Bode, atingir os níveis mínimos destas certificações não requer um esforço adicional. A menos que se queiram obter níveis avançados de certificação, como o LEED Platinum, não é necessário um total e cuidadoso acompanhamento do projeto de acordo com o sistema.

Para o profissional, uma tecnologia avançada é necessária para que se atinjam níveis mais elevados de desempenho ambiental. O que ele chama de tecnologia, não necessariamente implica em tecnologias do edifício e sim, em simulações dos mesmos para que se projetem formas que não necessitem de tecnologias adicionais. Em outras palavras, quando se passa a projetar formas mais complexas, as tecnologias para simulação de desempenho são necessárias, pois não é possível prever resultados como se faz em arquiteturas vernaculares.

Para Steemers (2006) não há uma ligação necessária entre tecnologia e arquitetura. Existem muitas maneiras de se desenhar um edifício de baixo consumo energético, que não necessitam de tecnologias muito complicadas. Isto requer um bom desenho, usuários informados e edifícios adaptáveis. De fato, segundo ele, quando a tecnologia é introduzida para se reduzir o uso de energia, a performance é menos previsível:

‘Se você tiver um edifício com tecnologia de ponta - ‘high-tech’ - de baixo consumo energético, as complicações com a tecnologia provêm do fato de que os usuários não interagem propriamente com o edifício, ou o mesmo não é bem comissionado, então não opera como deveria. Estes edifícios com alta tecnologia são mais suscetíveis a darem errado, pois são mais complexos. Os usuários não entendem, enfim, muitas coisas podem dar errado. ’

Segundo Bode (2006), o errôneo é destacar os edifícios de sua dependência com a natureza através do uso da tecnologia. Por exemplo, quando se fixa uma temperatura interna do ambiente sem se dar conta da realidade externa. Quanto mais for possível seguir a natureza, melhor será a eficiência energética. Deve-se abraçar a tecnologia para se compreender a natureza, pois ela é muito difícil e dinâmica.

O papel dos consultores ambientais, ou como são chamados aqui, engenheiros mecânicos, para Bode (2006) *‘é não restringir a criatividade do arquiteto’*. Para que se caminhe para o futuro do projeto sustentável, a tecnologia deve permitir atingir um desempenho desejável do edifício, porém sem complicá-lo, não se esquecendo dos princípios básicos.

Segundo Nicolaou (2006), é necessária uma síntese do desempenho ambiental dos espaços. *“O problema é que não há nenhum padrão, nenhum método, não há nenhum benchmarking, então é muito difícil se afastar do genérico (...) em poucos casos se conseguem indicações.”*

A arquiteta se diz desapontada em relação aos novos regulamentos britânicos citados - Building Regulations Part L – pois estes evitam indicadores muito restritivos, devido a um receio de que medidas quantitativas limitariam o desenho do edifício. A vantagem é que, ao menos, funcionam como um benchmarking. Já Steemers (2006) comenta que estes regulamentos devem apenas abranger o nível mínimo de desempenho, contudo os sistemas devem ajudar a elevar estes graus.

Em relação à pergunta: é necessária uma maior entrada de tecnologia para um edifício de melhor desempenho ambiental? A resposta de Lora Nicolaou (2006) foi relacionada à questão da morfologia das cidades europeias versus as novas morfologias de edifícios altos de novas intervenções. Uma das diferenças fundamentais que ela aponta é a distância em relação ao desenho passivo e a quantidade de tecnologias do edifício que se utiliza. Há a impressão de que, nas morfologias mais simples europeias (blocos de edifícios de oito andares com plantas estreitas), não há o uso de materiais sustentáveis. Lora questiona: *‘quão distante a tecnologia do edifício está da pré-fabricação mais do que sua própria operação?’* Em sua opinião, não há razão para o uso de células fotovoltaicas em edifícios convencionais, controlando a abertura de janelas, *‘o que se precisa mesmo fazer é mudar a atitude das pessoas, ensinarem-nas a brincar com as janelas de acordo com seu nível de conforto, a possuírem consciência disto.’*

Nicolaou comenta:

‘Se mantivéssemos a maior parte da nossa cidade com construções convencionais, que eu chamaria de desenho passivo e deixar as tecnologias mais sofisticadas para a pré-fabricação de elementos do edifício (janelas, painéis de vedação, etc.), daí poderíamos ver o consumo de energia. Usar a tecnologia para investigar o desempenho do edifício em um laboratório, mais do que no próprio local.’

A estratégia número um colocada por Lora Nicolaou é a questão de que a mudança na atitude das pessoas pode fazer do uso do lugar algo muito difícil. Então, a primeira coisa a fazer seria iniciar programas educacionais para ensinar as pessoas a olharem diferentemente para cidade. *‘Seria algo que demoraria de 20 a 30 anos, porém, através de eventos e atividades divertidas você pode começar a promover agendas e tornar as pessoas atentas, por que se isso não acontecer, nada mudará em termos da construção.’*

Para Moura (2006), em sua prática os clientes são aconselhados a levarem à cabo sistemas de avaliação como o BREEAM, na Inglaterra e o LEED, internacionalmente. Porém, o profissional menciona um problema que diz respeito à certificação destes edifícios, pois no momento que estiverem prontos, já estarão desatualizados em relação aos padrões do selo, que são modernizados mais ou menos de dois em dois anos.

Sobre a questão das certificações, Zihri (2006) cita a ferramenta para medir a sustentabilidade da empresa ARUP. O conceito básico foi o de ir além da avaliação do edifício, pois se pode obter um edifício muito eficiente em si, porém, os sistemas normais, não reconhecem completamente outros fatores que dizem respeito ao entorno imediato. O engenheiro chama a atenção para a quantidade de energia que tem sido gasta na Inglaterra, aonde um terço é destinada aos edifícios, um terço ao transporte e o último terço essencialmente para o comércio e a indústria de manufatura.

Ele alerta para a ligação intrínseca entre o transporte e os edifícios e cita o exemplo de uma cidade onde todas as atividades da população estão bem espalhadas: trabalho, residência, lazer, comércio. Entre cada atividade há um transporte relacionado, um tempo gasto e deste modo, também um gasto energético. Neste modelo, o gasto energético é muito grande, contrário do modelo da cidade de Hong Kong, onde todas as atividades estão próximas do trabalho, do lazer, do comércio.

Desta forma, Zihri (2006) comenta que através de profissões como arquitetos, engenheiros e consultores, podem influenciar em dois terços do consumo de energia, porém isto não terá grande impacto sem o apoio do governo.

Moura (2006), em relação à tecnologia dos edifícios, menciona que os painéis fotovoltaicos podem ser considerados a solução mais cara, pois continua a ser impossível ter um retorno de investimento na vida útil do edifício. Muitas vezes, edifícios que se utilizam destes sistemas identificam-se como superiores em relação à sustentabilidade, porém são aqueles sistemas que muitas vezes não são vistos, que possuem mais eficácia. Como por exemplo, a utilização do subsolo como fonte de calor, a cogeração, a utilização da biomassa e gás como fonte de energia. Edifícios passivos, segundo ele, são os melhores, porém caso o edifício tenha muitas restrições e programas muito específicos, é necessário que engenheiros desenhem sistemas eficientes.

Para Moura (2006), o projeto sustentável deve responder ao clima, aos recursos energéticos disponíveis, a realidade urbanística; conhecer as possibilidades de sombreamento ou falta de, a localização específica, que tem a ver com os níveis de qualidade do ar, trânsito, acesso ao sol, e a realidade econômica. A maior dificuldade para a realização de um projeto sustentável ainda é convencer o cliente das vantagens, pois mesmo os clientes mais elucidados duvidam dos benefícios de certas escolhas.

Tal como os outros profissionais, Harbour (2006) também discorre que o fator mais importante para se alcançar a sustentabilidade ainda é através do cliente:

‘Este é o fator número um, pois se o cliente não está interessado, você pode tentar a vida inteira, mas não obterá nada, a menos que você consiga inserir esta escolha para você mesmo dentro do custo normal do projeto, pois os clientes não estão interessados em pagar um custo adicional, mudar a metodologia de projeto para este fim. ’

Segundo ele, mudar as aspirações do cliente requer um longo tempo.

Apesar disto Harbour (2006) afirma que a boa notícia é que mais e mais clientes desejam a sustentabilidade, e a má notícia, é que a arquitetura realizada por eles representa apenas um pedacinho do efeito positivo: *‘Se você pensar em 100 edifícios, 5 deles tem um arquiteto envolvido, e talvez destes 5, apenas 1 com aspectos de sustentabilidade’.*

Harbour (2006) dá muita ênfase à abordagem social da sustentabilidade por que, para ele, o arquiteto pode fazer a vida se tornar melhor nestes lugares, atraindo assim as pessoas para estes núcleos. O aspecto social da sustentabilidade, segundo ele, é viver em comunidade e o aspecto técnico, são as tecnologias mais apropriadas para este convívio.

