

CRISTIANO ARNS KATO

ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE:  
PROJETAR COM CIÊNCIA DA ENERGIA

Dissertação apresentada à Universidade  
Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre em  
Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Augusta Justi Pisani

São Paulo  
2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

K19a Kato, Cristiano Arns  
Arquitetura e sustentabilidade : projetar com ciência da  
energia / Cristiano Arns Kato. São Paulo – 2007.  
106 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) -  
Pós-Graduação da Universidade Presbiteriana Mackenzie,  
São Paulo, 2007.

Referências bibliográficas : f. 90-94.

1. Arquitetura. 2. Sustentabilidade. 3. Energia.  
I. Título.

CDD 711.1

CRISTIANO ARNS KATO

ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE:  
PROJETAR COM CIÊNCIA DA ENERGIA

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Augusta Justi Pisani - Orientadora  
Universidade Presbiteriana Mackenzie

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Corrêa  
Universidade Presbiteriana Mackenzie

---

Prof. Dr. Douglas Barreto  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

À minha esposa Luca  
por meu filho  
a geração do futuro...

## AGRADECIMENTOS

Em especial à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Augusta Justi Pisani, pela dedicação e incentivo em orientar-me nessa jornada.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Corrêa e ao Prof. Dr. Douglas Barreto pelas colocações e sugestões apresentadas no momento do exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. Ladislao Szabo pela presença e alegria, apesar das dificuldades, demonstrando interesse e apoio constante à realização desse trabalho.

*The history of man is much more a history of the development of his uses of energy than it is the story of the vagaries of kings and conquerors.*  
(ISAAC ASIMOV)

## RESUMO

Este trabalho visa um aprofundamento na temática da sustentabilidade e sua relação com o projeto de arquitetura, especificamente quanto à questão energética em edificações urbanas. Inicialmente será discutido o conceito de desenvolvimento sustentável, buscando conclusões a respeito da organização das cidades, ampliando a discussão para a arquitetura, inserida no contexto da cidade, que tem no edifício seu produto mais característico. Como metodologia para avaliar o impacto do edifício em seu ambiente, utiliza-se a análise do ciclo de vida da edificação, chegando-se às diretrizes que vão compor um edifício ambientalmente adequado e supostamente sustentável. Estas diretrizes definirão as bases de um projeto eficiente, respondendo às expectativas quanto à possibilidade de redução do consumo energético da edificação.



## ABSTRACT

The purpose of this study is the relationship between sustainability and the project of architecture, with the focus on energy consumption in urban buildings. Sustainable development will be discussed concerning to the cities organization. Architecture, then, will be inserted to this context represented by its most characteristic product, the building. As a methodology to measure the building impact on environment, the life cycle analysis is applied. This will lead to directives to an environmentally responsible building. This directives will define the basis of an efficient project, regarding to the expectations among the possibility of building consumption energy reduction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Manchas de densidade de população.....	07
Figura 2.2 – Favela da Rocinha.....	14
Figura 3.1 – Lucio Costa.....	21
Figura 3.2 – Arquitetura de uma oca.....	24
Figura 3.3 – Os três imãs.....	24
Figura 3.4 – Maquete mostrando os princípios básicos da estrutura urbana.....	26
Figura 3.1.1 – Croqui – arquiteto.....	30
Figura 3.1.2 – Detalhe – arquiteto Renzo Piano.....	30
Figura 3.2.1 – Habitação de emergência.....	38
Figura 3.2.2– Esquema de habitação: fundações de engradados de cerveja, pisos de pranchas de madeira, estrutura de tubos de papelão e teto de lona.....	38
Figura 3.2.3 – Universidade do Meio Ambiente.....	39
Figura 3.3.1 – Fornecimento de água potável por país.....	48
Figura 3.3.2 – Implantação do sistema de recuperação das águas da chuva em Postdamer Platz, Berlim; arquiteto Renzo Piano.....	52
Figura 4.1 – Terra a noite.....	59

<b>Figura 4.2.1</b> – Módulos fotovoltaicos integrados à cobertura de vidro servindo também como sistema de sombreamento.....	72
<b>Figura 4.2.2</b> – Casa de baixa energia em Bregenz (2001), Daniel Sauter.....	73
<b>Figura 4.2.3</b> – turbina eólica que proporciona abastecimento de energia em uma área de serviço na Dinamarca.....	74
<b>Figura 4.2.4</b> – turbina eólica produz parte da energia consumida no edifício do Liceu de Calais.....	75
<b>Figura 4.3.1</b> – Palácio Gustavo Capanema.....	78
<b>Figura 4.3.2</b> – Interior do edifício Bristol.....	81
<b>Figura 4.3.3</b> – Biblioteca pública, Landau (1988), Lamott arquitetos.....	82
<b>Figura 4.3.4</b> – Studio, Munique, arquiteto Thomas Herzog.....	83
<b>Figura 4.3.5</b> – As quatro fachadas estão revestidas por uma dupla pele de vidro.....	84
<b>Figura 4.3.6</b> – Detalhe da dupla pele.....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 3.1</b> – Crescimento da população mundial.....	23
<b>Gráfico 3.2</b> – As cidades de metabolismo linear e as cidades de metabolismo circular.....	28
<b>Gráfico 3.1.1</b> – Ciclo de vida de um edifício.....	34
<b>Gráfico 3.1.2</b> – O edifício de metabolismo linear e o edifício de metabolismo circular.....	35
<b>Gráfico 3.2.1</b> - Custo energético dos materiais.....	41
<b>Gráfico 3.3.1</b> – Fornecimento de água em 1990 e 2004.....	49
<b>Gráfico 4.1.1</b> - Distribuição dos créditos ambientais do BREEAM, HKBEAM, LEEDTM, MSDG, CASBEE e GBTool, após normalização.....	69

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.1</b> – Estratégias Verdes nas Diferentes Fases.....	32
<b>Tabela 3.2.1</b> – Total de emissões e do uso de energia primária por diferentes modos de transporte de cargas.....	42
<b>Tabela 3.3.1</b> – Distribuição da Água no Planeta.....	47
<b>Tabela 3.3.2</b> – Volume de água distribuída por dia.....	51
<b>Tabela 4.1.1</b> - Iniciativas relacionadas ao desenvolvimento de metodologias de avaliação de edifícios.....	66
<b>Tabela 4.1.2</b> – Estrutura de avaliação do LEED.....	68

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. SOBRE O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE .....	6
3. SUSTENTABILIDADE EM ARQUITETURA.....	20
3.1. O PROJETO DE ARQUITETURA SUSTENTÁVEL.....	30
3.2. QUANTO À ESCOLHA DOS MATERIAIS.....	37
3.3. QUANTO À UTILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	46
3.4. QUANTO À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA .....	56
4. ARQUITETURA E ENERGIA.....	58
4.1. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS E SUAS ABORDAGENS QUANTO À ENERGIA .....	64
4.2. SISTEMAS PRODUTIVOS DE ENERGIA .....	71
4.3. SISTEMAS PASSIVOS DE ENERGIA.....	77
5. CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas decorrentes da ação do homem sobre o planeta, por conta de um desenvolvimento econômico predatório do meio ambiente, encontram-se em um estágio extremamente perigoso. Segundo Gore (2006, p. 10), “trata-se de uma emergência planetária”.

Por outro lado, é a oportunidade de rever conceitos e modificar as formas de atuação nos diversos segmentos da sociedade, com intuito de direcioná-los a um compromisso ambiental comum.

A crise climática também nos dá a chance de vivenciar algo que poucas gerações na história tiveram o privilégio de experimentar: um compromisso de uma geração; o entusiasmo de ter um propósito moral poderoso, uma causa comum unificadora; a emoção de ser forçado pelas circunstâncias a deixar de lado as mesquinhas e conflitos que tantas vezes sufocam a necessidade humana de transcendência; a oportunidade de nos elevarmos (GORE, 2006, p.11).

Há um consenso entre pesquisadores de que o conceito de sustentabilidade deve ser observado de forma abrangente. De fato, é uma questão complexa que envolve diversas abordagens:

Existe uma necessidade imediata de um novo conceito holístico de avaliação econômica. A sustentabilidade pode ser vista como uma medida de eficiência, desde que definida por critérios complexos,

amplos e de longo prazo. Sustentabilidade é assim uma nova ordem de eficiência econômica, e que beneficia a todos os cidadãos, em vez de beneficiar alguns poucos em detrimento de muitos. (Rogers, 2001, p. 154)

A arquitetura, por ser uma atividade que interfere diretamente no ambiente, é objeto fundamental para a conceituação desse tema (AMODEO et al., 2006). É preciso organizar as idéias, definir diretrizes mais claras e estabelecer uma escala de valores nas decisões projetuais.

Novas idéias exigem novas formas, e isto se aplica às edificações que hoje abrigam nossas necessidades cotidianas, bem como nossas instituições, sejam elas residências, escritórios, universidades, escolas, hospitais ou museus. Edifícios não flexíveis retardam a evolução da sociedade ao inibir o surgimento de novas idéias (ROGER, 2001, p. 79).

O **objetivo** deste trabalho é, portanto, identificar as soluções projetuais que aplicadas às edificações ao longo da história da arquitetura, têm contribuído para formar as bases de projeto consideradas eficientes quanto à questão energética.

A **metodologia** empregada para tanto consiste na revisão bibliográfica ampla, envolvendo livros, teses, dissertações, anais de eventos técnicos e científicos e revistas especializadas em arquitetura e urbanismo. Foram pesquisadas tanto as obras que discutem os conceitos sobre arquitetura sustentável, como àquelas que apresentam soluções projetuais.



A importância do tema é ressaltada por Rogers (2001, p. 153), ao evidenciar o conflito entre os modelos vigentes de cidade e o ambiente natural:

Atualmente estamos construindo cidades que segregam e brutalizam em vez de emancipar e civilizar. Mas a recente revolução em nossas atitudes em direção a um ambiente natural nos proporciona um modelo útil. A descrição dos ecologistas de nosso relacionamento com a natureza – não somos seus proprietários mas seus depositários e guardiães e temos responsabilidades com as gerações futuras – também se aplica à vida pública das cidades. Estamos acostumados a pensar sobre a natureza como sendo um valor essencial, precisamos agora pensar no âmbito público de maneira similar e investir nas vidas e espaços públicos de nossos cidadãos.

As cidades, por sua concentração populacional, são as grandes responsáveis pelo uso desenfreado de energia e sua consequência para o meio ambiente, consumo que na atividade contemporânea mundial está se aproximando dos níveis nos quais a possibilidade de efeitos irreversíveis sobre o clima do planeta começa a constituir uma preocupação crescente.

A arquitetura, inserida no contexto da cidade, tem o edifício como seu produto mais característico. Para avaliar seu impacto no meio ambiente, é preciso submeter o edifício à uma análise de ciclo de vida, e estabelecer as diretrizes que vão compor um edifício ambientalmente adequado e supostamente sustentável. Dentre essas diretrizes, a energia se destaca por sua relação direta com o projeto de arquitetura.

Se o edifício é elemento fundamental formador da cidade e constitui o espaço em que desenvolvemos nossas atividades, é nele que se encontra a principal demanda energética exigida nas cidades, conforme salienta Corbella (2003, p.16):

Com a enorme expansão das técnicas construtivas, após a II Guerra Mundial e com abundância de combustível barato, a tecnologia dos engenheiros foi suplantando uma série de atribuições dos arquitetos, que pouco a pouco foram esquecidas...O grande consumo de energia necessário para solucionar os problemas criados por este tipo de arquitetura não era levado em conta porque seu custo era irrisório.

Através de um projeto eficiente pode-se reduzir em grande parte o consumo energético de uma edificação. Dentre as diversas opções a considerar para este fim, destacam-se os sistemas passivos de ventilação e iluminação.

Os edifícios com mais contributos naturais e menos artificiais são melhores. Os edifícios que têm luz natural são, em regra, mais agradáveis do que aqueles que são iluminados por meios artificiais; a ventilação natural, caso o ar puro esteja disponível a partir de um meio exterior tranquilo, é mais aceitável do que aquela que é feita por meios mecânicos; quanto menores forem os emissores de calor, tanto melhor; e assim por diante (A Green Vitruvius, 2001, p. 1).

Os conceitos relacionados aos sistemas que gerenciam os potenciais energéticos encontrados na natureza não são novidade na arquitetura. Há pelo menos 2.500 anos os antigos gregos já desenhavam suas casas para captar a luz solar do inverno (BUTTI; PERLIN, 1985).

Já a sociedade moderna, voltada para o consumo acima dos recursos naturais, encontra-se em um crescimento desenfreado que nega a essência da relação humana com o meio ambiente, e a arquitetura contribui para esse processo negligenciando suas origens, o embate entre a arte e a técnica, tão bem definido por Artigas (2004, p. 109):

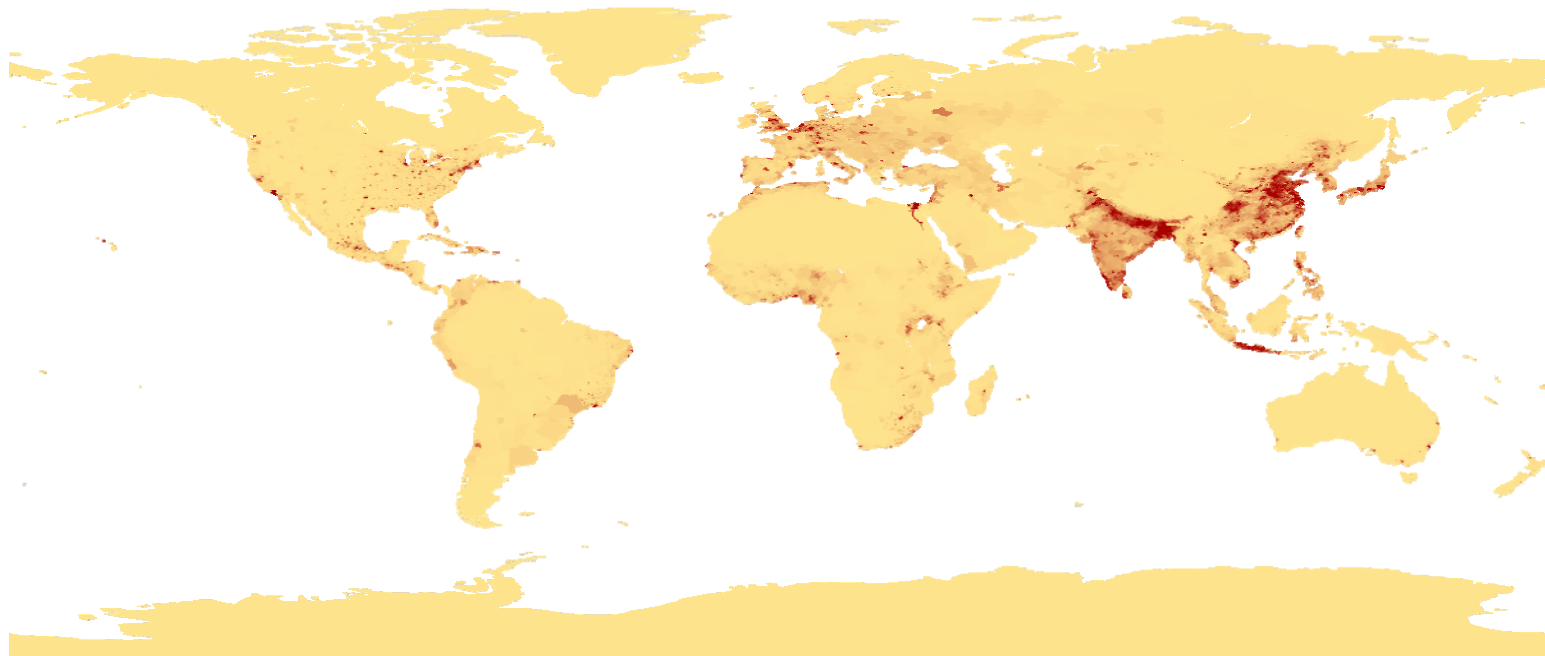
O fazer histórico para o homem, como sabeis, comporta dois aspectos. De um lado este fazer é dominar a natureza, descobrir os seus segredos, fruir de sua generosidade e interpretar as suas freqüentes demonstrações de hostilidade. Dominar a natureza foi e é criar uma técnica capaz de obrigá-la a dobrar-se às nossas necessidades e desejos... De outro lado, fazer história é, também, como se diz hoje, um dom de amor. É fazer as relações entre os homens, a história como iniciativa humana... Neste dualismo, provisório e didático, que nada tem de misterioso, é que encontra suas origens o conflito entre a técnica e a arte. Uma técnica para apropriação da natureza e o uso desta técnica para a realização do que a mente humana cria dentro de si mesma. Um conflito que não separa, mas une.