Segundo Hagan (2006):

‘Se estamos falando de sustentabilidade, estamos falando de um tripé: ambiental, social e econômico. Nós não vamos lidar com as grandes áreas da sustentabilidade igualmente. O que podemos enfrentar é o ambiental, pois não somos sociólogos, economistas, não somos também físicos, porém estamos profundamente envolvidos com o mundo material, com a cultura material. ’

Para ela, as constantes que englobam a sustentabilidade ao redor do mundo são muito genéricas: produzir impactos ambientais; maximizar a eficiência energética; diminuir o uso de recursos naturais; equidade social; ambientes saudáveis e uma distribuição justa de renda. A importância destas necessidades é genérica, porém suas interpretações serão transformadas de acordo com o local a serem aplicados.

Qual efeito que os profissionais como arquitetos produzem na sustentabilidade econômica e social? Segundo Suzannah Hagan (2006), pode-se apenas indicar, dar sugestões, contudo os arquitetos possuem pouco poder, diferentemente do que em questões ambientais, que envolvem materialidades. A arquiteta concorda com os outros profissionais, todas estas decisões ainda são controladas pelo cliente.

Todo o interesse dessa pesquisa em relação às inovações tecnológicas no sentido de criar uma arquitetura de menor impacto ambiental, levou a um questionamento a respeito do futuro dos edifícios. Será que há uma tendência de criar empreendimentos cada vez mais autônomos?

A arquiteta e professora Suzannah Hagan (2006) remonta à Inglaterra nos anos 60, início dos 70, quando o desenho ambiental começou a ser desenvolvido dando ênfase na casa autônoma, a casa desplugada, que produzia sua própria energia, coletava sua própria água. De certa forma, ela afirma que, se procura reduzir impactos ambientais, é necessária a maior autonomia possível; é desejável que tudo o que se constrói seja um organismo auto-sustentável, no mais alto grau. Esse é um dos objetivos universais transferidos do meio-ambiente. No nível físico e material, este parece ser um objetivo positivo, uma boa forma de visualizar a redução dos impactos ambientais. Porém Hagan complementa:

‘Existe uma gama de associações culturais atreladas à autonomia que não são boas. Como quando se quer ser autônomo em relação à sociedade ‘do mal’, ‘consumista’, ‘egoísta’, ‘ignorante’. Isto é dominado pelas cidades, você quer voltar ao campo, criar não somente casas autônomas, mas comunidades autônomas, isoladas do resto da sociedade. Eu acho que este aspecto com esta interpretação não é realista, não ajuda grandes ‘monstros’ que nem Londres e São Paulo.’

Por conseguinte, a visão da profissional vai de encontro à idéia de ambientalismo, a interação entre todas as coisas:

‘Há uma extraordinária interconectividade entre ecossistemas, o que nos torna vulneráveis uns aos outros. Isto é tão fascinante sobre o ambientalismo, ele é tanto autônomo como interdependente. As pessoas que restringem, esquecem que a autonomia é apenas um dos aspectos do ambientalismo. A interdependência e, ultimamente, a responsabilidade de uns perante os outros são também elementos poderosos. Você tem que ser intelectualmente capaz de manter estes dois contraditórios cenários e constantes em sua mente ao mesmo tempo. ’

Esta frase final define muito bem o cenário ideal de como se pode pensar o futuro das cidades. Enquanto o número de edifícios aumenta e a aglomeração cresce em complexidade, também se dá a divisão entre o que se mantém autônomo no edifício e o que pode ser compartilhado. Desta forma, a tecnologia pode permitir que se atinja uma interdependência em uma escala mais ampla na cidade: a decisão de que elementos entre os edifícios podem ser compartilhados e quais não.

Ainda à respeito da autonomia de edifícios, segundo Steemers (2006): *‘as pessoas podem dizer que se chegar a autonomia é algo muito ambicioso, mas acredito que é o que devemos objetivar.’* Atualmente, muitos dos edifícios chamados *‘zero emission buildings’* – edifícios com emissões nulas de carbono - se apóiam na rede pública, para que possam vender e comprar energia e este é, segundo ele, um estágio importante antes que se atinja a autonomia. A dificuldade de atingi-la é que é muito difícil equilibrar o suprimento com a demanda de sistemas renováveis: *‘O maior interesse hoje em pesquisa é criar ‘micro-redes’, pequenas redes de sistemas renováveis para um bairro ou comunidade. No final nenhum edifício é sustentável se apoiar-se em uma fonte de energia não renovável. ’*

Para o engenheiro Mohsen Zihri (2006), a questão de edifícios autônomos, que ele chama de auto-sustentáveis, pode acabar sendo muito anti-econômico:

‘Pois você vai acabar com edifícios cobertos totalmente com células fotovoltaicas, o que custa muito dinheiro e, se elas não estiverem orientadas corretamente, para o ângulo certo, a eficiência pode cair muito. Você pode ter turbinas eólicas, pode combinar calor e energia e gerar eletricidade para o local e depois utilizá-la como o calor para aquecimento, se podem fazer todas estas coisas. Porém se você possuir uma demanda para eletricidade e não para aquecimento, você deverá ter esta demanda mesmo durante o verão para ser economicamente viável.’

Então segundo ele você pode gastar muito dinheiro sem obter retorno.

Desta forma o que se precisa pensar, ao invés de propor um edifício independente, é em conectar séries de edifícios, onde um obtém do outro o que necessita como recurso, mesmo conceito que Moura (2006) concentrou-se em sua entrevista, que cobre a necessidade de sistemas integrados. Para Zihri (2006), este conceito faz ainda mais sentido para um edifício alto, aonde se pode pensá-lo como uma cidade vertical que contenha lazer, residências e escritórios, todos conectados. Pensar então em um conjunto de edifícios altos torna a idéia ainda mais viável.

Outra discussão interessante, fruto desta pesquisa, é em relação aos níveis de controle do edifício. Até que ponto os usuários devem ou não controlar o edifício a seu favor?

Segundo Hagan (2006), isto depende totalmente para quem se está construindo e qual a função do edifício. Caso esteja-se construindo prioritariamente residências, então o controle deve ser frouxo, devem-se permitir quanto mais opções, o mais simples e legível possível. Em edifícios residenciais, isto já se torna um pouco mais complicado, pois se deve dividir cargas, produtividades, distribuir problemas e benefícios. Porém, genericamente falando, é muito clara a definição de quem toma a decisão.

Em contrapartida, a arquiteta diz:

‘Quando se move para a esfera pública, edifícios públicos, ou escritórios, por exemplo, daí a questão de quem toma a decisão fica mais difícil. Se estiver pensando em eficiência energética, é muito tentador pensar na automatização da decisão, ao invés de deixá-la livre à vontade dos diferentes usuários. ’

Steemers (2006) cita o conceito de ‘robustez’ na arquitetura para raciocinar sobre os níveis de controle do edifício. Segundo ele, a interação dos usuários com os edifícios é muito importante: *‘Um edifício totalmente controlado por ar-condicionado com certeza gerará mais níveis de descontentamento. ’*

Enfim, todo este debate acaba por mostrar que, sem dúvida, a conscientização de todas as pessoas, diretamente ou não envolvidas no setor da construção, é mais do que necessária para que se possam construir e revitalizar cada vez mais edifícios e cidades com maior consciência ambiental, social e econômica.

O caminho da mudança passa, segundo Bode (2006), por dois processos. O primeiro é o efeito catalisador, os iniciadores da mudança, que sozinhos não sucederiam. O outro é a necessidade do apoio das massas. Os catalisadores (nestes estão os arquitetos, consultores envolvidos) devem não somente identificar o porquê da necessidade da mudança e suas boas razões, mas também encontrar mecanismos de como dar propulsão às massas a adotarem a mudança, a quererem mudar.

Como foi visto anteriormente através da opinião de profissionais diretamente ligados a pratica da arquitetura sustentável, existem diversas estratégias e parâmetros avaliados para que se possam aproximar as novas intervenções a referências mais corretas que enfrentam os problemas ambientais, econômicos e sociais que são vividos.