## SOBRE O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

O desenvolvimento científico e tecnológico e a ecologia, inteligentemente confrontados, são sempre compatíveis.  
(LÚCIO COSTA)

## 2. SOBRE O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

Do Clube de Roma (“*Limits to Growth*”, 1972) a Al Gore (“Uma Verdade Inconveniente”, 2006), observa-se uma crescente preocupação com o futuro de nosso planeta. Segundo Gore, nos últimos duzentos anos a população mundial cresceu de 1 bilhão de habitantes em 1776 para 6,5 bilhões de habitantes em 2006, com perspectiva de 8,5 bilhões em 2025. No Brasil, segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população contabilizada em 2006 de 186,7 milhões tem projeção para 2025 de 228,8 milhões de habitantes.



**Figura 2.1** – Manchas de densidade de população  
Fonte: NASA – Visible Earth <[http://visibleearth.nasa.gov/view\\_rec.php?id=116](http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=116)>  
Acesso em: 7 dez 2007.

Essa pressão populacional concentrada nas cidades, somada ao desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para o consumo, tem ocasionado diversos danos ao planeta, seja pela demanda por energia, água, alimentos e outros recursos naturais (muitos deles utilizados na construção), seja pela poluição decorrente principalmente da geração de energia.

Ocorre que da revolução industrial até os dias de hoje, observa-se o interesse crescente das nações na conquista e ampliação de seus mercados consumidores e, até pouco tempo atrás, a questão ambiental esteve desprezada diante da necessidade do desenvolvimento econômico, conforme salienta Mülfarth (2002, p. 37):

... as questões ambientais eram vistas como entraves ao desenvolvimento, justificando inclusive a transferência de indústrias “sujas” para países em desenvolvimento, com o objetivo de adquirir vantagens competitivas no mercado.

Os impactos decorrentes dessa busca desenfreada pelo desenvolvimento passaram a influenciar o ambiente de forma global, e a conscientização de que algo precisava ser feito para reverter a situação de decadência ambiental, a fim de garantir a própria sobrevivência humana, passou a aflorar.

A Declaração de Estocolmo, aprovada durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972, introduziu pela primeira vez a dimensão

ambiental como condicionadora e limitadora do modelo de crescimento econômico vigente e do uso dos recursos naturais, estabelecendo perspectivas e princípios comuns a serem observados internacionalmente com objetivo de preservação e melhoria do ambiente humano. Em resumo, estabelece que:

- o homem é criatura e criador de seu ambiente, o que lhe propicia a oportunidade de crescimento intelectual, moral, social e espiritual. Através do desenvolvimento da ciência e tecnologia, o homem adquiriu o poder de transformar seu ambiente numa escala sem precedentes;
- a proteção e a melhoria do ambiente humano, questão que envolve o bem estar e o desenvolvimento econômico das nações, é desejo urgente dos cidadãos do mundo e dever dos governantes;
- a capacidade do ser humano de transformar seu entorno pode trazer a todos os benefícios do desenvolvimento e a oportunidade de melhoria da qualidade de vida, no entanto, aplicada erroneamente, pode trazer danos incalculáveis para a humanidade e seu meio ambiente. Atualmente evidenciam-se os danos causados em diferentes regiões do planeta: altos níveis de poluição, destruição e diminuição de reservas não renováveis, distúrbios ao equilíbrio ecológico da biosfera, danos às saúdes mental, física e social da população, causados por graves deficiências no ambiente construído;
- nos países subdesenvolvidos, milhões de pessoas continuam a viver privadas de condições adequadas de alimentação, abrigo, educação, saúde e saneamento

básico. Esses países precisam direcionar os esforços para seu desenvolvimento, conciliando suas prioridades com a necessidade de preservar e melhorar o meio ambiente. Por outro lado, países industrializados devem concentrar esforços para reduzir a distância para os países em desenvolvimento, além de diminuir os problemas ambientais relacionados à industrialização e ao desenvolvimento tecnológico;

- o crescimento natural da população apresenta problemas para a preservação do meio ambiente, e políticas e medidas adequadas devem ser tomadas para tanto;
- através da ignorância e indiferença, pode-se causar um prejuízo massivo e irreversível para o ambiente terrestre. Defender e aperfeiçoar o ambiente humano para as gerações presentes e futuras tem se tornado uma meta primordial para a humanidade;
- alcançar essa meta exigirá a responsabilidade de cidadãos, comunidades, empresas e instituições em todos os níveis. A soma de suas ações moldará o meio ambiente do futuro.

Em 1983 a ONU (Organização das Nações Unidas) criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a qual foi presidida por Gro Harlem Brundtland, primeira ministra da Noruega (por isso o nome Comissão Brundtland), e tinha os seguintes objetivos:



- propor estratégias ambientais a longo prazo para alcançar um desenvolvimento sustentável até o ano 2000;
- recomendar novas formas de cooperação entre países em desenvolvimento e países em diferentes estágios de desenvolvimento econômico e social, de modo a orientar políticas e ações comuns que considerem as interações entre pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento;
- considerar caminhos e recursos pelos quais a comunidade internacional pode lidar mais efetivamente com a questão ambiental;
- ajudar a definir idéias comuns para discussões ambientais e determinar os esforços necessários para lidar com os problemas de proteção e melhoria do meio ambiente, através de uma agenda que defina ações para as próximas décadas e metas a serem tomadas a longo prazo.

O relatório produto dessa comissão, intitulado *Our Common Future*, apresentou uma lista geral de medidas que os Estados deveriam adotar, que são as seguintes:

- limitação do crescimento populacional;
- garantia de alimentação;
- preservação da biodiversidade e dos ecossistemas;
- diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias que admitam o uso de fontes energéticas renováveis;

- aumento da produção industrial nos países não industrializados à base de tecnologias ecologicamente adaptadas;
- controle da urbanização selvagem e integração entre campo e cidades menores;
- a satisfação das necessidades básicas.

A comissão propôs que o desenvolvimento econômico fosse integrado à questão ambiental, surgindo assim uma nova forma denominada desenvolvimento sustentável, que recebeu a seguinte definição (1987, p.51):

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades.

Esta definição, mais aceita e divulgada, sugere sempre uma reavaliação das condições em que se busca solucionar as necessidades humanas, bem como avaliar as necessidades futuras. Em sua essência, é um manifesto para a perpetuação das espécies.

De fato, sempre haverá um impacto da existência humana sobre o meio ambiente. A questão é o maior ou menor impacto. No caso, quanto maior a população e sua concentração nas cidades, maior o impacto.

Amenizar este impacto não é tão simples, uma vez que as características culturais e sócio-econômicas que moldam as formas de consumo vigentes nas cidades também estão relacionadas a este processo. Para que isso ocorra, a noção de sustentabilidade, inicialmente relacionada a questões ambientais, precisa agregar valores sociais, políticos e econômicos.

Considerando essas diversas abordagens, o sócio-economista Sachs (1993, p. 25) atribui cinco dimensões à sustentabilidade:

- a) a sustentabilidade social, com a consolidação de um processo de desenvolvimento baseado numa melhor distribuição de renda, de forma a melhorar os direitos e as condições de amplas massas de população;
- b) a sustentabilidade econômica, através de uma gestão mais eficiente dos recursos, avaliada principalmente em termos macrossociais do que por critérios de lucratividade microempresarial;
- c) a sustentabilidade ecológica, intensificando a utilização eficiente dos recursos potenciais dos vários ecossistemas para propósitos socialmente válidos, e limitando o consumo de recursos e produtos não renováveis, substituindo-os por recursos renováveis e recicláveis;
- d) a sustentabilidade espacial, que considera uma distribuição urbano-rural mais equilibrada, o desenvolvimento de uma agricultura regenerativa e de projetos de

agro-florestamento, e o estabelecimento de uma rede de reservas naturais para proteger a biodiversidade;

e) a sustentabilidade cultural, ou seja, modelos de modernização que respeitem as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local.

Seguindo os princípios de Sachs, tende-se a concluir que as sustentabilidades ecológica, espacial e cultural dependem de uma sustentabilidade sócio-econômica. Os países desenvolvidos, que têm sua economia estável e competitiva e uma sociedade mais equilibrada no que se refere à distribuição de renda, possuem melhores condições de se desenvolver ecológica e espacialmente. Por outro lado, os países subdesenvolvidos precisam alcançar seu desenvolvimento sócio-econômico e lidar com as questões ambientais ao mesmo tempo, buscando preservar sua cultura ao máximo.

De acordo com Mülfarth (2002, p.27), “o ônus da poluição das águas, ar e solo e redução dos recursos naturais recai sobre os menos favorecidos (figura 2.1), sendo equivocado não tratar dos problemas ecológicos, sociais e econômicos conjuntamente”.

E acrescenta que “os aspectos humanos se caracterizam pela crescente disparidade social que se apresenta principalmente nos países mais pobres, além de grandes perdas culturais devido à pressão consumista e à globalização (2002, p. 50).



**Figura 2.2** – Favela da Rocinha  
Fonte: Miguel VF  
<<http://www.flickr.com/photos/miguelvf/525195189/>> Acesso em: 20 mai 07

No que se refere às cidades, esse desenvolvimento é um grande desafio para os países subdesenvolvidos, conforme discorre Rogers (2001, p. 8):

Pobreza, desemprego, saúde comprometida, ensino de má qualidade, conflitos – em resumo, injustiça social em todas as suas formas – minam a capacidade de uma cidade de ser sustentável do ponto de vista ambiental. Cidades que conviveram com guerra civil, como Beirute; com graus extremos de pobreza, como Bombaim; que buscam o lucro como motivação maior, como São Paulo; cidades assim prejudicam o meio ambiente em detrimento de todos. Não pode haver harmonia urbana ou melhoria ambiental real sem paz e garantia da aplicação dos direitos humanos básicos.

Os padrões de comportamento econômico e social das cidades devem ser revistos, uma vez que a instabilidade social, gerada pela população excluída da sociedade de consumo e relegada à miséria, está diretamente relacionada com a questão ambiental.

As questões ambientais não são diferentes das questões sociais. As políticas de meio ambiente podem também melhorar a vida social dos cidadãos. As soluções ecológicas e sociais se reforçam mutuamente e garantem cidades mais saudáveis e multifuncionais. Acima de tudo, uma cidade auto-sustentável é sinônimo de qualidade de vida para as próximas gerações (ROGERS, 2001, p.32).

E, para um desenvolvimento sócio-econômico sustentável, é preciso redefinir a riqueza para incluir o capital natural:

Os meios propostos para garantir a proteção desse capital natural são normas reguladoras que, mais importante ainda, devem fixar um preço adequado para o uso do capital natural, patrimônio que anteriormente havia sido considerado ilimitado e, portanto, sem qualquer custo. O objetivo final do desenvolvimento econômico sustentável é deixar para as gerações futuras uma reserva de capital natural igual ou maior que nossa própria herança (ROGERS, 2001, p. 5).

Otimizar os recursos naturais utilizados na produção (através da diminuição de desperdício e da reutilização) trará uma recompensa tanto para consumidores, que ganharão em qualidade, quanto para produtores, que reduzirão seus gastos.

Além disso, uma conscientização ecológica exigirá das empresas um empenho em minimizar os efeitos negativos de sua produção e lhes trazer benefícios financeiros, através da integração de metas ambientais e metas empresariais como diferencial competitivo:

Muitos líderes empresariais estão finalmente reconhecendo o pleno efeito de suas escolhas, e incluindo nas suas contas o preço de fatores como o meio ambiente, o impacto sobre sua comunidade e a longevidade de seus funcionários...Essa estratégia inclui uma visão mais ampla de como sustentar a lucratividade da empresa ao longo do tempo (GORE, 2006, p.270).

Com um desenvolvimento sócio-econômico sustentável, o mercado consumidor poderá então, exigir das empresas uma atitude responsável ambientalmente,

contribuindo para solucionar a dimensão ecológica e espacial citada por Sachs (1993, p. 25).

Para concluir, o desenvolvimento sustentável é um tema que requer uma participação conjunta das diversas esferas de nossa sociedade, do poder público à iniciativa privada. A partir da década de 90, diversas conferências mundiais (Rio 92; Conferência do Clima em Berlim 95, em Genebra 96, e em Kioto 97; Conferência Mundial Sobre Desenvolvimento Sustentável, África do Sul, 2002) têm apresentado propostas e alternativas para resolver a crise ambiental.

Na ECO'92, Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992, o conceito de desenvolvimento sustentável definido pela Comissão Mundial em Meio Ambiente foi amplamente difundido, passando a ser o objetivo da Agenda 21 que visa as políticas públicas e as práticas urbanas de diversas cidades e metrópoles, através de diretrizes que articulam desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, desenvolvimento urbano e proteção ao meio ambiente, indicando os componentes gerais para o entendimento da noção de desenvolvimento urbano sustentável.