É claro que, esta pesquisa concentrou-se nas aplicações à área ambiental, porém não há como fechar a pesquisa sem ao menos citar uma percepção relevante. Apesar de tantas inovações tecnológicas, avanços em pesquisas, desenvolvimento de sistemas de avaliação, cada vez mais especialistas, engenheiros, arquitetos e consultores, há uma pergunta que paira no ar. Que cidades estão sendo criadas para o futuro?

Nicolaou (2006) comenta: *'Nós perdemos a habilidade de fazer cidades de um modo que nós realmente a amemos. Na minha visão, o que é terrivelmente triste, é que de 100 anos para cá, o que fizemos para que as futuras gerações conservem em seus projetos de regeneração?'*. Em sua opinião o homem perdeu uma cultura comum no campo da estética. Existe um falta de senso, de coerência, de coesão, de um enfoque comum:

'Estas novas malhas urbanas possuem algum valor estético? Quais as novas imagens? As consideramos bonitas? De acordo com todos, a beleza não pode ser definida, o que é triste, eu acho que pode ser definida, só é mais difícil de definir do que os outros parâmetros.' E conclui: *'Ninguém quer mais falar de estética!'*

No sentido de explorar um pouco esta questão, será abaixo descrita uma sintetize do caminho da história recente da relação entre as engenharias, a tecnologia e arquitetura, remontando-se a algumas referências chave.

Segundo Hawkes e Forster (2002), o engenheiro, inspirado pela lei da economia e governado por cálculos matemáticos, gera um acordo com a lei universal, atingindo deste modo a harmonia. O arquiteto, por seu arranjo de formas, alcança uma ordem

que é pura criação de seu espírito; por formas afeta os sentidos das pessoas a um agudo grau e provoca emoções plásticas. Pelas relações que cria oferece uma medida e uma ordem, determina vários movimentos emocionais e racionais; fazendo experimentar assim o sentido da beleza.

Que estética está sendo criada diante desta complexa rede de questões de sustentabilidade que se quer responder com a arquitetura?

Nikolaus Pevsner (1995), em 'Pioneiros do desenho moderno', e Sigfried Giedion (2004), em 'Espaço, tempo e arquitetura', discutem que a emergência da nova arquitetura século XX teve suas origens na industrialização da produção de ferro, que ocorreu no século XVIII. Giedion escreveu: *'A revolução industrial e o aumento abrupto da produção pela introdução do sistema fabril e das máquinas, mudou a aparência inteira do mundo, mais ainda que a Revolução social na França.'*

Observando cuidadosamente, parece curioso que Pevsner e Giedion, grandes historiadores das origens do movimento moderno, basearam seus alertas para a tecnologia inteiramente no uso de novos materiais, estrutura e métodos construtivos, isto é, nos aspectos tectônicos da arquitetura. Isto pode, talvez, ser explicado pela maneira com que novos métodos substituíram progressivamente os tradicionais em edifícios do século XIX: às vezes eram visíveis, outras vezes escondidos em elementos decorativos. Porém o desenvolvimento de materiais e novos métodos estruturais foram concomitantes com invenções igualmente significativas no campo do que é hoje chamado de serviços mecânicos (engenharia mecânica).

A primeira tentativa de trazer a tecnologia do controle ambiental na historiografia da arquitetura moderna veio em 1969 com a publicação de Banham *"The Architecture of the Well-tempered Environment"*. Ele escreve:

"Em um mundo mais humano e mais consciente, de onde as principais responsabilidades humanas dos arquitetos se encontram, os capítulos que se seguem não necessitariam de nenhuma apologia, e provavelmente nunca seriam escritos" (...) "há muito tempo seria aparente que a arte e o negócio em criar edifícios não são divisíveis em duas porções intelectuais separadas - estruturas, de um lado, e de outro, os serviços mecânicos (...)".

Contudo, a história escrita da arquitetura não conheceu nenhuma razão que se possa explicar quanto a uma divisão sem sentido entre a estrutura, que pretende ser valiosa

e discutida, e os sistemas mecânicos, que foram excluídos quase que inteiramente da discussão histórica.

O livro de Banham fornece um pano de fundo indispensável para uma completa compreensão do diálogo entre a arquitetura e a engenharia ambiental (ou mecânica). Porém nos 30 anos consecutivos, novas pesquisas ofereceram avanços adicionais nos métodos para aquecimento, ventilação e iluminação artificial de edifícios. Mostrou também, como a relação entre a arquitetura e a engenharia evoluiu para criar uma base de colaboração na produção de edifícios cada vez mais complexos.

No campo da arquitetura e do edifício, um dos temas centrais durante este período foi a conversão da energia armazenada em combustíveis fósseis à energia consumida nos sistemas de controle ambiental. Este paradigma sobreviveu à chegada do Modernismo e foi dado ímpeto pela emergência da idéia de um 'estilo internacional', do qual Le Corbusier coloca em *"Precisions"*: *"as técnicas científicas internacionais nos permite propor apenas uma casa para todos os países"*. As tendências construtivas durante todo o século XX confirmaram o potencial desta idéia. Os edifícios altos de vidro e ar-condicionado transformaram-se em *'uma casa para todos os países'*, fornecendo interesses internacionais de negócio a um ambiente interno controlado e uniforme, onde quer que ele esteja.

Como foi visto no início da pesquisa, no último quarto do século XX, entretanto, a suposição de que o marco do progresso tecnológico deveria continuar indefinidamente foi seriamente questionada – primeiro por uma crescente consciência dos limites dos recursos de combustíveis fósseis, e depois, pela apreensão de que este consumo continuado teria um efeito irreversível e destrutivo no clima mundial. Emergiram uma nova perspectiva e métodos de controle ambiental nos edifícios, que focaram em maneiras de reduzir a demanda por fontes não renováveis de energia e capacidade mecânica e explorar meios em que estes pudessem ser substituídos por recursos naturais renováveis.

A estratégia ambiental aplicada na arquitetura, consciente ou inconsciente, antes da Revolução Industrial, pode ser descrita de acordo com um modelo que abraça todos os elementos do edifício. É representada como uma mediação entre o clima imprevisível e as circunstâncias mais estáveis necessárias para sustentar as funções da sociedade humana.

Em *'Design with Climate'*, um dos livros mais importantes do século XX sobre a relação entre o clima e a arquitetura, Victor Olgyay propôs um modelo que estende explicitamente o modelo descrito acima, distinguindo a arquitetura (sua organização estática e materialidade de um edifício) e o novo elemento, a tecnologia (sistemas mecânicos), em um processo de controle ambiental. Esta distinção descreve a base de quase todo o projeto ambiental contemporâneo na arquitetura e sugere a primazia da colaboração entre o arquiteto e o engenheiro.

Em *'The Architecture of the Well-tempered Environment'*, Reyner Banham identifica duas aproximações à incorporação dos sistemas no tecido de um edifício: a *'energia escondida'* e a *'exposta'*. Muitos avanços importantes ocorreram nas tecnologias de controle ambiental, particularmente nos mecanismos de refrigeração e condicionamento de ar, mas Banham sugere que a abordagem predominante à incorporação física dos sistemas nos edifícios do movimento moderno foi mais sua camuflagem que sua expressão.

A história recente da arquitetura viu o desenvolvimento de uma nova e mais sofisticada síntese e colaboração entre a condução de práticas arquitetônicas e de engenharia. Os numerosos incrementos da tecnologia dos edifícios expandiram o repertório tectônico e ambiental e, conseqüentemente, o escopo do desenho ambiental. A prática contemporânea exibe uma maior diversidade de abordagens do que sempre mostrou.

Como foi mostrado no esboço da história 'ambiental' da arquitetura desde o século XVIII, a base desta diversidade está na relação entre a função ambiental e a forma e materialidade do edifício e de seus sistemas mecânicos. Antes do desenvolvimento dos sistemas mecânicos, a forma e os materiais, através de sua configuração, forneciam o limite e a permeabilidade eficaz entre o clima externo e o ambiente interno.

Os sistemas desenvolvidos entre os séculos XIX e XX, adicionaram ao escopo ambiental padrões mais elevados e previsíveis em relação aos padrões de conforto. Com todos os aparatos dos serviços de manutenção mecânicos modernos – sistemas de aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação - e com a efetivação das fachadas seladas, tornou-se possível apresentar um ambiente artificial controlado, e por implicações 'perfeito', dentro de um edifício.

A enorme diversidade da prática atual do desenho ambiental é baseada em adaptações e interpretações alternativas desta história, alguns projetos continuam a trabalhar com uma combinação entre a forma e os materiais que operam em uma conjunção calculada junto aos sistemas mecânicos. Outros separam o clima externo e o interno com um envelope selado e aplicam os sistemas mecânicos como fornecedores principais do ambiente interno. Estes dois modelos de controle ambiental foram definidos respectivamente como: o seletivo e o exclusivo. Esta classificação distingue projetos que, no modo seletivo, acomodam e filtram o ambiente como estratégia preliminar e aqueles que, no modo exclusivo, configuram e constroem o envelope do edifício para 'excluir' o clima externo, a fim de minimizar as demandas.

Tal distinção caracteriza as opções ambientais predominantes, mas a riqueza e a complexidade da prática atual exigem uma mais refinada avaliação, que talvez não considere apenas questões quantitativas.

5.2 Quadro histórico

Neste capítulo está apresentado um quadro histórico na forma de uma linha do tempo, que preenche a visão do tema sustentabilidade através da indicação cronológica dos acontecimentos relevantes para a compreensão da evolução de seus conceitos, das tecnologias, da concepção de edifícios e da produção bibliográfica.

Restrições quanto ao limite de tempo da pesquisa, quanto à dificuldade de se encontrar dados e quanto a utilização de tecnologias do edifício, resultaram em um quadro que não permite o esgotamento do alcance do tema.

Ao contrário, o quadro foi formatado, e com isso deu-se início a uma busca permanente de informações, que representadas cronologicamente, darão subsídios aos arquitetos e estudantes a uma mais clara visão dos acontecimentos, e assim, uma melhor compreensão da evolução do conceito de sustentabilidade na arquitetura.

[Versão PDF: Quadro histórico se encontra ao final do documento.]

5.3 Perspectivas para pesquisas futuras

Foi analisada nesta pesquisa, a abordagem dos sistemas internacionais de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, assim como um sistema brasileiro ainda em desenvolvimento.

As inovações tecnológicas contemporâneas foram descritas, sempre com a idéia de indicar suas associações à realidade nacional. Como pôde ser observado, muitas das informações quanto a questão ambiental associada ao mercado da indústria da construção civil ainda estão em vias de pesquisa e desenvolvimento.

Atualmente não se possui um panorama concreto com subsídios claros em relação a essa questão. Ainda não se disponibiliza uma base acessível de dados perante a realidade nacional quanto à reciclabilidade e reciclagem dos materiais de construção. Dados como estes se apresentam mais formatados na indústria de embalagens, todavia não no mercado da construção, que como visto, possui uma participação indiscutível na produção do volume de resíduos nos maiores centros urbanos brasileiros.

Desta forma para a continuidade desta pesquisa, investigações que possam efetivamente aproximar a realidade brasileira dos impactos ambientais associados à indústria da construção civil, são indiscutivelmente necessárias para que os agentes que interferem no planejamento das cidades possam dar respostas apropriadas à realidade local.

A pesquisa em tecnologia da arquitetura e urbanismo deve buscar construir uma base de informações e soluções criativas focadas nos complexos problemas ambientais, sociais e econômicos brasileiros, sempre tendo em vista o rico acervo cultural deste país.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: 01/02/2006.

ABEMA. Associação Brasileira de entidades estaduais de meio-ambiente. Disponível em: <<http://www.abema.org.br/>>. Acesso em: 28/04/2004.

ABIVIDRO. Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/>>. Acesso em: 02/02/2006.

ABRE. Associação Brasileira de Embalagens. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/>>. Acesso em: 30/01/2006.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley. **Reciclagem de Resíduos a Construção.** Seminário Reciclagem de Resíduos Domiciliares, São Paulo, 2000.

ALLUCCI, Márcia; LONGO, Celso; INOUE, Marcos. **Banco de Dados de Vidros.** Endereço Eletrônico: <<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/index.html>>. Consultado em 02/02/2006.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 10/02/2006.

ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2002.

ÂNGULO, Sérgio; ZORDAN, Sérgio; JOHN, Vanderley. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil.** Evento: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. IBRACON, São Paulo - SP. 2001.

AUBURN UNIVERSITY POULTRY VENTILATION& HOUSING. Disponível em <<http://www.aces.edu/departament/poultryventilation/>> Acesso em: 27/08/2005.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Energy and Environment in Architecture. A Technical Design Guide.** London: Taylor & Francis Group, 2000. 224 p. il.

BARNETT, D. L.; BROWNING, W. D. **A Primer on Sustainable Building.** Rocky Mountain Institute, USA, 1995.

BARRETO, Douglas. **Economia de água em edifícios: uma questão do programa de necessidades.** Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Orientador Prof. Dr. Khaled Ghoubar. São Paulo, 1998.

BERGE, Bjorn. **The Ecology of Building Materials.** Architectural Press, England, 2001.

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. Disponível em:

<<http://www.iadb.org/index.cfm?language=portuguese>>. Acesso em 7/11/2005.

BIOMASSA INFORMATIE. Disponível em: <<http://www.biomassa.nu/>>. Acesso em 27/08/2005.

BNDES. Banco nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Disponível em:

<<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em 7/11/2005.

BODE, Klaus. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, BD+SP, 12 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

BREEAM. BREEAM BRE Environmental Assessment Method.

<<http://products.bre.co.uk/breeam/index.html>>. Consultado em 18/11/2004.

BUILDING IN SUSTENTABILITY. Disponível em:

<<http://www.buildinginsustainability.co.uk>> Acesso em 12/03/2005.

BUILDING TECHNOLOGIES PROGRAM: ENERGY PLUS. Disponível em:

<<http://www.energyplus.gov>>. Acesso em 27/08/2005.

CALIFÓRNIA ENERGY COMISSION. Disponível em:

<<http://www.consumerenergycenter.org>>. Acesso em 27/08/2005.

CARDOSO, F.F. **Certificação de “empreendimento Comercial de Elevado Desempenho Ambiental 2002”.** PCC USP / CSTB. São Paulo, 2003.

CASBEE NETWORK. Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency. Disponível em: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/CASBEE_E.htm>. Consultado em 30/11/2004.

CEMPRE. Compromisso Empresarial pela Reciclagem. Disponível em:

<<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 30/01/2006.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB.

Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 27/08/2005.

CMMAD. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **“Nosso Futuro Comum”.** 2ª.Ed. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1991.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. **A Green Vitruvius – Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável.** Ordem dos Arquitetos, Portugal, 2001.

DAVEY, Peter. **Wood and trees.** The Architectural Review. Novembro, 2003.

DURZAAM ZEELAND. Disponível em: <<http://www.duurzaamzeeland.nl/nieuws/algemeen/>>. Acesso em: 13/06/2005.

EDWARDS, Brian; PLESSIS, Christina Du. **Green Architecture**. Architectural Design. Vol. 71 No. 4, July 2001. John Wiley & Sons Limited, 2001.

ELIZABETH, Lynne; ADAMS, Cassandra. **Alternative Construction: Contemporary Natural Building Methods**. John Wiley & Sons, New York, 2000.

ENGINEERING TECHNOLOGIES CANADA LTD. Disponível em: < http://engtech.ca/archives/etc_tests_mini_wind_turbine_design>. Acesso em 15/04/2005.

ENVIRONMENTAL DESIGN SOLUTIONS LIMITED. TAS. Endereço eletrônico: <<http://www.edsl.net/>>. Consultado em 07/02/2006.

ESCOLA POLITÉCNICA DE SANEAMENTO DA UFRJ (2005). Disponível em: <<http://www.poli.ufrj.br/>>. Acesso em 15/04/2005.

EVANS, Julian Martin. **Laboratory simulation techniques in the design process to promote sustainability in architecture**. In: Passive and Low Energy Architecture, 2004, Eindhoven, The Netherlands. Proceedings of the PLEA 2004 Conference, 2004. pp. 921-926.

FALKENMARK, Malin. **Meeting water requirements of an expanding world population**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Volume 352, Number 1356 / July 29, 1997.

FORDHAM, Max. **Sustentabilidade na Arquitetura**. Londres, Max Fordham Partnership, 25 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

FRAIDENRAICH, Naum. **Tecnologia solar no Brasil: os próximos 20 anos**. Trabalho apresentado no evento Sustentabilidade na Geração e Uso da Energia no Brasil: os próximos vinte anos. UNICAMP, 2002.

GBC 2000. GBTool Overviw. Disponível em: < <http://greenbuilding.ca/gbc2k/gbtool/gbtool-main.htm>>. Consultado em 12/05/2004.

GELL-MANN, Murray. **O Quark e o Jaguar. As aventuras no simples e no complexo**. Rio de Janeiro, 1996.

GHOUBAR, K. **Politização do tema - custos de produção para o projeto arquitetônico**. Revista Sinopses, pág.79-83, São Paulo, maio de 1990.