No que se refere à aplicação da Agenda 21 na construção civil, as contribuições mais relevantes são a Agenda Habitat II, assinada na Conferência das Nações Unidas realizada em Istambul, em 1996; a Agenda 21 para Construção Sustentável

(CIB, 1999), e a Agenda 21 para Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento (CIB/UNEP-IETC, 2002).

Observa-se, porém, que é grande a complexidade no cenário internacional. Se a economia mundial está em discussão desde a década de 40, após a Segunda Guerra Mundial, no sentido de ampliar o livre comércio como ferramenta para alavancar o desenvolvimento econômico e social das nações, o aumento dos fluxos comerciais na economia globalizada, cujo mercado financeiro é completamente livre e aberto, tende a beneficiar os mais fortes, que controlam as regras do mercado a fim de evitar a livre concorrência (ROMEIRO, 1999, p. 7).

Além disso, as iniciativas para buscar a preservação do meio ambiente carecem de um consenso quanto às medidas a serem tomadas. Como exemplo, iniciativas como o Protocolo de Kyoto (1997) para a redução de emissões dos gases causadores do efeito estufa encontram relutância de certos países em detrimento de questões econômicas. Os Estados Unidos, que possuem o maior índice de emissão de carbono no mundo (Gore, 2006, p.253), não ratificaram o Protocolo de Kyoto, nem se esforçam por desenvolver tecnologias de produção de energia limpas.

Apesar do aparente fracasso de certas resoluções, é fundamental a ocorrência das diversas conferências. É preciso uma coordenação mundial com parâmetros e



objetivos comuns, que só serão estabelecidos se houver diálogo e ajuda mútua entre as nações.

A sustentabilidade total é um conceito ideal. A existência humana pressupõe intervenções e modificações no meio ambiente para suprir seus desejos e necessidades.

Mesmo uma maior eficiência em processos de reciclagem e reutilização, não anula a existência de um efeito que reduz as fontes de recursos naturais. Não obstante, a pesquisa e atuação das diversas atividades que regem nossa sociedade dentro de um conceito de sustentabilidade é fundamental, conforme estabelece Mulfarth (2002, p.49):

Apesar das discordâncias, é consenso que a discussão para definição de maneiras de apropriação dos recursos naturais é fundamental para estabelecer perspectivas futuras para utilização tanto das fontes renováveis como não renováveis com bases mais sustentáveis.

## SUSTENTABILIDADE EM ARQUITETURA

Emprega-se a pedra, a madeira, o cimento; fazem-se casas e palácios – é construção. O engenho trabalha. Mas, de repente, algo me toca o coração; sinto-me bem, sou feliz e digo: é belo. Arquitetura é isto.  
(LE CORBUSIER)

### 3. SUSTENTABILIDADE EM ARQUITETURA

Lúcio Costa (2007, p. 203) define a arquitetura:

Arquitetura é antes de mais nada, construção; mas construção concebida com o propósito primordial de ordenar o espaço para determinada finalidade e visando a determinada intenção. E nesse processo fundamental de ordenar e expressar-se ela se revela igualmente arte plástica, porquanto nos inumeráveis problemas com que se defronta o arquiteto desde a germinação do projeto até a conclusão efetiva da obra há sempre, para cada caso específico, certa margem final de opção entre os limites – máximo e mínimo – determinados pelo cálculo, preconizados pela técnica, condicionados pelo meio, reclamados pela função ou impostos pelo programa, cabendo então ao sentimento individual do arquiteto (ao artista, portanto) escolher, na escala de valores contidos entre tais limites extremos, a forma plástica apropriada a cada pormenor em função da unidade última idealizada.



**Figura 3.1** – Lucio Costa  
Fonte: Costa (2001, capa)

Associando-se a definição de Lúcio Costa para arquitetura com a definição de sustentabilidade da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU tem-se resumidamente que arquitetura sustentável é “toda construção concebida com o propósito primordial de ordenar o espaço para determinada finalidade e com determinada intenção”, que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”.

Resta saber quais são as necessidades que a arquitetura como construção deve satisfazer. Segundo Edgar Graeff (1978, p. 13):

...do nascimento à morte, da maternidade ao túmulo, o homem atravessa o tempo da sua existência trabalhando, repousando, cultivando divindades e memórias, brincando e sofrendo, no abrigo dos edifícios construídos para proteger e favorecer o exercício das atividades que a vida requer.

O edifício constitui o produto mais característico da arquitetura, e através dele a arquitetura procura solucionar as necessidades humanas.

Essas necessidades, que inicialmente estavam relacionadas ao abrigo, logo tomaram valores sociais, espirituais e tecnológicos, e se multiplicaram conforme a escala e complexidade social.

Uma metrópole encerra muito mais atividades do que uma aldeia indígena, portanto, a análise quanto à sustentabilidade de um edifício deve considerar o contexto em que ele está inserido.

Dentre os diversos contextos, as cidades, por sua concentração populacional, são o grande desafio para o desenvolvimento sustentável, e o edifício urbano elemento mais significativo na arquitetura para o estudo e adequação quanto à sustentabilidade.

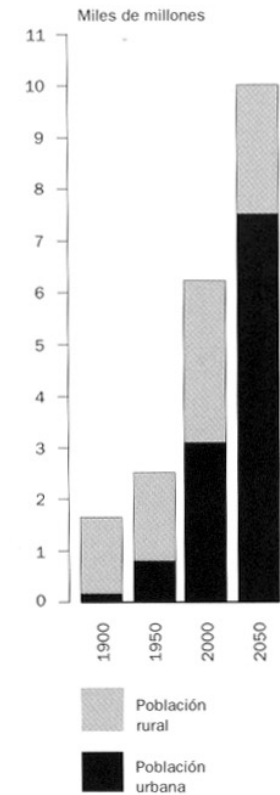
Com relação ao crescimento das cidades (gráfico 3.1), Richard Rogers (2001, p.4), observa:

Em 1900 apenas um décimo da população mundial vivia em cidades. Hoje (2000), pela primeira vez na história, metade de toda a população mundial vive em cidades e num prazo de 30 anos, esta proporção poderá atingir até três quartos dos habitantes do planeta.

Ainda, segundo Rogers (2001, p.04), o simples fato de morar nas cidades não deveria conduzir à autodestruição da civilização:

É uma ironia que as cidades, o *habitat* natural da humanidade, caracterizem-se como o maior agente destruidor do ecossistema e a maior ameaça para a sobrevivência da humanidade no planeta. Nos Estados Unidos, a poluição das cidades já reduziu a produção das plantações em quase 10%. No Japão, o lixo da cidade de Tóquio chega a um valor estimado de 20 milhões de toneladas por ano, lixo que já saturou toda a baía de Tóquio. A Cidade do México, literalmente, está bebendo a água de seus dois rios secos, enquanto o grande congestionamento de trânsito de Londres causa hoje maior poluição do ar do que a queima de carvão no período anterior a 1956, antes da lei pela qualidade do ar, por um ar limpo, o *Clean Air Act*. As cidades geram a maioria dos gases causadores do efeito estufa...

Fica claro que as cidades, complexos demográficos que demandam uma produção industrial e urbana em larga escala, são atualmente o foco de atuação para um desenvolvimento sustentável; e a densidade populacional é, como conseqüência, um contexto para avaliar-se o que é ou não sustentável.



**Gráfico 3.1** – Crescimento da população mundial  
Fonte: Rogers, (2001, p. 4)

Uma oca (figura 3.1), no contexto e escala da sociedade indígena pode ser considerada uma edificação sustentável, pois utiliza materiais biodegradáveis encontrados na natureza, causando pouco impacto em suas diversas fases de vida, como construção, utilização e demolição. Essa mesma oca produzida na escala de uma metrópole sem preocupações ambientais, provavelmente causaria a devastação das reservas florestais do planeta.

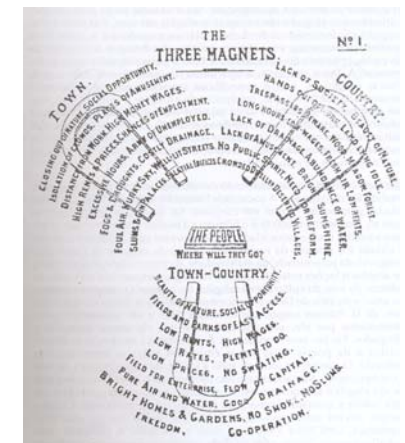


**Figura 3.2** – Arquitetura de uma oca  
Fonte: Fábio Pili <<http://www.brasiloste.com.br>>  
Acesso em: 04 dez 2007.

Para melhor compreender como o edifício urbano pode se encaixar em um conceito de desenvolvimento sustentável, uma reflexão sobre os modelos de cidade ambientalmente adequados se faz necessária.

Pode-se argumentar que as cidades jardim de Ebenezer Howard (1996) seriam modelos de cidades sustentáveis, com menor concentração de habitantes e ambientes menos densos e mais verdes. Porém, o contexto sobre o qual foram concebidas as cidades jardins eram as cidades industriais do século XIX, cidades populosas que careciam de uma infra-estrutura básica de saneamento e tratamento de resíduos tóxicos e detritos, ocasionando diversos prejuízos à saúde pública.

Esses riscos e desigualdades básicas o levaram a pensar em cidades auto-suficientes, com áreas predeterminadas para moradia, escolas, comércio, etc.,



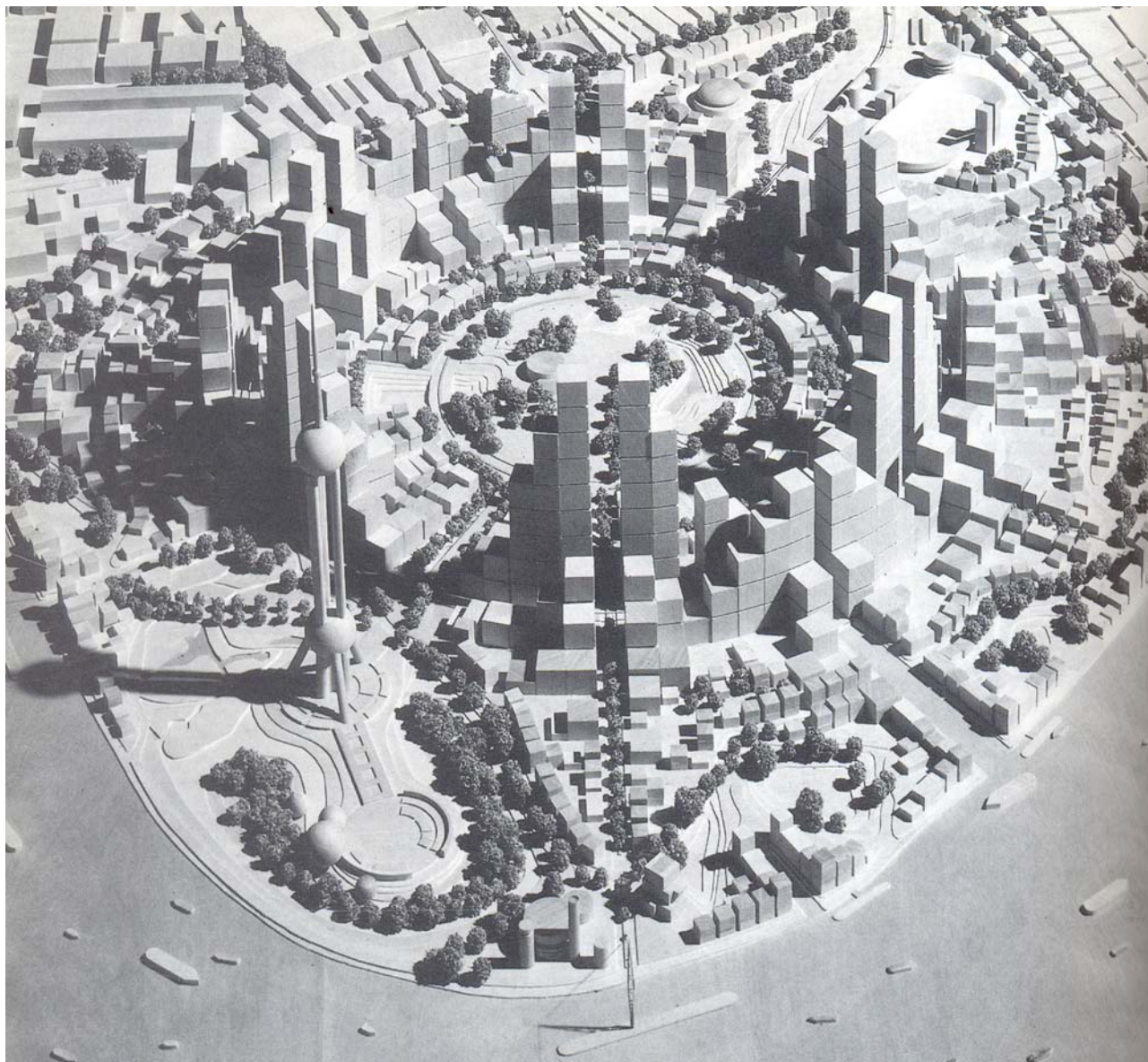
**Figura 3.3** – Os três ímãs  
Fonte: Howard (1996, p. 109)

concentrando-se na oferta de moradias adequadas como questão prioritária, à qual todas as outras funções da cidade se subordinavam. No entanto, descartou a complexa e multifacetada vida cultural das metrópoles e não se interessava por assuntos urbanos que não pudessem ser abstraídos para servir à sua utopia, conforme argumenta Jane Jacobs (2001, p. 18):

...não tinha interesse em questões como segurança pública, troca de idéias, funcionamento político ou criação de novas saídas econômicas nas grandes cidades, nem dava atenção à criação de novas maneiras de fortalecer essas atribuições, porque, afinal, esse tipo de vida não estava em seus planos.

Com o desenvolvimento de tecnologias menos poluentes de geração de energia e transporte público, e sistemas mais avançados de tratamento e reciclagem do esgoto e do lixo, o modelo de cidade adensada demograficamente pode ser reconsiderado (figura 3.4).

“Através de um planejamento integrado, podem ser pensadas tendo em vista um aumento de sua eficiência energética, menor consumo de recursos, menor nível de poluição” (ROGERS, 2001, p. 33); além da oportunidade da diversificação social com as atividades econômicas e sociais sobrepostas, reduzindo o deslocamento por automóvel.



**Figura 3.4** – Maquete mostrando os princípios básicos da estrutura urbana.  
Fonte: Rogers (2001, p. 48)



O uso do automóvel possibilitou a expansão urbana para as periferias, aumentando as cidades em extensão, encarecendo e dificultando o transporte público. Além disso, as vias e calçadas projetadas em função do automóvel são elementos de segregação urbana, dificultando o convívio entre pedestres e impossibilitando uma vivência comunitária. Soma-se a isso o fato de que o automóvel é o maior responsável pela poluição do ar, emitindo dois trilhões de metros cúbicos de vapor de fumaça por ano (ROGERS, 2001).