GIEDION, Sigfried. **Espaço, tempo e arquitetura. O desenvolvimento de uma nova tradição**. Editora Martins Fontes, São Paulo, 2004.

GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Estudos Avançados. Mai/Ago. 1998, vol.12, nº.33.

GOLDEMBERG, José. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 2ed., São Paulo, Edusp 2003.

GREEN ARCHITECTURE. Architectural Design. Vol. 71 No. 4, July 2001. John Wiley & Sons Limited, 2001.

GREENPEACE. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org.br/>>. Acesso em 01/02/2006.

GROUND LOOP. Disponível em: <<http://www.groundloop.com/>> Acesso em: 07/04/2005.

GUEDES, Andrea. **Piscinas solares são alternativa para crise energética. Diferença de concentração de sal na água pode gerar energia térmica limpa.** Artigo do dia 27/08/01. Instituto Ciência Hoje, 2001.

GUERRINI, Iria Muller. **Fontes Alternativas de Energia.** CDCC, USP São Carlos. Disponível em: <<http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/>>. Acesso em 19/10/2005.

HAGAN, Suzannah. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, University of East London, 15 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

HALL, M.J. **Urban Hydrology.** Spon E & F N, United Kingdon, 1984.

HARBOUR, Ivan. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, Richard Rogers Partnership, 29 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

HARDI, Peter; BARG, Stephan. **Measuring Sustainable Development: Review of Current Practice. International Institute for Sustainable Development, Industry Canada.** Occasional Paper Number 17 November 1997.

HAWKES, Dean; FORSTER, Wayne. **Energy Efficient Buildings Architecture, Engineering and Environment.** W.W. Norton & Company, NY, USA, 2002.

HAWTHORNE, Christopher. **Architects Pollute.** Revista Metropolis, EUA, outubro. 2003.

HQE NETWORK. Haute Qualité Environnementale Paysage & Environnement Architecte Paysagiste et Ingénierie paysagère et environnementale. URL: <<http://www.paysage.be/HQE/PageHQE/opus%20hqe%20base.htm>>. Consultado em 12/11/2004.

IMAGE BANK. Disponível em: <http://creative.gettyimages.com/>. Acesso em 18/01/2005.

INOCENTNI-MEI, Lucia; CORRÊA, Pilar Mariani. **Visão Geral sobre Polímeros e Plásticos Ambientalmente Degradáveis PADs.** UNICAMP, São Paulo, 2005.

INSTITUTO DO PVC Disponível em: <<http://www.institutodopvc.org/>>. Acesso em 20/01/2006.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇA DO CLIMA. **MUDANÇA DO CLIMA 1995: A CIÊNCIA DA MUDANÇA DO CLIMA.** Tradução do IPCC GTI, 1995: Climate Change 1995 – the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. J.T. HOUGHTON, L.G.

MEIRA FILHO, B.A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG E K. MASKELL (EDS.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.

JORDÃO, Eduardo; ÁVILA, Renata; VOLSCHAN, Isaac; AZEVEDO, José Paulo. **Desempenho de filtros anaeróbios segundo diferentes meios de suporte e alturas de percolação**. 23º. Congresso de Engenharia Sanitária, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

LAWSON, BILL. **Building Materials, Energy and the Environment. Towards Ecologically Sustainable Development**. The Royal Australian Institute of Architects, Australia, 1996.

LISBOA, HENRIQUE. **Entrevista ao Caderno Digital de Informação sobre Energia, Ambiente e Desenvolvimento**. Agosto de 2001.

LIPPIAT, Barbara. **BEES 2.0 – Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual User Guide**. National Institute of Standard and Technology (NIST), U.S.Green Building Council (USGBC), U.S. Department of Energy (DOE), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Public Technology, Inc. 2000.

LOMBORG, BJORN. **O Ambientalista Cético**. 3ª.Ed., Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2002.

LOVELOCK, James. **Nuclear power is the only green solution**. Artigo publicado no jornal *The Independent*, Reino Unido, 24 de maio de-2004.

LUZ, Bruna. **Estudos da Iluminação Natural de Edifícios através de Modelos Físicos em Escala Reduzida**. Relatório de Iniciação Científica FAPESP nº 3, processo nº 03/05494-0, São Paulo, SP.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **The Cradle to Cradle Alternative**. State of The World 2004 - Special Focus: The Consumer Society. The WorldWatch Institute, USA, 2004.

MAFFEI, W.R.A. **Metodologia para gerenciamento de planos e projetos de arquitetura visando a otimização dos resultados**. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

MARLBOROUGH PRIMARY SCHOOL. **Cat & Kathleen's Design**. Disponível em: <http://www.marlbroughps.vic.edu.au/science2002/Cat&Kathleen.htm>. Acesso em 05/11/2004.

MARSH, Andrew. **ECOTECH and EnergyPlus**. SQUARE ONE Research. From the Building Energy Simulation User News, Vol 24, No. 6 (November/December 2003).

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Teacher's Workshop - Prepared by the Department of Materials Science and Engineering - University of Illinois Urbana-Champaign**. Disponível em: <http://matse1.mse.uiuc.edu/~tw/energy/prin.html> Acesso em: 11/03/2005.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Endereço eletrônico: www.mct.gov.br. Consultado em 10/02/2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: < <http://www.eletrobras.gov.br> >. Acesso em 10/06/2004.

MOURA, Raul. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, WSP, 16 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

MULFARTH, ROBERTA C. KRONKA. **Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental. Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP.** Orientador Prof. Dr. Ualfrido Del Carlo. São Paulo, Novembro de 2002.

NABERS NETWORK. National Australian Built Environment Rating System Project. Disponível em: <<http://www.deh.gov.au/industry/construction/nabers/>>. Acesso em: 12/11/2004.

Natural Resources Canada. Disponível em: <<http://www.canren.gc.ca>>. Acesso em: 27/08/2005.

NEW RULES PROJECT. **The Designing Rules as if Community Matters.** Disponível em: <<http://www.newrules.org>>. Acesso em 10/06/2004.

NICHOLSON, Rob. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, Edward Cullinan Architects, 28 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

NICOLAOU, Lora. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, DEGW, 13 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) - Department of Economic and Social Affairs Division for Sustainable Development (Comissão para o Desenvolvimento Sustentável do Departamento de questões Econômicas e Sociais). **Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies.** Ninth Session, New York, 16 – 27 April 2001.

PEVSNER, Nikolaus. **Os pioneiros do desenho moderno. De William Morris a Walter Gropius.** Editora Martins Fontes, São Paulo, trad. 1995.

PHILIPPI JR, Arlindo (Editor). **Saneamento, Saúde e Ambiente. Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável.** Editora Manole, Barueri, São Paulo, 2005.

PLASTIVIDA - Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/>. Acesso em 04/08/2005.

POND DOCTOR. Disponível em: <<http://www.ponddoctor.com>> Acesso em 22/08/2005.

PRATA, Alessandra Rodrigues. **Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.** Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

REIS, Lineu Belico. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. 3. ed., Barueri, SP : Manole, 2003

RENOVAR EXAUSTORES EÓLICOS & VENTILAÇÃO NATURAL. Disponível em:

<<http://www.renovarventilacao.com.br>> Acesso em 22/08/2005.

Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002.

RIBEIRO, F. M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil-Usina de Itaipu: primeira aproximação**. Dissertação de Mestrado - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (PIPGE/ USP), 2003.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta. Editado por Philip Gumuchdjian**. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2001.

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

SILVA, Sandra R. Mota. **Indicadores de sustentabilidade urbana: Perspectivas e as limitações de operacionalização de um referencial sustentável**. Dissertação de mestrado apresentado ao programa de pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, 2000.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

SILVA; SILVA; AGOPYAN. **Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: Estágio atual e perspectivas para desenvolvimento no Brasil**. Artigo publicado em revista, 2004.

SMITH, F. Peter. **Sustainability at the Cutting Edge. Emerging technologies for low energy buildings**. Architectural Press, Oxford, Great Britain, 2003.

SOCIEDADE DO SOL. Organização Não Governamental. Disponível em:

<<http://www.sociedadedosol.org.br>>. Acesso em: 27/08/2005.

SOUZA, Marisa Bueno. **Pesquisa, projeto e construção de ferramentas de ensaio para modelos físicos em conforto ambiental – Heliodon**. Relatório de Iniciação Científica PIBIC, São Paulo, SP, 2004.

SPeAR®. The Sustainable Project Appraisal Routine. Disponível em:

<<http://www.arup.com/sustainability/services/SPeAR.cfm>>. Consultado em 12/11/2004.