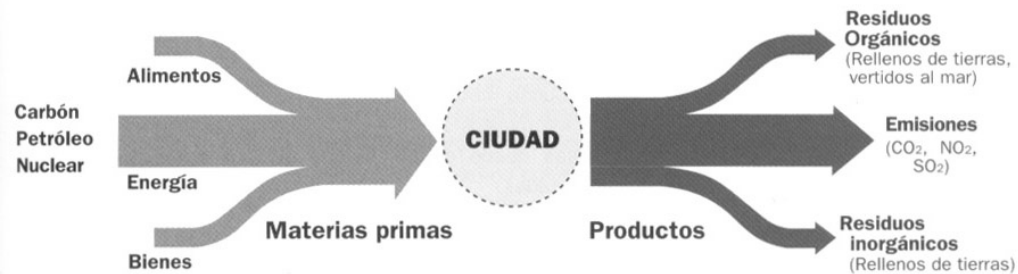
Portanto, uma cidade compacta privilegiando o transporte público e otimizando o deslocamento através da sobreposição das atividades econômicas e sociais, diminuiria consideravelmente a poluição atmosférica, além de possibilitar uma melhor integração social reduzindo ainda o desperdício de energia através de tecnologias adequadas.

No que se refere à utilização de recursos naturais, o estudioso de ecologia urbana Herbert Girardet (1992 apud ROGERS, 2001, p. 30) argumenta que “a solução para reduzir o impacto ambiental causado pelas cidades está na busca de um metabolismo circular, cujo consumo é reduzido pela implementação de eficiências e a reutilização de recursos é maximizada”.

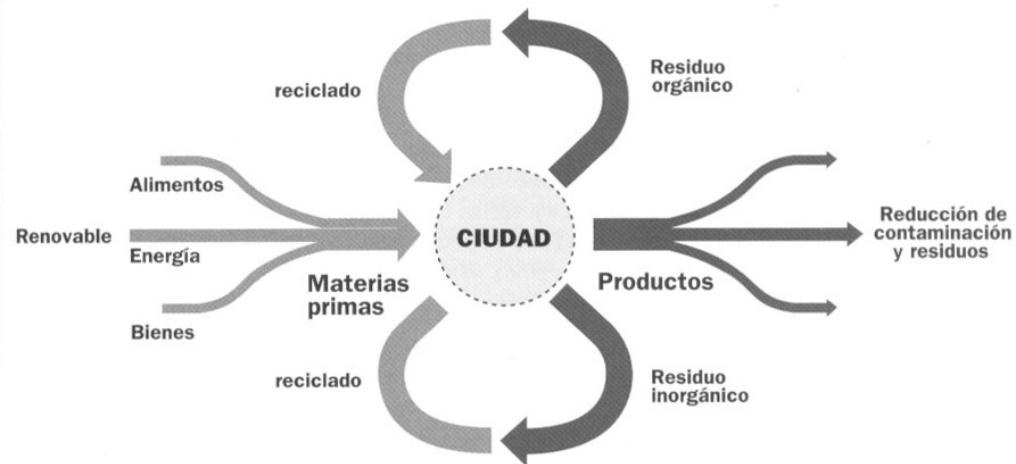
Rogers complementa considerando os processos de produção (2001, p. 30):

Uma vez que grande parte da produção e do consumo ocorre nas cidades, os atuais processos lineares de produção, causadores de poluição, devem ser substituídos por aqueles que objetivem um sistema circular de uso e reutilização. Estes processos aumentam a eficiência global do núcleo urbano e reduzem seu impacto no meio ambiente.

Las ciudades de metabolismo **lineal** consumen y contaminan en grandes proporciones



Las ciudades de metabolismo **circular** minorizan las materias primas nuevas y acrecientan al máximo el reciclaje



**Gráfico 3.2** – As cidades de metabolismo linear e as cidades de metabolismo circular  
Fonte: Rogers, (2001, p. 31).

Como complemento de um planejamento adequado, considerando todos os fatores que constituem as necessidades econômicas, físicas e sociais de uma comunidade, faz-se necessária a implantação de uma arquitetura, elemento base de configuração das cidades, de acordo com as bases sustentáveis propostas.

A arquitetura se materializa em um espaço privado, demarcando o espaço público, direcionando o olhar e compondo o cenário urbano. No entanto, é como construção que relaciona-se diretamente com o meio ambiente. Do ponto de vista urbano, contribui para a formação de resíduos e degradação ambiental, solo, água e ar. Do ponto de vista do usuário, remete à maior ou menor utilização de energia e de recursos naturais.

Cabe ao arquiteto desenvolver soluções que visam maior eficiência na utilização dos recursos naturais, contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente urbano saudável e diminuindo o impacto ambiental causado pelo funcionamento da cidade.

### 3.1. O PROJETO DE ARQUITETURA SUSTENTÁVEL

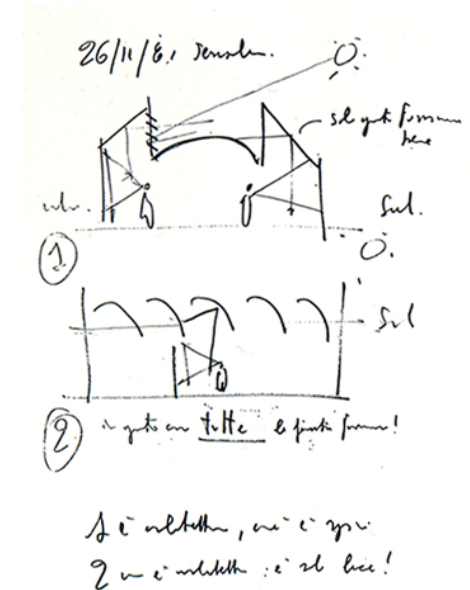
Para Renzo Piano, o desenho é um instrumento através do qual o arquiteto conduz a si próprio e a outros até a produção final chamada arquitetura. É um processo teórico, necessário para a compreensão do que se vai construir:

*Unless you draw something, you do not understand it. It is a mistake to believe that now I understand the problem and now I draw it. Rather, right at the time you draw you realize what the problem is and then you can rethink it (ROBINS, 1977, P. 127).*

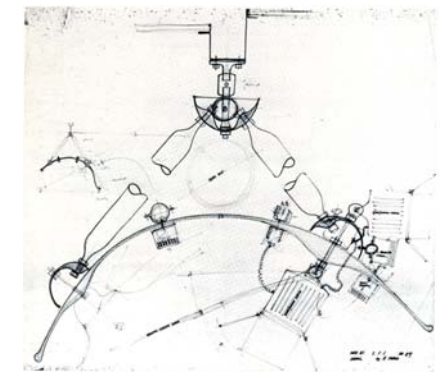
Além de constituir um processo de criação, o projeto de arquitetura é também o planejamento da construção, e remete a diversas decisões que envolvem, entre outras, a implantação no terreno, o sistema estrutural, os sistemas hidráulicos e elétricos, a escolha dos materiais, etc.

... a obra, encarada desde o início como um organismo vivo, é, de fato, concebida no todo e realizada no pormenor de modo estritamente funcional... em obediência às exigências do cálculo, da técnica, meio e programa, mas visando sempre alcançar um apuro plástico ideal (COSTA, 2007, p. 205).

A sistematização do projeto, através de etapas sucessivas e complementares, é fundamental para organizar esse processo de tomada de decisões. A publicação *A Green Vitruvius* (2001, p. 8) estabelece algumas questões para cada fase de projeto, a fim de inseri-lo num contexto de sustentabilidade:



**Figura 3.1.1** – Croqui – arquiteto  
Renzo Piano  
Fonte: Dini (1983, p. 272)



**Figura 3.1.2** – Detalhe – arquiteto  
Renzo Piano  
Fonte: Dini (1983, p. 166)

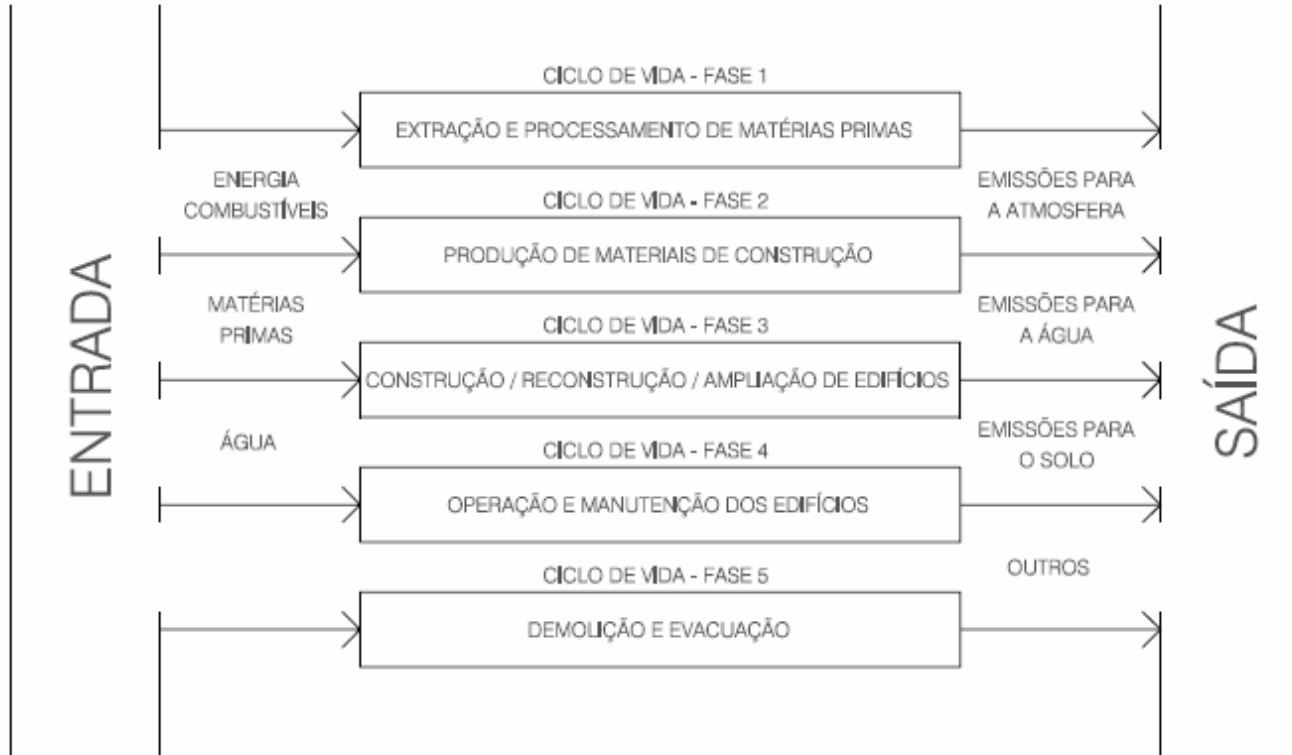
	FASE	QUESTÕES
	ACEITAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa: identificar o desenho verde como sendo uma questão a ter em conta</li> <li>• Acordar objectivos de comportamento ambiental para o edifício</li> <li>• Preferir os terrenos degradados aos locais situados em ecossistemas bem desenvolvidos</li> </ul>
PROJECTO	Programa base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisar o sítio para a verificação da luz natural, das condições de abrigo e de sombra</li> <li>• Pesquisar a tipologia do edifício e analisar exemplos de boa prática</li> <li>• Considerar o que se poderá fazer, dados os limites orçamentais</li> </ul>
	Estudo Prévio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Layout": utilizar estratégias solares passivas, incluindo a luz natural</li> <li>• Proporcionar o acesso ao sol às áreas residenciais de permanência</li> <li>• Utilizar massa térmica para reduzir as flutuações de temperatura</li> <li>• Maximizar a penetração da luz solar usando plantas e cortes</li> <li>• Considerar métodos para o abastecimento de água e a gestão de resíduos</li> <li>• Utilizar materiais de fabrico local</li> <li>• Efectuar estudos interativos com concepções de desenho para avaliar o seu comportamento</li> </ul>
	Ante-Projecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar o pé-direito dos compartimentos tendo em vista o aquecimento, o arrefecimento e a iluminação natural</li> <li>• Verificar a massa térmica face ao padrão de utilização do edifício: intermitente ou contínuo</li> <li>• Optimizar a proporção e distribuição das aberturas na envolvente exterior, considerando o aquecimento e a iluminação</li> <li>• Especificar critérios de desenho para os serviços</li> <li>• Calcular os comportamentos previstos do edifício e fazer a sua avaliação em função dos objectivos</li> </ul>
	Projecto Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultime o projeto (planos, cortes, alçados) para as aprovações regulamentares</li> <li>• Seleccionar os materiais e métodos de construção, tendo em conta a massa térmica, as aberturas e o sombreamento, e a origem dos materiais</li> </ul>

PROJECTO	Projecto de Execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Desenvolver as especificações para que o trabalho possa ser bem executado e se possa fazer uma boa gestão do local</li> <li>•Pormenorizar tendo em mente o comportamento térmico, a luz natural e a ventilação controlada do edifício</li> <li>•Especificar as caixilharias de portas e janela exteriores considerando o seu desempenho ambiental</li> <li>•Ter em conta que os acabamentos interiores e exteriores deverão ser ambientalmente amigáveis</li> <li>•Ter em conta o desempenho ambiental ao seleccionar os sistemas de aquecimento e arrefecimento, radiadores e controlos</li> <li>•Especificar o equipamento de iluminação eléctrica e os seus controlos para um baixo consumo de energia</li> <li>•Especificar os dispositivos sanitários para um baixo consumo de água</li> </ul>
CONSTRUÇÃO	Processo de concursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Explicar os requisitos do desenho verde aos empreiteiros concorrentes</li> <li>•Especificar práticas de construção e tolerâncias mais exigentes</li> </ul>
	Fiscalização ou assistência	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Proteger a paisagem natural do local tanto quanto possível</li> <li>•Assegurar a perfeição dos revestimentos de isolamento térmico e a ausência de pontes térmicas nas aberturas</li> <li>•O empreiteiro não deverá substituir os materiais ou componentes sem a aprovação do arquitecto</li> <li>•Assegurar métodos aceitáveis de deposição de lixos</li> </ul>
	Recepção	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Assegurar-se que o cliente e os utilizadores compreendem os conceitos e sistemas utilizados no edifício (fornecer manuais de manutenção)</li> <li>•Demonstrar como se poderá obter o máximo dos controlos dos sistemas activos</li> </ul>
	Período de garantia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorizar o comportamento real dos sistemas activos face ao que foi projectado</li> </ul>

**Tabela 3.1.1** – Estratégias Verdes nas Diferentes Fases  
Fonte: Comissão das Comunidades Europeias, 2001. p. 8

Considerando as questões estabelecidas nas fases de projeto, é possível sistematizar as diversas fases de vida do edifício (do nascimento à morte), a fim de se obter um panorama completo das atividades desenvolvidas nesse ciclo, e suas conseqüências para o meio ambiente. Esse processo denomina-se **análise do ciclo de vida**. Originalmente definido como sendo um processo para avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou atividade, pode ser empregado à edificação com os seguintes objetivos:

- a identificação e quantificação da energia e das matérias-primas empregadas na fabricação de seus materiais, bem como das emissões de poluentes para a água, solo e ar, inerentes à sua produção, uso e disposição final;
- a avaliação do impacto ambiental que o uso de energia e dos materiais e que as emissões de poluentes acarretam ao meio ambiente;
- a identificação de oportunidades de melhorias do sistema que levam à otimização do desempenho ambiental do edifício;
- a contribuição, em termos de consumo e emissões, de todas as etapas de transporte associadas à vida do edifício e mesmo os processos de produção de energia consumida.