SQUARE ONE. ECOTECT. Disponível em: <<http://www.squ1.com/>>. Consultado em 04/10/2004.

STEEMERS, Koen. **Sustentabilidade na Arquitetura**. Cambridge, Martin Centre, 18 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

TANNO, Luiz Carlos ; MOTTA, José Fransisco. **Panorama Setorial – Minerais Industriais. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.** Caderno Cerâmica Industrial (5) 3, Maio/Junho, São Paulo, 2000.

TOLEDO, Alexandre Márcio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **O potencial da mesa d´água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios.** Anais do Congresso ENCAC/ COTEDI, Curitiba, 2003.

THOMAZ, Plínio. **Economia de água para empresas e residências. Um estado atualizado sobre medidas convencionais e não convencionais do uso racional da água.** Navegar Editora, São Paulo, 2002.

THOMAZ, Plínio. **Conservação de Água.** Guarulhos, 1999.

TZONIS, Alexander. **Santiago Calatrava: the poetics of movement.** Thames and Hudson, London, 1999.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. ENERGYPLUS. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energy_plus/>. Consultado em 27/08/2005.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **Sustainable building technical manual: Green building design, construction and operations.** USA, 1996.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED – Leadership in Energy & Environmental Design.** Green Building Rating System Version 2.1.USA, 2002.

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento Sustentável: O desafio do século XXI.** Editora Garamond, Rio de Janeiro, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípio de tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2a. ed., 1996.

WAVE DRAGON. Disponível em: <<http://www.wavedragon.net/>>. Acesso em 22/08/2005.

WHOLE BUILDING DESIGN GUIDE. Disponível em: <<http://www.wbdg.org>>. Acesso em: 05/04/2004.

WORLD WATCH INSTITUTE. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org>>. Acesso: 01/12/2005.

WORLD WATER COUNCIL. WORLD WATER VISION. Disponível em: <<http://www.worldwatercouncil.org/>>. Acesso em: 01/12/2005.

YANNAS, Simos. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, Architectural Association, 11 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

ZIHRI, Mohsen. **Sustentabilidade na Arquitetura.** Londres, ARUP, 26 de setembro de 2006. Entrevista a Andrea Bazarian Vosgueritchian.

7 BIBLIOGRAFIA

A GREEN VITRUVIUS. **Principles and Practices of Sustainable Architectural Design**. London: James and James, 1999.

ABOULNAGA, Mohsen M.; ELSHESHTAWY, Yasser H. **Environmental sustainability assessment of buildings in hot climates: the case of the UAE**. Renewable Energy 24 (2001) 553–563.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Consultado em 27/08/2005.

ÁGUA E CIDADE. Disponível em: <<http://www.aguaecidade.org.br/>>. Consultado em 06/03/2006.

ALUCCI, Márcia Peinado. **Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia: Procedimentos para Projeto Arquitetônico**. Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ASHRAE Standard 90.2 Energy-Efficient Design of New Low-Rise Residential Buildings and Energy Credit for Renewable Energy and Energy Efficient Technologies.

ASIF, M.; MUNEEB, T.; KELLEY, R. **Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland**. Building and Environment.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS-ABAS. Disponível em: <www.abas.org>. Consultado em 10/02/2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Gestão da qualidade – diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos. Rio de Janeiro, dez. 2000. 18pg.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS-ABRH. Disponível em: <www.abrh.org.br>. Consultado em 10/02/2006.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO ESTADUAIS-AESBE. Disponível em: <www.aesbe.org.br>. Consultado em 10/02/2006.

BAÍIA, J.L. **Sistemas de gestão da qualidade em empresas de projeto: aplicação às empresas de arquitetura**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 1998.

BATTLE, Guy; MCCARTHY, Christopher. **Sustainable Ecosystems and the built environment**. London: Wiley-Academy, 2001.

BEATLEY, Timothy. **Green Urbanism: Learning from European Cities**. Island Press, 1999.

BEATON, D.J.; TAYLOR, G.E.; FAIRBAIRN, D.J. ;TIPPLE, A. G. **Large scale spatial information systems in the built environment: an example applied to housing in the third world**. Comput., Environment and Urban Systems, Vol. 19, No. 516, pp. 419-428, 1996.

BECKER, R. **Implementation of the performance approach in the investigation of innovative building systems**. Building and Environment 37 (2002) 923 – 931.

BEHLING, Sophia e Stefan. **Sol Power. The evolution of Solar Architecture**. Prestal, Verlag, Alemanha, 1996.

BERGEA, Ola; KARLSSON, Reine; STROM, Anna Hedlund-A; JACOBSSON, Per, LUTTROPP, Conrad. **Education for sustainability as a transformative learning process: a pedagogical experiment in EcoDesign doctoral education**. Journal of Cleaner Production (2006) 1e12.

BONNANI, M.C. **Minimização de resíduos na construção civil**. Tese, USP, 2002.

BRE. **EcoHomes**. Disponível em: <<http://www.bre.co.uk/service.jsp?id=397>>. Consultado em 18/11/2004.

BREEAM. **BREEAM BRE Environmental Assessment Method**. Disponível em: <<http://products.bre.co.uk/breeam/index.html>>. Consultado em 18/11/2004.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento & Luz. Estratégias para o projeto de arquitetura**. Editora Bookman 2.ed. Porto Alegre, 2004.

CARDOSO, F.F. **Certificação de “empreendimento Comercial de Elevado Desempenho Ambiental 2002”**. PCC USP / CSTB. São Paulo, 2003.

CARLO, Ualfrido; KRONKA, Roberta C. **Arquitetura e desenvolvimento verde – Considerações sobre as questões de sustentabilidade**. Revista Sinopses Especial, pág.13-23, São Paulo, out. 2001.

CARLO, Ualfrido . **Sustainable Building at University of São Paulo**. In: PLEA - Passive and Low Energy Architecture, 2002, Florianópolis. PLEA - Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis : UFSC, 2001. v. 1.

CASALS, Xavier García. **Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences**. Energy and Buildings 38 (2006) 381–392.

CHARLES L. Choguill. **Ten Steps to Sustainable Infrastructure**. HABITAT INTL. Vol. 20, No. 3, pp. 389--404, 1996 Copyright © 1996 Elsevier Science Ltd.

CHOGUILL, Marisa B. Guaraldo. **Building Materials for Low-income Housing. Evidence of Need for Popular Initiatives in Brazil**. HABITAT INTL. Vol. 19, No. 4, 583-597, pp. 1995.Elsevier Science Ltd.

CLARK, M. **Domestic futures and sustainable residential development**. Futures 33 (2001) 817–836.

CORBETT, M. **Designing Sustainable Communities**. Learning from Village Homes. Island Press, 2000.

CRABTREE, Louise. **Sustainability begins at home? An ecological exploration of sub/urban Australian community-focused housing initiatives**. Geoforum, (2005).

CRISP NETWORK. An European Thematic Network on Construction and City Related Sustainability Indicators. Disponível em: <<http://crisp.cstb.fr>>. Consultado em 12/11/2004.

CRUZ, Andrea et al. **Avaliação de sustentabilidade energética e ambiental em edificações**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 18-21 julho 2004, São Paulo.

DANIELS, Klaus; SCHWAIGER, Elizabeth. **The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures, Examples and Ideas**. Birkhauser, 1997.

DIAS, Rubens A.; MATTOS, Cristiano R.; BALESTIERI, Jose A. P. **The limits of human development and the use of energy and natural resources**. Energy Policy 34 (2006) 1026–1031.

DINSMORE, P.C. **Princípios de Planejamento e Controle de Empreendimentos: Uma Visão Gerencial**. Revista Engenharia, no. 467, pg.33, 1988.

Division for Sustainable Development. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies. **Comissão para o Desenvolvimento Sustentável do Departamento de questões Econômicas e Sociais (Department of Economic and Social Affairs) da Organização das Nações Unidas (ONU)**. Ninth Session, 16 – 27 April 2001, New York

DOUGHTY, Mark R.C.; HAMMOND, Geoffrey P. **Sustainability and the built environment at and beyond the cityscale**. Building and Environment 39 (2004) 1223 – 1233.

DUARTE, Denise Helena Silva. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

EDWARDS, B. **Guia básica de la sostenibilidad**. Editora Gustavo Gili, Espanha, Barcelona, 2004.

EIKELBOOM, R.T.; RUWIEL, E. GOUMANS, J.J.J.M. **The building materials decree: an example of a Dutch regulation based on the potential impact of materials on the environment**. Waste Management 21 (2001) 295±302.

FABRICIO, M.M. **O papel do projeto para a produção na construção de edifícios**. Nutau 98, pág.76, São Paulo, 1998.