**Gráfico 3.1.1** – Ciclo de vida de um edifício.  
Adaptado de: *A Green Vitruvius* (2001, p. 39).

Aplicada à arquitetura, a análise do ciclo de vida pode ter o mesmo conceito de metabolismo circular defendido por Herber Girardet para as cidades:



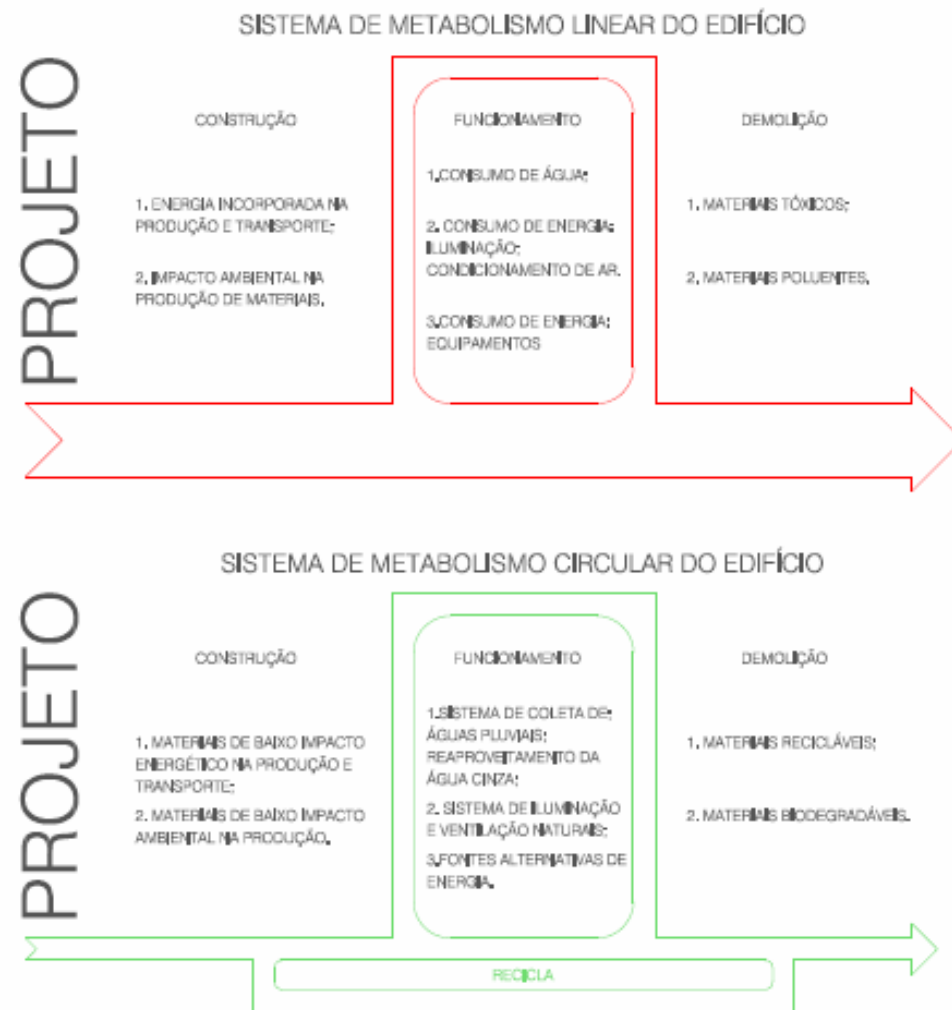


Gráfico 3.1.2 – O edifício de metabolismo linear e o edifício de metabolismo circular.

Tendo em vista o sistema de metabolismo circular do edifício (gráfico 3.1.2), verifica-se que a oportunidade de intervir no ciclo de vida do edifício de forma favorável ao meio ambiente está na fase de **projeto**:

*La importancia de adoptar criterios de proyecto basados en un adecuado conocimiento de los aspectos ecologicos es obvia. Las decisiones de proyecto y planeamiento que se adoptan en el momento presente no sólo tienen un efecto inmediato sobre la sociedad, sino que también pueden influir en la calidad ambiental que leguemos a las generaciones futuras. Sin embargo, la valoración y los criterios proyectuales han de basarse en lo que ya es conocido, y no en el desconocimiento o en la absoluta exclusión de las consideraciones ambientales (YEANG, 1999, p. 02)*

Portanto, o projeto de arquitetura que contemple as condições necessárias para proporcionar esse metabolismo circular no ciclo de vida de uma edificação poderá ser considerado sustentável, observadas três diretrizes que serão desenvolvidas nos próximos capítulos:

- quanto aos materiais empregados em sua construção e demolição;
- quanto à utilização da água em seu funcionamento;
- quanto à utilização de energia, tanto na construção quanto no funcionamento do edifício.

### 3.2. QUANTO À ESCOLHA DOS MATERIAIS

A escolha dos materiais de construção pode significar um maior ou menor impacto ambiental de uma edificação. Segundo Roaf (2006, p. 50):

Todos os materiais são processados de alguma maneira antes que sejam incorporados à edificação. O processo pode ser mínimo, como no caso da cabana tradicional construída com materiais encontrados na região, ou pode ser extensivo, como no caso da construção pré-fabricada. Esse processamento de materiais requer, inevitavelmente, o uso de energia e resulta em geração de resíduos.

É importante observar também o impacto ambiental causado na produção e transporte dos materiais na fase de construção, bem como o potencial de reciclagem e biodegradabilidade dos materiais na fase de demolição.

Portanto, de acordo com Yeang (2001, p.135), a seleção deverá se fazer atendendo aos seguintes critérios:

- a) potencial de reutilização e reciclagem do material;
- b) impacto sobre o meio ambiente na produção e transporte do material à obra;
- c) energia incorporada ao material em sua produção;
- d) toxicidade do material.

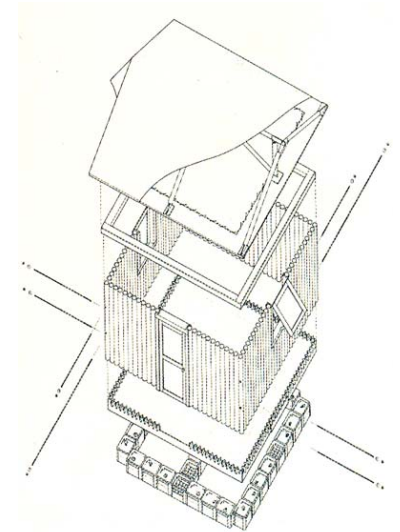
Para analisar o **potencial de reutilização e reciclagem do material** (figura 3.2.1), é preciso voltar ao ciclo de vida do edifício. No sistema econômico atual, ou seja, metabolismo linear, os materiais circulam em um só sentido, partindo de seus locais de origem, passando por sua transformação e industrialização para conversão em produtos que normalmente são considerados apenas como consumo. Despreza-se o fato de que em sua demolição, os materiais perduram no meio ambiente, muitas vezes com potencial de reutilização. Se esta circulação de materiais em um só sentido persistir como prática aceita, o aumento dos materiais residuais da construção produzirá uma acumulação progressiva e, a longo prazo, acabará por sobrecarregar a capacidade do meio ambiente de absorvê-los.

O potencial de reutilização dos materiais deve então ser considerado no projeto desde o início, podendo a reutilização ser **primária** (em sua forma original), ou **secundária** (em forma modificada).

Reutilização primária significa que o produto é reutilizado em sua forma e propósito originais, e que não requer nenhum processo adicional, por exemplo, uma viga metálica reutilizada como reforço estrutural em uma reforma. A reutilização secundária supõe a reutilização de um produto, só que com uso diferente, ou seja, que requer certa modificação.



**Figura 3.2.1** – Habitação de emergência  
Fonte: McQuaid (2003, p. 159)



**Figura 3.2.2**– Esquema de habitação:  
fundações de engradados de cerveja,  
pisos de pranchas de madeira, estrutura  
de tubos de papelão e teto de lona  
Fonte: McQuaid (2003, p. 159)

É necessário priorizar os potenciais de reutilização e reciclagem sobre o valor de energia incorporada, pois segundo Yeang (2001, p. 136), cada vez que se reutiliza um material, pode-se reduzir sua energia incorporada em aproximadamente 50%, ou seja, quanto mais vezes for reutilizado, maior a redução em sua energia incorporada.

A Universidade do Meio Ambiente, em Curitiba (Figura 3.2.1.1), construída no governo do prefeito Jaime Lerner, é um exemplo de reutilização secundária, pois utiliza uma estrutura de madeira circular construída de postes de telégrafos recuperados.

Yeang (2001, p. 141) discorre ainda sobre a utilização do concreto armado:

*La construcción en hormigón armado tiene casi la misma cantidad de energía incorporada que la de acero, pero es menos reciclable al final de su vida útil. Por lo general, el acero estructural puede ser reciclado y reutilizado prácticamente para su uso original, mientras que la mayor parte del hormigón sólo puede ser reutilizado en alguna forma degradada (p. ej., como cascotes) y sólo con limitaciones puede ser reciclado otra vez para su función estructural.*

No Brasil, construtoras já estão reciclando resíduos provenientes de demolições para fabricação de blocos de concreto, ladrilhos e argamassas, mas a reciclagem para utilização estrutural ainda não é viável. Alguns dados mostram a viabilidade da reciclagem na cidade de São Paulo, de acordo com reportagem de Fontes (2003):



**Figura 3.2.3** – Universidade do Meio Ambiente  
Fonte: Rogers; Gumuchdjan, (2001, p. 2-60)

- 65% dos 144 mil m<sup>3</sup> dos resíduos recolhidos por mês na cidade de São Paulo são constituídos por argamassa, concreto e telhas, que podem ser reciclados;
- 1m<sup>3</sup> de entulho reciclado pode se transformar em 227 blocos de concreto; com 5m<sup>3</sup> de entulho é possível erguer uma casa popular;
- até 100% de agregado reciclado pode ser adicionado ao concreto.

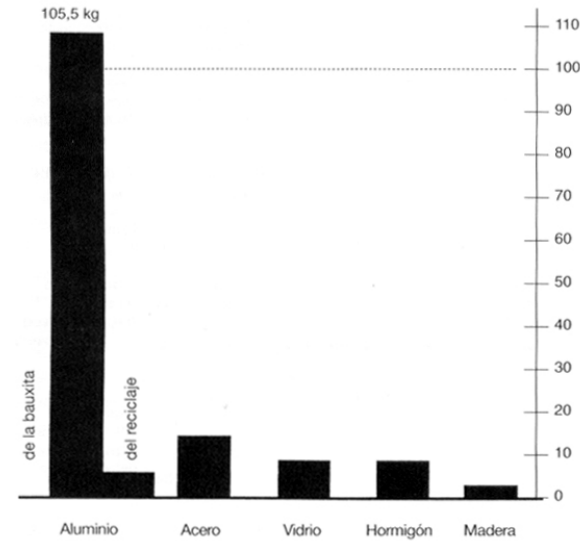
A incorporação de resíduos no processo produtivo de materiais, muitas vezes permite a redução da poluição gerada (no caso da produção de cimento, limita substancialmente a produção de dióxido de carbônico), além de permitir a fabricação de materiais com melhores características técnicas. Este é o caso da adição de microsilica, que viabiliza concretos de alta resistência mecânica e da escória de alto forno, que melhora o desempenho do concreto frente à corrosão por cloretos.

Esta prática também pode reduzir o consumo de energia, pois estes produtos freqüentemente incorporam grandes quantidades de energia em sua produção e transporte. No caso das escórias e pozolanas, estima-se que em 1996 a indústria cimenteira brasileira reduziu a geração de dióxido de carbono em 29% e gerou uma economia de combustível de 28% (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN; 2001, p. 5).

Já a madeira, além de ser um recurso natural renovável (desde que certificada como sustentável, ou seja, proveniente de manejo florestal ou de áreas de reflorestamento), pode ser utilizada para fins estruturais ou como revestimento interno e externo. Se for

pré-fabricada, promove uma rápida execução de obra e conseqüente redução de custos. Pode ser amplamente reutilizada, ou então, acabada sua vida útil, pode ser processada para painéis de compensados. Finalmente, se dispensada, é absorvida totalmente pela natureza.

Quanto à **energia incorporada** nos materiais, ainda não há informações exatas, pois para calcular precisamente essa energia, todos os estágios nos quais a energia é utilizada devem ser considerados (extração de materiais brutos, transporte, processamento, energia usada na fabricação, transporte ao sítio e energia usada *in loco*). No entanto há como estabelecer algumas comparações, conforme Roaf (2006, p. 58):



**Gráfico 3.2.1** - Custo energético dos materiais  
Fonte: YEANG (2001, p. 136)

Certos materiais, como plástico ou metais, têm energia incorporada muito alta por unidade de peso, mas, se usados em pequenas quantidades, podem trazer um benefício geral, por exemplo, fornecendo uma junta elegante entre materiais ou aumentando o vão que uma material, como a madeira, pode vencer, ou ainda aumentar a vida útil de um elemento.

Além disso, para diminuir o impacto sobre o meio ambiente decorrente da produção e transporte do material empregado em uma edificação, deve-se considerar a emissão de dióxido de carbono, a devastação do território e a contaminação dos cursos d'água.

A fabricação do cimento, como visto, emite grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera. O plástico, além de conter uma energia incorporada muito alta, é resíduo do petróleo, produto responsável também pela emissão de dióxido de carbono.

O quadro 3.2.1 apresenta estimativas do impacto ambiental de vários modos de transporte.

Emissões / g por t por km	Barco	Ferrovia	Estrada	V. Aérea
CO <sub>2</sub>	30	41	207	1206
CH <sub>4</sub>	0,04	0,06	0,3	2,0
NO <sub>x</sub>	0,4	0,2	3,6	5,5
CO	0,12	0,05	2,4	1,4
VOC	0,1	1,1	0,08	3,0
Energia / KJ por t por km	423	677	2890	15839

**Tabela 3.2.1** – Total de emissões e do uso de energia primária por diferentes modos de transporte de cargas.

Fonte: *A Green Vitruvius* (2001, p. 114)



O processo de extração de algumas matérias primas pode provocar grandes danos aos *habitats* locais, fazendo-se necessário priorizar os materiais cujos processos de extração causem menos danos ecológicos. É preciso investigar também os processos de fabricação e o impacto do material após o uso, para certificar-se que não haja contaminação do meio ambiente.

A utilização de materiais locais tem a vantagem de diminuir a energia utilizada em seu transporte, bem como a emissão de gases poluentes. Porém, é preciso contrapor as vantagens dessa economia com a possibilidade de reutilização do material, que, como visto anteriormente, reduz sua energia incorporada.

Quanto à **toxicidade**, deve-se estudar cada material utilizado na edificação, em particular suas especificações técnicas, processo de fabricação e rendimento, com a intenção de reduzir o conteúdo tóxico dos materiais e seu efeito sobre os seres humanos. De acordo com Yeang (2001, p. 143):

*La variedad de productos químicos presentes en los componentes de la construcción suele ser compleja, razón por la cual, en ocasiones, es preciso hacer complicados intercambios. Para facilitar la labor de toma de decisiones, es conveniente establecer ciertas prioridades. Por ejemplo, puede darse prioridad a la calidad del aire interior, ya que es la que afecta a los usuarios del edificio más directamente y es más fácil.*

Como exemplo, nos escritórios, deve-se atentar para a composição química de todo o mobiliário, divisórias, pisos e pinturas, para reduzir a presença de componentes tóxicos como formaldeídos, componentes orgânicos voláteis e outros produtos químicos prejudiciais à saúde. Sabe-se que o PVC (*Polyvinyl chloride*) emite produtos químicos altamente tóxicos ao ser incinerado, e, portanto, seu uso deve ser evitado.

Finalizando, a escolha dos materiais é um fator importante no ciclo de vida de uma edificação, e deve-se projetar para sua reutilização ou reciclagem, bem como mediar a utilização de materiais que exigem grandes quantidades de energia em sua produção e deslocamento, com sua influência na vida do edifício. No entanto, de acordo com a publicação *A Green Vitruvius* (2001, p. 113):

Ainda não existe um padrão comumente aceite para realizar a análise do ciclo de vida dos materiais... Mas é claramente importante conhecer a escala relativa dos diferentes impactes. Só então será possível estabelecer prioridades nas medidas para os reduzir. Em geral, os efeitos ambientais são proporcionais à massa física do material em questão. Assim, será provável que a escolha do material para a estrutura do edifício seja mais importante do que a escolha do revestimento do pavimento.

A prática mercadológica baseada na fixação de preços por custo de produção é um fator importante que precisa ser modificado. Segundo Rogers (2001, p. 155), o governo deve intervir no mercado para incluir fatores sociais e ambientais, a longo prazo, na equação econômica:

Os governos devem aplicar taxas ambientais ou impostos 'verdes' sobre atividades que afetem o meio ambiente, de maneira que esses custos sejam transferidos aos preços de compra dos produtos. Isto levaria as forças de mercado a caminhar em direção aos produtos 'verdes' e uniria as vantagens da reação do mercado com a habilidade de produzir eficiência e alcançar sustentabilidade.

Uma vez que a seleção dos materiais não deve ser preponderante a outros aspectos envolvidos no projeto de arquitetura, como a questão estética, a concepção estrutural e a própria disponibilidade financeira para o empreendimento, a elaboração de novos modelos econômicos que pressionem os fabricantes a desenvolver produtos adequados ambientalmente e acessíveis economicamente contribuirá para que, naturalmente, as opções desenvolvidas no projeto sejam as mais adequadas.

### 3.3. QUANTO À UTILIZAÇÃO DA ÁGUA

Essencial para a existência da vida no planeta, a água tende a ser cada vez mais um bem valioso pela sua escassez. Segundo Selborn (2002, p. 75):

A água é definitivamente um tema crucial, que precisa ser abordado com toda urgência. Durante o Segundo Fórum Mundial sobre a Água, esta mensagem foi transmitida em voz alta e com bom som, e recebeu uma resposta positiva da comunidade internacional, com a Declaração Ministerial de Haia sobre a Segurança da Água no Século 21, que dá início a um compromisso político de longo prazo para a solução dos problemas globais do recurso água, desenvolvendo colaboração e parcerias e criando um futuro seguro e sustentável para esse recurso.

De acordo com Roaf (2006, p. 238), “quatro fatores estão conspirando para tornar a água fresca um dos produtos primários mais valorizados do séc.XXI:”

- o crescimento populacional;
- as alterações climáticas;
- a intervenção do homem frente aos fluxos naturais de água;
- o aumento da poluição.

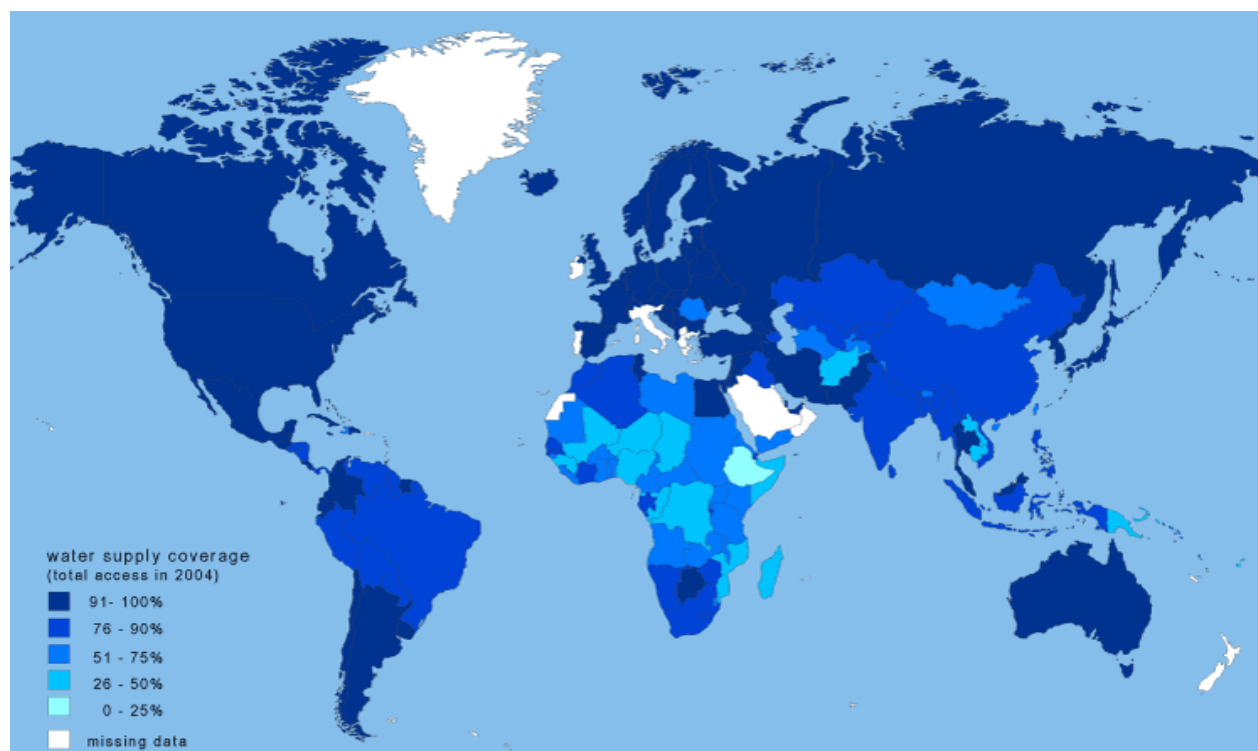
A água cobre aproximadamente 75% da superfície do planeta. Estima-se a quantidade de água no planeta em 1,39 bilhões de quilômetros cúbicos, e o maior volume, aproximadamente 95%, está nos oceanos (tabela 3.1.1). Do restante, 1,7% concentra-se nas calotas polares, geleiras e neve eterna; e 1,7% encontra-se em lagos, rios, córregos e solo. Por fim, 0,1% existe como vapor na atmosfera terrestre.

	Volume (1000 km <sup>3</sup> )	% de Água Total	% de Água Doce
Mares e Oceanos	1.338.000	96,5	-
Calotas Polares, Geleiras e Neve Eterna	24.064	1,74	68,7
Lençóis Freáticos	23.400	1,7	-
Doce	(10.530)	(0,76)	30,1
Salgada	(12.870)	(0,94)	-
Solo - Umidade	16,5	0,001	0,05
Solo e Subsolo Congelados	300	0,022	0,86
Lagos	176,4	0,013	-
Doce	(91,0)	(0,007)	0,26
Salgada	(85,4)	(0,006)	-
Atmosfera	12,9	0,001	0,04
Pântanos	11,47	0,0008	0,03
Rios	2,12	0,0002	0,006
Água Biológica	1,12	0,0001	0,003
Total	1.385.984	100,0	100,0

**Tabela 3.3.1** – Distribuição da Água no Planeta.  
Fonte: Gleick (1996)

Quanto ao acesso à água potável, Roaf (2006, p. 238) discorre:

Em 1990, a Organização Mundial da Saúde estimou que 1.230 milhões de pessoas não tivessem acesso à água potável. Em 2000, estimava-se que esse número houvesse crescido em mais 900 milhões de pessoas... Além destas questões, surge outra: a crescente demanda doméstica de água em todo o mundo... A demanda doméstica *per capita* de água deve crescer devido ao aumento projetado do uso de máquinas de lavar louça e outros eletrodomésticos, com um aumento de outros 4% devido à mudança climática...

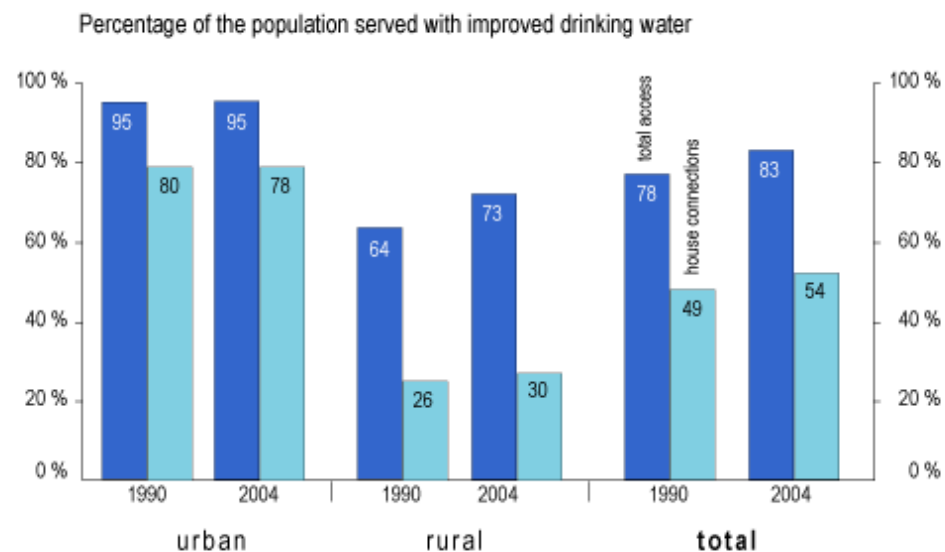


**Figura 3.3.1** – Fornecimento de água potável por país.

Fonte: WHO-UNICEF < [http://www.wssinfo.org/en/22\\_wat\\_global.html](http://www.wssinfo.org/en/22_wat_global.html) >  
último acesso: 11 dez 2007

Com relação ao consumo *per capita* aceitável para os padrões de qualidade de vida, Selborn (2002, p. 45) considera que:

A quantidade de água usada pelas pessoas varia, mas tende a aumentar com o padrão de vida. De modo geral, considera-se que 100 litros por pessoa por dia é o nível mínimo de consumo pessoal. No entanto, segundo o Banco Mundial, quando incluímos o uso agrícola e industrial da água, os países com consumo inferior a 1.700 metros cúbicos por pessoa por ano são considerados sob tensão no que respeita ao uso da água, e os que têm um consumo de menos de 1.000 metros cúbicos estão sofrendo escassez.



**Gráfico 3.3.1** – Fornecimento de água em 1990 e 2004

Fonte: WHO-UNICEF < [http://www.wssinfo.org/en/22\\_wat\\_global.html](http://www.wssinfo.org/en/22_wat_global.html) >  
último acesso: 11 dez 2007

O Brasil possui 13,7% de toda a água doce do planeta e, desse total, 7% encontra-se na região da bacia hidrográfica do rio Paraná, que inclui o rio Tietê. O Estado de São Paulo possui 1,6% da água doce brasileira.

Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no Brasil aproximadamente 85% da água doce disponível é empregada na agricultura, 10% na indústria e 5% para uso doméstico. Apesar de certa abundância no abastecimento do país, algumas regiões apresentam escassez da água, seja por questões climáticas, seja por má administração dos recursos hídricos.

No trecho da Região Metropolitana de São Paulo, o Tietê tem uma vazão média anual de água insuficiente para atender às necessidades de uma metrópole desse porte. Dos 625 municípios do Estado de São Paulo, 296 são atendidos por serviços municipais de saneamento e abastecimento. Os outros 329 são atendidos pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), que é a empresa responsável pelo abastecimento de água e pela coleta e tratamento de esgotos.

De acordo com Rocha (2003, p. 153):

A região metropolitana de São Paulo (localizada na bacia hidrográfica do Alto Tietê) é uma mostra dessa situação, levada ao paroxismo. Aqui a urbanização intensa e o uso desordenado da água acarretaram



quatro grandes problemas: as enchentes, a poluição extrema dos rios, córregos e represas, a vulnerabilidade dos mananciais e a produção de energia elétrica com desperdício das águas.

Grandes Regiões	Volume de água distribuída por dia (m <sup>3</sup> )					
	Total	Com tratamento de água			Sem tratamento	
		Total (1)	Tipo de tratamento			
			Convencional	Não convencional	Simplex desinfecção (cloração)	
Brasil	43 999 678	40 843 004	30 651 850	2 280 231	7 855 040	3 156 674
Norte	2 468 238	1 668 382	742 226	614 103	294 196	799 856
Nordeste	7 892 876	7 386 055	5 445 434	564 469	1 376 152	506 821
Sudeste	26 214 949	24 752 375	18 890 737	547 440	5 260 970	1 462 574
Sul	5 103 209	4 800 049	4 258 975	80 991	460 083	303 160
Centro-Oeste	2 320 406	2 236 143	1 314 478	473 228	463 639	84 263

**Tabela 3.3.2** – Volume de água distribuída por dia

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000).