FABRICIO, M.M. **Projeto Simultâneo e qualidade na construção de edifícios**. Nutau 98, pág.73, São Paulo, 1998.

FATHY, Hassan. **Natural Energy and Vernacular Architecture**. University of Chicago, Chicago, 1986.

FERREIRA, A.J.D.; LOPES, M.A.R.; MORAIS, J.P.F. **Environmental management and audit schemes implementation as an educational tool for sustainability**. Journal of Cleaner Production xx (2006) 1e10.

FIELD, Marcus. **Future Systems**. London: Phaidon Press, 1999.

FOLIENSTE, Greg; SEO, Seongwon; TUCKER, Selwyn. **Guide to Environmental Design and Assessment Tools**. CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology, Australia.

FORSBERG, Anna; MALMBORG, Fredrik Von. **Tools for environmental assessment of the built environment**. Building and Environment 39 (2004) 223 – 228.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Desenho Ambiental: Uma introdução à Arquitetura da Paisagem com o Paradigma Ecológico**. 1. ed. Annablume editora Comunicação, São Paulo, 1997.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. Annablume Editora, FURB, FAPESP, São Paulo, 2001.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1988.

FSC Brasil. Conselho de Manejo Florestal. Disponível em: <<http://www.fsc.org.br/>>. Consultado em 20/01/2006.

FUJITA RESEARCH. Disponível em: <<http://www.fujitaresearch.com/reports/tidalpower.html>>. Consultado em 18/10/2005.

GIVONI, B. **Man, climate and Architecture**. London: Ed. Applied Science Pub., 1976.

GONÇALVES, Joana Carla Soares. **A Sustentabilidade do Edifício Alto. Uma nova geração de edifícios altos e sua inserção urbana**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GORDON, Jeffrey. **Solar Energy. The State of the Art**. ISES Position Papers. James & James (Science Publishers), London, UK, 2001.

GRILO, L.M. **Desafios e oportunidades para os escritórios de projeto frente às tendências para a gestão do processo de projeto e do empreendimento**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Epusp, São Paulo, 2003.

- GUIMARÃES, Gonçalo Dias. **Análise Energética na Construção de Habitações**. Rio de Janeiro, 1985. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- GUSTAVSSON, Leif; SATHRE, Roger. **Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials**. Building and Environment 41 (2006) 940–951.
- HAGAN, SUSANNAH. **Taking Shape – A new contract between architecture and nature**. Oxford: Architectural Press, 2001.
- HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L.H. **Capitalismo Natural**. Cultrix, São Paulo, 1999.
- HAWKEN, Paul; LOVINS, Amory; LOVINS, Hunter. **Capitalismo Natural. Criando a próxima revolução industrial**. Cultrix, 2000.
- HAWKES, DEAN. Towards the sustainable city. Renewable Energy, Vol, 6, No. 3, pp. 345-352, 1995. Elsevier Science Ltd.
- HAWKES, DEAN; FORSTER, WAYNE. **Energy Efficient Buildings. Architecture, Engineering and Environment**. W.W. Norton & Company, NY, USA, 2002.
- HERZOG, T. et al. (ed.). **Solar Energy in Architecture and Urban Planning**. Prestel, 1996.
- HEWITT, MARK, HAGAN, SUSANNAH. **City Fights: debates on urban sustainability**. London: James and James, 2001.
- HOGGART, KEITH; HENDERSON, STEVEN. **Excluding exceptions: Housing non-affordability and the oppression of environmental sustainability?** Journal of Rural Studies 21 (2005) 181–196.
- HOUGH, MICHAEL. **Naturaleza y ciudad**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- IEA Energy Statistics**. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistic/index/htm>>. Consultado em 25/04/2005.
- IEA. International Energy Agency**. Disponível em: <<http://www.iea.org>>. Consultado em 27/08/2005.
- INEE**. Instituto Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Consultado em 27/08/2005.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY**. IEA Energy Statistics. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistic/index/htm>>. Consultado em 19/11/2004.
- JESWIET, J.; HAUSCHILD, M. **EcoDesign and future environmental impacts**. Materials and Design 26 (2005) 629–634.
- JIA, XIAOPING; ZHANG, TIANZHU, WANG, FANG; HAN, FANGYU. **Multi-objective modeling and optimization for cleaner production processes**. Journal of Cleaner Production 14 (2006) 146e151.

JOAN; FEIJOO, GUMERSINDO. **Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture**. Science of the Total Environment 357 (2006) 1 –11.

JOHANSSON, GLENN; MAGNUSSON, THOMAS. **Organizing for environmental considerations in complex product development projects: implications from introducing a “Green” sub-project**. Journal of Cleaner Production xx (2005) 1e9.

JOHN, Godfaurd; CLEMENTS-CROOME, Derek; JERONIMIDIS, George. **Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world**. Building and Environment 40 (2005) 319–328.

KAMP, Linda. **Engineering education in sustainable development at Delft University of Technology**. Journal of Cleaner Production (2006) 1 e 4.

KNAUS, Michael; LO`HR, Dirk; O`REGAN, Bernadette. **Valuation of ecological impacts — a regional approach using the ecological footprint concept**. Environmental Impact Assessment Review 26 (2006) 156– 169.

KOENIGSBERGER, O.H. et al. **Vivendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo S.A., 1977.

KRISHAN, ARVIND; JAIN, KUNAL; TEWARI, PASHIM. **Process of design for sustainable architecture and contemporary solutions**. Renewable Energy 15 (1998) 407-412.

KUA, H.W.; LEE, S.E. **Demonstration intelligent building—a methodology for the promotion of total sustainability in the built environment**. Building and Environment 37 (2002) 231–240.

LAMBERTON, GEOFF. **Sustainability accounting—a brief history and conceptual framework**. Accounting Forum 29 (2005) 7–26.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação da habitação de interesse social**. Relatório parcial do projeto de Normalização em Conforto Ambiental. Florianópolis, 1998.

LAMBERTS, ROBERTO; DUTRA, LUCIANO; PEREIRA; FERNANDO OSCAR RUTTKAY. **Eficiência energética na arquitetura**. Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL). PW, São Paulo, 1997.

LEAL DA PAZ, LUCIANA ROCHA; SILVA, NEILTON FIDELIS DA; PINGUELLI ROSA, LUIZ. **The paradigm of sustainability in the Brazilian energy sector**. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

LENGEN, JOHAN VAN. **Manual do arquiteto descalço**. Rio de Janeiro: Tibá, 1997.

LIPPIAT, BARBARA C.; NORRIES, GREGORY. **Selecting Environmentally and Economically Balanced Building Materials**. National Institute of Standard and Technology (NIST),

U.S.Green Building Council (USGBC), U.S. Department of Energy (DOE), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Public Technology, Inc. 1997.

LOFTHOUSE, VICKY. **Ecodesign tools for designers: defining the requirements**. Journal of Cleaner Production xx (2006) 1e10.

LOS, S. **Integration between art and science in architectural design**. Renewable Energy 15 (1998) 171 -176.

LOSSO, M.A. **O projeto do edifício pensado para a sustentabilidade: Trancendendo os métodos usuais de projeção**. III Enecs, São Carlos, USP, 2003.

LOZANO, RODRIGO. **A tool for a Graphical Assessment of Sustainability in Universities (GASU)**. Journal of Cleaner Production xx (2006) 1e10.

LUTTROP, CONRAD; LAGERSTEDT, JESSICA. **EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development**. Journal of Cleaner Production xx (2006) 1e13.

MAAL-BARED, RASHA. **Comparing environmental issues in Cuba before and after the Special Period: Balancing sustainable development and survival**. Environment International 32 (2006) 349 – 358.

MACRIS, Aristomenis M.; GEORGAKELLOS, Dimitrios A. **A new teaching tool in education for sustainable development: ontology-based knowledge networks for environmental training**. Journal of Cleaner Production xx (2006) 1e13.

MASCARÓ, L. R. de. **Luz, Clima e Arquitetura**. São Paulo: Editora USP, 1978.

MAYER, ADREY L.; KAUPPI, PEKKA E.; TIKKA, PAIVI M., ANGELSTAM, PER K. **Conservation implications of exporting domestic wood harvest to neighboring countries**. Environmental Science & Policy (2006).

MAZRIA, E. **The Passive Solar Energy Book**. Rodale Press, USA, 1979.

MC HARG, IAN L. **Design with nature**. New York: American Museum of Natural History, 1969.

MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J. **Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future**. Chelsea Green Publishing Company, USA, 1993.