Fica evidente a importância de sistemas de coleta e reaproveitamento das águas pluvial e servida e cuidados com o destino do esgoto das edificações urbanas, uma vez que o impacto de um projeto não se limita à sua implantação nos limites legais do terreno.

A primeira medida a ser adotada quanto ao consumo de água nas edificações é a utilização de tecnologias voltadas para a economia: vasos sanitários com caixa acoplada, que utilizam de 4 a 6 litros de água por descarga; controladores de fluxo de água quente e fria, que permitam a interrupção do fluxo sem perder a temperatura; chuveiros de baixo consumo; detectores automáticos de vazamento, reguladores de fluxo, etc.

A captação das águas pluviais é importante, pois diminui o consumo de água das concessionárias públicas, considerando que consome-se entre 30% e 40% da água potável tratada com flúor para fins menos nobres como descargas de bacias sanitárias (Roaf, 2006, p. 241).

A utilização das águas da chuva pode ainda implicar em uma economia global de aproximadamente 15% do consumo de água pública. No Japão, o consumo de água não-potável em edifícios pode chegar a 30% do consumo total. O regulamento do governo metropolitano de Tóquio, de 1984, obriga todo edifício com área construída acima de 30.000m<sup>2</sup>, ou cujo consumo de água não-potável for maior que 100m<sup>3</sup>/dia, a aproveitar a



**Figura 3.3.2** – Implantação do sistema de recuperação das águas da chuva em Postdamer Platz, Berlim; arquiteto Renzo Piano.  
Fonte: Gauzin-Müller (2003, p.51)

água da chuva ou reutilizar a água tratada proveniente de esgoto sanitário (Tomaz, 2005, p. 17).

O reaproveitamento das águas pluvial e servida pode acontecer de forma direta, com um mínimo de tratamento, ou como reciclagem, ou seja, através de um processo de tratamento. As duas formas são descritas por Roaf (2006, p. 241):

O reaproveitamento direto geralmente é uma opção de baixo custo, mas exige uma boa avaliação e equivalência de qualidade entre os recursos e o lavatório, para evitar a necessidade de tratamento e armazenagem. Reciclar introduz a necessidade de energia extra e, possivelmente, de produtos químicos para o tratamento da água.

Ainda segundo Roaf (2006, p. 247), são necessárias precauções quanto à utilização da água da chuva:

Apesar de relativamente limpa, a água da chuva pode ser mais problemática do que o esgoto, devido aos altos picos de fluxo que podem sobrecarregar as estações de tratamento que recebem conjuntamente os esgotos sanitários. O uso de superfícies impermeáveis, como calçadas, ruas e estacionamentos de carros, evita que a água da chuva seja naturalmente absorvida pelo solo e, em vez disso, cria um escoamento que contém poluentes como fezes de animais, alcatrão e combustíveis e óleos de veículos.

Para as cidades, a situação mais preocupante é a enorme quantidade de esgoto produzido e despejado sem tratamento em rios e lagos, além da possibilidade de

contaminação dos lençóis freáticos. Com o crescimento desordenado das metrópoles, a pressão sobre os recursos hídricos se torna cada vez maior.

Roaf (2006, p. 246) considera que “sistemas de águas servidas podem resultar na conservação dos recursos de água e reduzir a demanda do fornecimento de água pública, bem como de coleta de esgoto e estações de tratamento”:

O reaproveitamento de águas servidas reduz potencialmente a necessidade de uso de água potável em aplicações não-potáveis, com a água sendo efetivamente usada duas vezes antes de ser lançada ao esgoto. O principal uso em potencial é para descarga de vasos sanitários, rega de jardins e lavagem de carros em algumas partes do mundo, todas funções para as quais o uso de água potável pura é desnecessário.

Um projeto de edificação que contempla a utilização desses equipamentos; com as técnicas adequadas para reutilizar a água servida para vasos sanitários, lavagem de pisos externos e irrigação, contribuirá para a diminuição do lançamento de esgoto na rede pública permitindo uma infra-estrutura pública menos onerosa e mais eficiente; ao mesmo tempo diminuindo o consumo das reservas hídricas.

Entretanto, nota-se que minimizar a utilização da água através da conscientização e emprego de equipamentos de baixo consumo tem uma maior viabilidade tecnicamente do que projetar sistemas de reuso e reciclagem:

É importante minimizar o uso da água nos projetos antes de adotar esquemas de reciclagem... Águas servidas podem ser muito sujas! Altos níveis de contaminantes e bactérias (inclusive coliformes fecais) podem estar presentes e ela necessita tratamento cuidadoso... Sistemas de reciclagem de águas servidas irão exigir manutenção e monitoramento cuidadosos e o controle sobre detergentes, produtos químicos etc. é transferido às águas servidas. Isso requer a aceitação de grande responsabilidade por parte dos usuários do sistema (ROAF, 2006, P. 258).

“A tecnologia de reciclagem de águas servidas envolve uma ampla gama de disciplinas, de microbiologia a serviços de engenharia de edificações. Nessas circunstâncias, é muito mais difícil oferecer uma solução técnica direta aos problemas do projeto”.(ROAF, 2006, p. 259)

### 3.4. QUANTO À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA

Analisando o ciclo de vida de uma edificação, utiliza-se energia em sua construção (na fabricação e transporte dos materiais e na construção propriamente dita), e em seu funcionamento (para realização e ambientação das atividades humanas).

As questões relacionadas à energia utilizada na fase de construção do edifício, como a energia incorporada aos materiais, são questões que merecem a atenção do projetista, mas dependem do desenvolvimento de um mercado ambientalmente adequado, além de outros fatores de ordem técnica.

Portanto, torna-se prioridade para a arquitetura trabalhar a sustentabilidade quanto à questão energética no funcionamento dos edifícios, através de projetos que privilegiem sistemas passivos e produtivos de energia; e por estratégias de otimização energética (PAULA, 2005) que se dividem em dois tipos: otimização por uso racional e gerenciamento energético e otimização por aumento de eficiência dos equipamentos envolvidos.

Assim como se faz a seleção de materiais e componentes para a construção dos edifícios, faz-se necessário estudar os meios técnicos disponíveis para os sistemas operativos (YEANG, 2001) passivos, ativos e produtivos, procurando a seguinte ordem de prioridade:

a) sistemas passivos de uso de energia (sistemas que não utilizam aparatos eletromecânicos). Como exemplos:

- orientação da edificação e sua implantação no terreno;
- desenho da fachada e dispositivos de controle solar;
- dispositivos passivos de iluminação e ventilação naturais.

b) sistemas ativos, com baixo consumo de energia e pouco impacto ambiental, através das estratégias de otimização energética:

- monitoramento e controle dos dispêndios energéticos;
- controle de iluminação por zonas de iluminância;
- atendimento de elevadores por proximidade;
- produção noturna de gelo para alimentar o sistema de condicionamento de ar.

c) sistemas produtivos, ou seja, que geram energia *in situ*. Das fontes de energia produtivas com possibilidade de aplicação na arquitetura, duas se destacam:

- energia solar;
- energia eólica.

Os sistemas operativos serão estudados com mais detalhes nos capítulos 4.2 e 4.3.

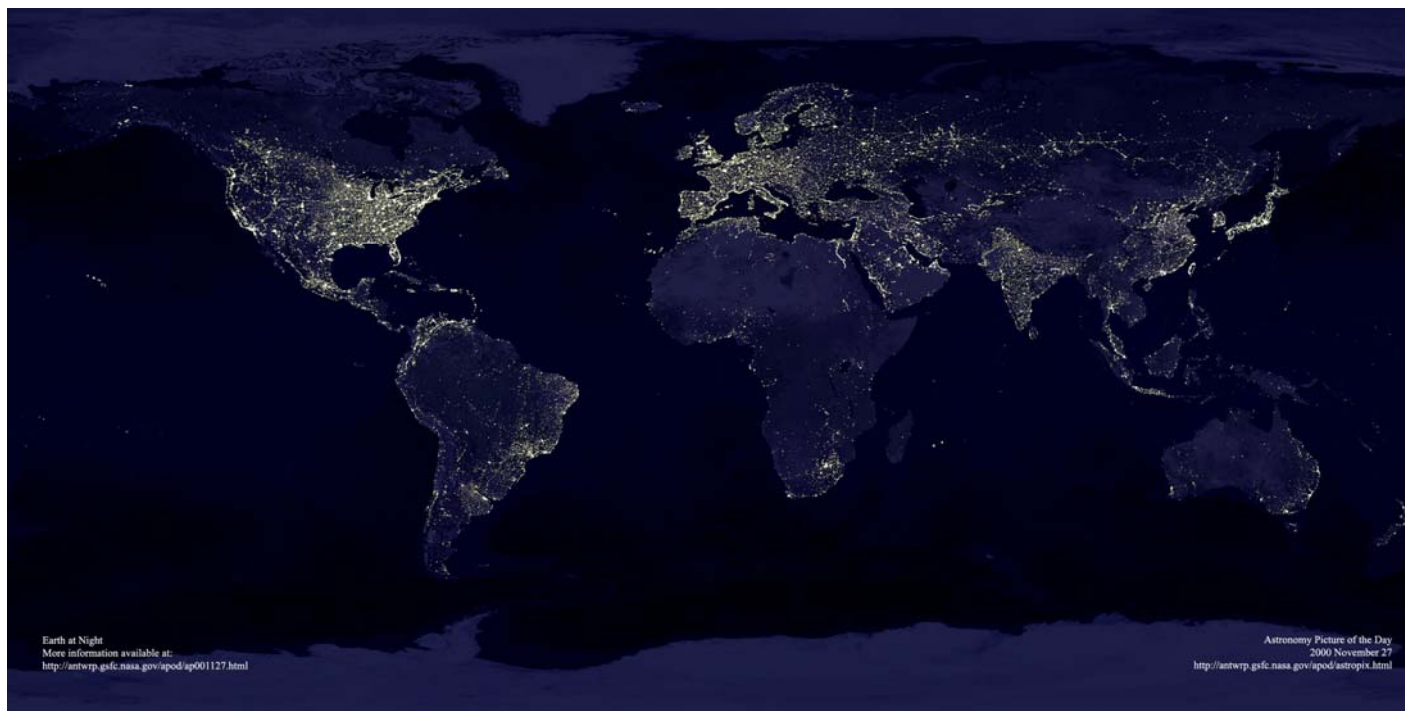
## ARQUITETURA E ENERGIA

O desenvolvimento científico e tecnológico e a ecologia, inteligentemente confrontados, são sempre compatíveis.  
(LÚCIO COSTA)



#### 4. ARQUITETURA E ENERGIA

Dentre as necessidades e demandas crescentes de nossa sociedade, está o consumo de energia, que, na atividade contemporânea mundial, aproxima-se dos níveis nos quais a possibilidade de efeitos irreversíveis sobre o clima da Terra começa a constituir uma preocupação. Para compreender o quanto o mundo depende da produção energética, é necessário definir o que vem a ser energia e qual a sua relação com o homem.



**Figura 4.1** – Terra a noite  
Fonte: <<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>>  
Acesso em: 22 out 2007

Energia é uma palavra que significa atividade, tendo sua origem do grego “energós”, que significa “ativo”. No entanto, a palavra grega se divide em “en” (em) e “ergon” (trabalho) de forma que energia pode ser definida como algo com trabalho em si (ASIMOV, 1972).

Biologicamente, vida e energia estão intrinsicamente relacionados a partir do momento em que realizamos um esforço ou, cientificamente falando, realizamos trabalho. A energia é algo requerido para que um ser vivo seja capaz de realizar um esforço.

O homem, dispendendo sua energia para realizar algum trabalho, pode fazê-lo até certo limite. Para aumentar sua eficiência no uso da energia, recorreu à utilização de objetos externos, as ferramentas, que, a partir do momento em que passaram a ser manufaturadas, tornaram-se máquinas.

No entanto, para uma máquina realizar um trabalho acima das possibilidades do esforço humano, outras formas de energia, que não a do homem, passaram a ser utilizadas; primeiro, com a domesticação de animais, posteriormente, com a transformação da energia encontrada na natureza. A partir deste momento, a humanidade tornou-se extremamente dependente da produção energética para exercer suas atividades.

Mesmo antes das tecnologias de geração de energia, a questão energética esteve sempre relacionada à arquitetura. Segundo Mascaró (1983, p. 12):

Através do tempo, o uso da energia na edificação evoluiu, produzindo edifícios de diferentes características energéticas segundo as disponibilidades e restrições do espaço-tempo... quando a disponibilidade de energia era restrita, o homem otimizava o seu uso, maximizando a aplicação dos recursos disponíveis...

Quando a disponibilidade de energia era restrita, otimizava-se seu uso, maximizando a aplicação dos recursos disponíveis, conforme argumenta Romero (1997, p. 1.20):

Se de um lado experimentamos o avanço espetacular da ciência em praticamente todas as áreas, por outro lado assistimos à separação de um casamento praticamente perfeito e que vem dando resultado a cerca de 10.000 anos, que é o da arquitetura com o clima.

Com o desenvolvimento das tecnologias de condicionamento de ar e das cortinas de vidro após a Segunda Guerra Mundial, houve uma mudança de critérios quanto ao modo de projetar. Havia a possibilidade de controlar a natureza, como afirma Costa (1983, p. 4):

Pois, com efeito, se nos países nórdicos o aquecimento central durante o inverno é considerado coisa natural e não um desperdício, por que nas terras de clima tórrido ou de castigado verão não se admitir a contra-partida capaz de neutralizar o *handicap* que impossibilita ali atividade em condições normais de bem-estar? E por que, em vez de revestir os arranha-céus de alto a baixo com espessas

placas de arenito ou calcário, como no Centro Rockefeller, por exemplo, não admitir que a indústria produza, em série, fortes painéis de aço ou de bronze, para que, fixados à estrutura dos pisos, neles se prendam lisas chapas de vidro plano, transformando-se assim, nesse passe de mágica, a densa massa edificada num imponderável prisma cristalino a refletir as nuvens e o céu?

Mas o fato é que o Brasil possui ampla diversificação climática, do clima equatorial úmido, passando pelo clima tropical tanto úmido como seco, até o clima subtropical. São Paulo, cuja área metropolitana passa pelo Trópico de Capricórnio, tem clima tropical de altitude, com temperaturas médias anuais que variam entre 20°C e 24°C.

A tecnologia dos arranha-céus de vidro foi adotada no país sem que houvesse uma adaptação às condições climáticas locais. Nos países europeus, de clima temperado e polar como a França, Alemanha, Holanda e Finlândia, o grande problema é captar toda a energia disponível para aquecer os ambientes, o que torna a fachada de vidro extremamente funcional.