MELCHERT, Luciana. **The Dutch sustainable building policy: A model for developing countries?** Building and Environment.

MELHADO, S. ; SOUZA, A. R.; FONTENELLE, E.; AQUINO, J.; GRILO, L; FRANCO, L. S.; MESQUITA, M.. J.; PEÑA, M. D.; FABRICIO, M.; OLIVEIRA, O. J. **Coordenação de projetos de edifícios**. São Paulo, 2004.

MELHADO, S.B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios.** Tese de livre Docência USP, São Paulo, 2001.

MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: Aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** Tese de Doutorado USP, São Paulo, 1994.

MELHADO, S.B. **Qualidade na construção civil e o projeto de edifícios.** Epusp, Pcc/02, São Paulo, 1992

MENDLER, S.; ODELL, W. **The HOK Guidebook to Sustainable Design. Committed to Sustainable Humanistic Design and Stewardship of the Environment.** New York: John Wiley & Sons, 2000.

MILA, A. **O Edifício – Relação entre Projeto e Construção.** Tese, USP 1972.

MINGRONE, A. C. **Ações de projeto e gerenciamento do empreendimento.** Projeto, n.142, p.44-45, São Paulo, jun. 1991.

Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Consultado em 27/08/2005.

Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Consultado em 10/02/2006.

MOBJORK, MALIN; LINNÉR, BJORN-OLA. **Sustainable funding? How funding agencies frame science for sustainable development.** Environmental science & policy 9(2006) 67–77.

MOLLINSON, BILL. **Introdução a Permacultura.** Tradução André Luis Jaeger Soares - Fundação Daniel Efraim Dazcal, Brasília, 1998.

NOVAES, C. C. **Diretrizes para a garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais.** Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1996.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima – Manual de desenho bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili SA, 1998.

OLGYAY, VICTOR; HERDT, JULIE. **The application of ecosystems services criteria for green building assessment.** Solar Energy 77 (2004) 389–398.

ONG, BOON LAY. **Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning.** Landscape and Urban Planning 63 (2003) 197–211.

PELIZZOLI, M.L. **Correntes da Ética Ambiental.** Vozes, Rio de Janeiro, 2002.

PLEA 99 (Passive and Low Energy Architecture). Sustaining the Future Energy Ecology Architecture. Plea International, Brisbane, Australia, 1999.

RADOVIC, DARKO. **Bioclimatic design as the core of Environment Programmes**. Energy and Buildings 23 (1996) 271-275.

REAL GOODS. **Solar Living Sourcebook – The Complete Guide to Renewable Energy Technologies & Sustainable Living**. Chelsea Green Publishing Company, USA, 2001.

REDEFINING PROGRESS. Endereço eletrônico: <http://www.ecologicalfootprint.org/>. Consultado em 9/10/2006.

REVELLE, Penelope; REVELLE, Charles. **The Global Environment: Securing a Sustainable Future**. Boston, Jones & Bartlett, 1992.

ROAF, Susan. **Ecohouse. A Design Guide**. New Delhi: Architectural Press, 2001.

ROBINSON, John. **Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development**. Ecological Economics 48 (2004) 369-384.

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. **Green Development – Integrating Ecology and Real Estate**. John Wiley & Sons, Inc., USA, 1998.

RODRIGUES, Délcio; MATAJS, Roberto. **Um banho de sol para o Brasil: o que os aquecedores solares podem fazer pelo meio-ambiente e sociedade**. São Lourenço da Serra: Vitae Civillis, 2004.

ROGERS, Richard; POWER, Anne. **Cities for a Small Country**. London: Faber and Faber, 2000.

ROMANO, F. V. **Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações**. Tese de Doutorado – Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Área de Concentração em Gestão do Design e do Produto. Florianópolis, 2003.

SABBATINI, F.H. **Os arquitetos devem assumir a coordenação de projetos**. Entrevista concedida à revista Finestra Brasil, São Paulo, v.3, n.12, p.29-31, mar.1998.

SABESP. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/pura>>. Consultado em 28/04/2004.

SCHAEFFER, JOHN. **The Real Goods Solar Living Sourcebook: The Complete Guide to Renewable Energy Technologies and Sustainable Living (Real Goods Solar Living Sourcebook)**. Real Goods, 1999.

SCHMIT, C.; ROUNSEVELL, M.D.A.; JEUNESSE, I.LA. **The limitations of spatial land use data in environmental analysis**. Environmental science & policy 9(2006) 174 – 188.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS - SRH/MMA. Disponível em:

<www.mma.gov.br/port/srh/capa/index.html>. Consultado em 10/02/2006.

SERRA, Geraldo Gomes. **ESPAÇO NATURAL E A FORMA URBANA.** Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

SINDUSCON. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/>>. Consultado em 17/09/2004.

SPIEGEL, ROSS; MEADOWS, DRU. **Green Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification.** John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.

SPIRN, ANNE WHISTON. **O jardim de granito.** São Paulo: EDUSP, 1995.

STITT, FRED (ED.). **Ecological Design Handbook.** McGraw-Hill, 1999.

Sustainable Architecture and Building Design. Disponível em:

<<http://www.arch.hku.hk/>>. Consultado em 29/11/2005.

SVENSSON, N.; ROTH; L.; EKLUND, M., MARTENSSON, A. **Environmental relevance and use of energy indicators in environmental management and research.** Journal of Cleaner Production 14 (2006) 134e145.

SZABO, Ladislao Pedro. **Em busca de uma luz paulistana: a concepção de luz natural no projeto de arquitetos da cidade de São Paulo.** Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental science handbook for architects and builders.** London: Longman, 1980.

THE ARCHITECTURAL REVIEW. **Building with the elements. Flower Tower.** Setembro de 2004.

_____. **Crystals in the land.** Fevereiro de 2005.

_____. **Decency and forethought. Wake up call. Wind sock. Wood and trees.** Novembro de 2003.

_____. **Emerging Architecture.** Dezembro de 2004.

_____. **Material Assets.** Agosto de 2004.

_____. **Light and Dark. Luminous paradigm.** Abril de 2004.

THE CLIMATIC DWELLING. An introduction to climatic-responsive residential architecture. James & James, London, UK, 1996.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.** Tese – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 2001.

- TIPPLE, A. GRAHAM. **Housing Extensions as Sustainable Development**. HABITAT INTL. Vol. 20, No. 3, pp. 367-376, 1996 Copyright © 1996 Elsevier Science Ltd.
- TOLMASQUIM, MAURICIO TIOMMO. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004.
- TOLMASQUIM, MAURICIO TIOMMO. **Fontes Renováveis de Energia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência: CENERGIA, 2003.
- US GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED – Leadership in Energy & Environmental Design**. Green Building Rating System Version 2.1.USA, 2002.
- VALE, BRENDA, VALE, ROBERT. **The new autonomous house**. Thames & Hudson, 2000.
- VIANNA, N. S. **O Estado da Arte em Ensino e Pesquisa na Área de Conforto Ambiental no Brasil**. São Paulo: FAU USP, 2001.
- VILELA, MARCIO MAIA. **Estudo de Método Experimental para determinar a potencialidade do uso da energia geotérmica a baixa profundidade**. Trabalho apresentado ao programa interunidades de pós-graduação em energia da Universidade de São Paulo. Orientador Dr. Ualfrido Del Carlo, São Paulo, 2004.
- WINTHER, B. N.; HESTNES, A. G. **Solar versus green: the analysis of a Norwegian row house**. Solar Energy Vol. 66, No. 6, pp. 387–393, 1999 Elsevier Science Ltd.
- Workshop **A questão da água nas grandes cidades brasileiras**, São Paulo, SP, 9-10 dezembro de 2003. Editado por Mario Thadeu Leme de Barros, São Paulo, 2004.
- WWF INTERNATIONAL**. Living planet report 2002. Gland, Switzerland. Disponível em: <www.panda.org>. Consultado em 22/04/2004.
- YEANG, KEN. **Designing with nature. The ecological basis for architectural design**. McGraw-Hill, 1995.
- YEANG, KEN. **Rethinking the Environmental filter**. Landmark Books, Singapore, 1989.
- YEANG, KEN. **The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings**. Prestel, 2000.
- YOUNG, REBEKAH. **Sustainability: from rhetoric to reality through markets**. Journal of Cleaner Production xx (2006) 1e5.
- ZHU, YIMIN. **Applying computer-based simulation to energy auditing: A case study**. Energy and Buildings 38 (2006) 421–428.
- ZHU, YINGXIN; LIN, BORONG. **Sustainable housing and urban construction in China**. Energy and Buildings 36 (2004) 1287–1297.