A partir desse contexto evidenciou-se a chamada “arquitetura bioclimática”. Para Corbella (2003, p. 16) “a Arquitetura Sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-la parte de um conjunto maior”.

Observa-se que arquitetura sempre esteve relacionada com as questões climáticas conforme observa Romero (1997, p. 1.6):

... se houve a necessidade de caracterizar uma arquitetura 'bioclimática', pressupõe-se que existe uma arquitetura 'não bioclimática'. Porém, será que é este o caminho adequado às condicionantes climáticas e geomorfológicas do sítio onde está inserida? Certamente que não.

#### 4.1. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS E SUAS ABORDAGENS QUANTO À ENERGIA

Estudos e métodos para avaliação ambiental de edifícios têm se baseado nos procedimentos de avaliação dos impactos ambientais de processos ou produtos industrializados. A metodologia apropriada para esta finalidade é a análise do ciclo de vida, citada no capítulo 3.1.

O conceito de análise do ciclo de vida tem sustentado o desenvolvimento das metodologias para avaliação ambiental de edifícios e, a partir da ECO'92 (Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada na cidade do Rio de Janeiro), estas metodologias têm se desenvolvido como parte das estratégias para o cumprimento das metas ambientais. Desde então, Estados Unidos, Canadá, Japão, Hong Kong e praticamente toda a Europa já desenvolveram um sistema de avaliação de edifícios quanto ao desempenho ambiental.

Silva (2003, XVIII) argumenta sobre os objetivos dos sistemas de avaliação.

Todos estes métodos partilham o objetivo de encorajar a demanda do mercado por níveis superiores de desempenho ambiental, provendo avaliações ora detalhadas, para o diagnóstico de eventuais necessidades de intervenção no estoque construído; ora simplificadas, para orientar projetistas ou sustentar a atribuição de selos ambientais para edifícios. E todos eles concentram-se exclusivamente na dimensão ambiental da sustentabilidade.

O primeiro sinal da necessidade de se avaliar o desempenho ambiental de edifícios veio exatamente com a constatação que, mesmo os países que acreditavam dominar os conceitos de projeto ecológico, não possuíam meios para verificar a sustentabilidade real de seus edifícios, conforme avalia Silva (2003, p. 34):

Como seria comprovado mais tarde, edifícios projetados para sintetizar os conceitos de construção ecológica, freqüentemente consumiam ainda mais energia que aqueles resultantes de práticas comuns de projeto e construção.

Seguem abaixo os principais sistemas de avaliação ambiental que promovem a construção sustentável através de mecanismos de mercado:

- **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), sistema de avaliação pioneiro;
- **HK-BEAM** (Hong Kong Building Environmental Assessment Method);
- **LEEDTM** (Leadership in Energy and Environmental Design);
- **CASBEE** (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency).

Estes sistemas foram elaborados para serem empregados por projetistas e têm normalmente como estrutura uma lista de verificação. Para divulgar o reconhecimento do mercado, todos são vinculados a algum tipo de certificação de desempenho.

Atualmente, diversos países já desenvolveram um sistema de avaliação ambiental:

País/região	Instituição	Iniciativa
Austrália	<i>Sustainable Technology / BHP (Steel) Research</i>	LISA (LCA in Sustainable Architecture), software LCA
	<i>Department of Public Works and Services, da cidade de Sidney</i>	LCAid, software de auxílio a projetistas
	<i>Environment Australia (Department of the Environment and Heritage)</i>	NABERS (National Australian Building Environment Rating Scheme)
Estados Unidos	<i>US Green Building Council (USGBC)</i>	LEED™ (Leadership in Energy and Environmental Design)
	Administrações municipais e estaduais	Greenbuilder (Austin, Texas) High Performance Building Guidelines (New York City, New York) Minnesota Sustainable Design Guide - MSDG (Estado de Minnesota)
Europa	<i>Building Research Establishment (BRE), no Reino Unido</i>	BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)
	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) e Universidade de Savoy, na França</i>	ESCALE
	<i>Centre for Building Environment (CBE) do Royal Institute of Technology (KTH<sup>21</sup>), na Suécia</i>	Environmental Status of Buildings e Eco-effect
	<i>Danish Building and Urban Research (BYogBIG<sup>22</sup>), na Dinamarca</i>	BEAT 2002
	<i>Finnish Association of Building Owners and Construction Clients (RAKLI), na Finlândia</i>	PromisE
	<i>Building Research Institute (NBI<sup>23</sup>), na Noruega</i>	Eco-Profile
	<i>W/E consultants e Municipalidade de Rotterdam, Holanda</i>	Rotterdams Puntensysteem
Canadá	<i>Environmental Research Group, da British Columbia University</i>	BEPAC (Building Environmental Performance Assessment Criteria)
	<i>National Resources Canada – NRCan</i>	CBIP, C-2000 e início do processo <i>Green Building Challenge</i> (GBC)
Japão	<i>Japan Sustainability Building Consortium (JSBC)</i>	CASBEE
	<i>Building Research Institute</i>	BEAT (Building Environmental Assessment Tool)
Hong Kong, China	<i>Centre of Environmental Technology, Ltd</i>	HK-BEAM

**Tabela 4.1.1** - Iniciativas relacionadas ao desenvolvimento de metodologias de avaliação de edifícios.  
Fonte: Silva (2003, p.11)



As circunstâncias que resultaram na criação dos diversos sistemas, assim como suas aplicações, vão desde ferramentas de apoio ao projeto até ferramentas de avaliação pós-ocupação.

No Brasil, existem várias discussões para o desenvolvimento de um sistema de avaliação ambiental apropriado. No entanto, estudos indicam que a aplicação de sistemas estrangeiros mostraram-se inadequados para a aplicação no país.

A inviabilidade deve-se à diversidade. Questões culturais, crescimento econômico, extensão territorial e natureza climática com muita radiação ao longo do ano e com variações que vão das regiões litorâneas às montanhas, dos planaltos e semi-áridos às regiões pantaneiras, campos subtropicais e florestas equatoriais (AMODEO et al., 2006, p. 2)

Enquanto isso, o LEED tem sido o sistema mais utilizado pelos empreendedores brasileiros, uma vez que os sistemas nacionais ainda estão em discussão.

O LEED se constitui em um documento consensual aprovado pelas indústrias e apoiado pelas associações dos fabricantes de materiais e produtos, com o objetivo de avaliar o desempenho ambiental do edifício de forma global. É, portanto, um meio termo entre os critérios prescritivos e a especificação do desempenho estruturado através de um *checklist* (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003, p. 9).

<b>Categorias (% total de pontos)</b>	<b>Pré-requisitos (7 PReq)</b>	<b>Pontos (máx 69 pts)</b>
<b>Sítios sustentáveis (20%)</b>		<b>até 14 pts</b>
1. Seleção de área	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Controle de erosão e sedimentação</li> </ul>	01
2. Redesenvolvimento urbano		01
3. Redesenvolvimento de áreas contaminadas ( <i>brownfields</i> )		01
4. Transporte alternativo		até 04
5. Redução de perturbação no sítio original		até 02
6. Gestão de água da chuva		até 02
7. Paisagismo e projeto de áreas externas para redução de ilhas de calor		até 02
8. Redução de poluição luminosa		01
<b>Uso eficiente de água (7%)</b>		<b>até 05 pts</b>
1. Paisagismo com uso eficiente de água		até 02
2. Tecnologias inovadoras para reutilização de água		01
3. Conservação de água		até 02
<b>Energia e atmosfera (25%)</b>		<b>até 17 pts</b>
1. Otimização do desempenho energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificação de conformidade pré-entrega (<i>commissioning</i>)</li> <li>▪ Eficiência energética mínima</li> <li>▪ Redução de CFCs nos equipamentos de condicionamento e ventilação artificial</li> </ul>	02 a 10
2. Uso de energia renovável		até 03
3. Verificação de conformidade pré-entrega adicional (01 ponto)		01
4. Redução de HCFC <sup>21</sup> e <i>Halons</i> (dano à camada de ozônio)		01
5. Mensuração e verificação de desempenho		01
6. Uso de tecnologias renováveis e de poluição zero: solar, eólica, geotérmica, biomassa e hidrelétricas de baixo impacto		01
<b>Materiais e recursos (19%)</b>		<b>até 13 pontos</b>
1. Reutilização de edifício	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coleta e armazenamento de material reciclável produzido pelos usuários do edifício</li> </ul>	até 03
2. Gestão de RCD		até 02
3. Reutilização de recursos		até 02
4. Materiais com conteúdo reciclado		até 02
5. Materiais regionais/locais		até 02
6. Materiais rapidamente renováveis		01
7. Uso de madeira certificada		01
<b>Qualidade do ambiente interno (22%)</b>		<b>até 15 pts</b>
1. Monitoramento de CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Qualidade do ar interno mínima</li> <li>▪ Controle ambiental de fumaça de cigarros</li> </ul>	01
2. Aumento eficiência de ventilação		01
3. Plano de gestão de qualidade do ar interno durante o processo de construção		até 02
4. Materiais com baixa liberação de VOCs <sup>22</sup>		até 04
5. Controle de poluição interna por origem química		01
6. Controlabilidade dos sistemas pelos usuários		até 02
7. Conforto térmico		até 02
8. Luz natural e vista para o exterior		até 02
<b>Inovação e processo de projeto (7%)</b>		<b>até 05 pontos</b>
1. Inovação (estratégias de projeto e uso de tecnologias)		até 04
2. Envolvimento de profissional habilitado pelo LEED™		01

**Tabela 4.1.2** – Estrutura de avaliação do LEED  
Fonte: Silva (2003, p.53)

O gráfico 3.4.1 expõe os principais sistemas de avaliação e sua porcentagem quanto aos créditos ambientais.

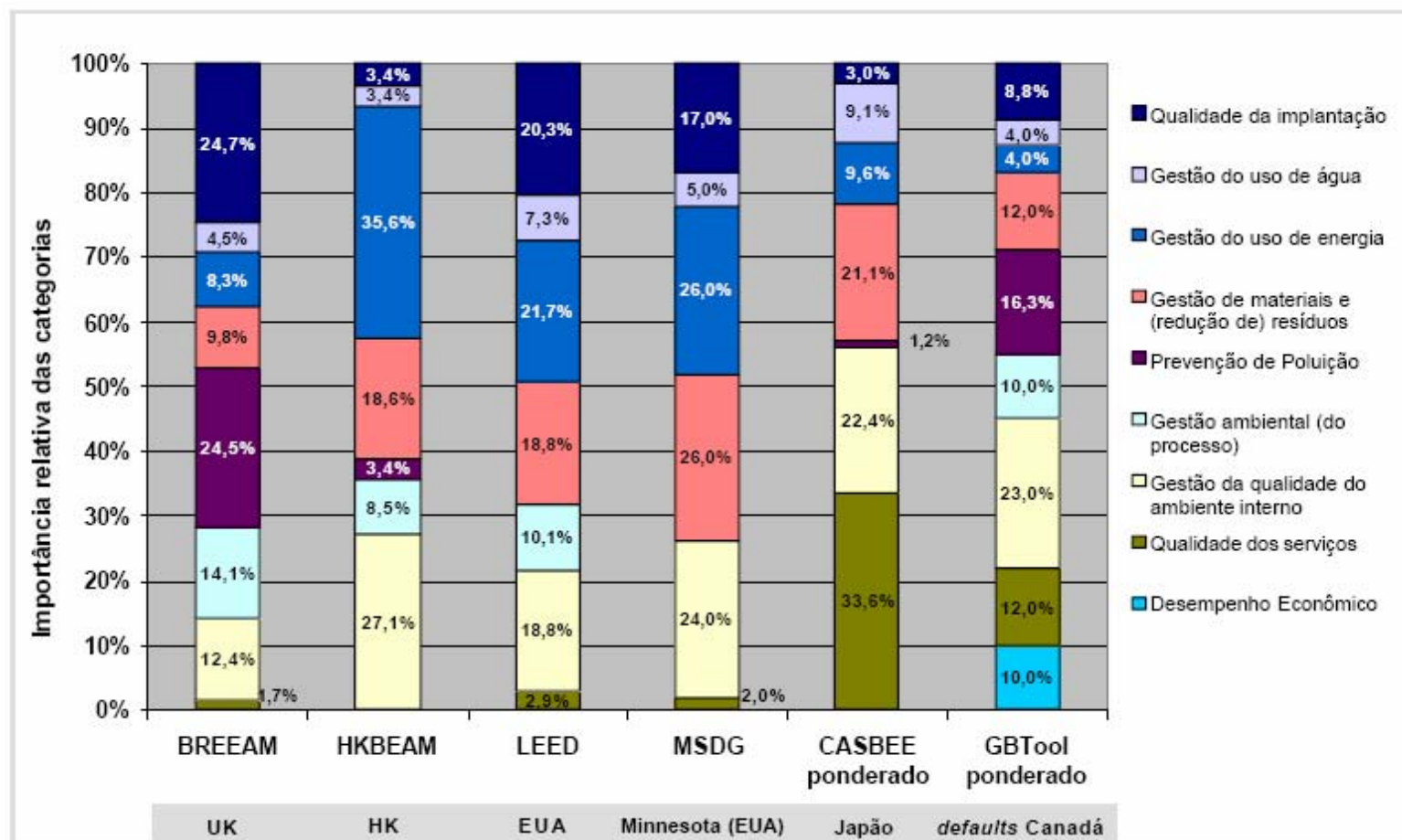


Gráfico 4.1.1 - Distribuição dos créditos ambientais do BREEAM, HKBEAM, LEEDTM, MSDG, CASBEE e GBTool, após normalização.  
 Fonte: Silva, 2003, p. 65

Observa-se que é grande a disparidade com relação a todos os critérios. “Os métodos são diferentes porque refletem expectativas de mercado, práticas construtivas e, principalmente, agendas ambientais diferentes para cada país” (SILVA, 2003, P. 66).

Verifica-se, no entanto, a grande importância em todas as metodologias dos créditos relacionados à ‘gestão do uso da energia’, e à ‘gestão de qualidade do ambiente interno’, que envolve questões como conforto ambiental.

Não há dúvida que a elaboração de uma metodologia brasileira de avaliação ambiental de edifícios deverá considerar como uma questão central a eficiência energética.

## 4.2. SISTEMAS PRODUTIVOS DE ENERGIA

A energia solar é uma fonte inesgotável e gratuita de energia, assim, pode representar uma solução para parte dos problemas de escassez de energia que abala o mundo. Em países como o Brasil, que apresentam elevadas extensões territoriais e estão situados em zonas tropicais, ou seja, dispõem de alta incidência de radiação, esta fonte de energia pode ser aproveitada ao máximo, através do desenvolvimento de tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia térmica, elétrica, química, mecânica, etc.

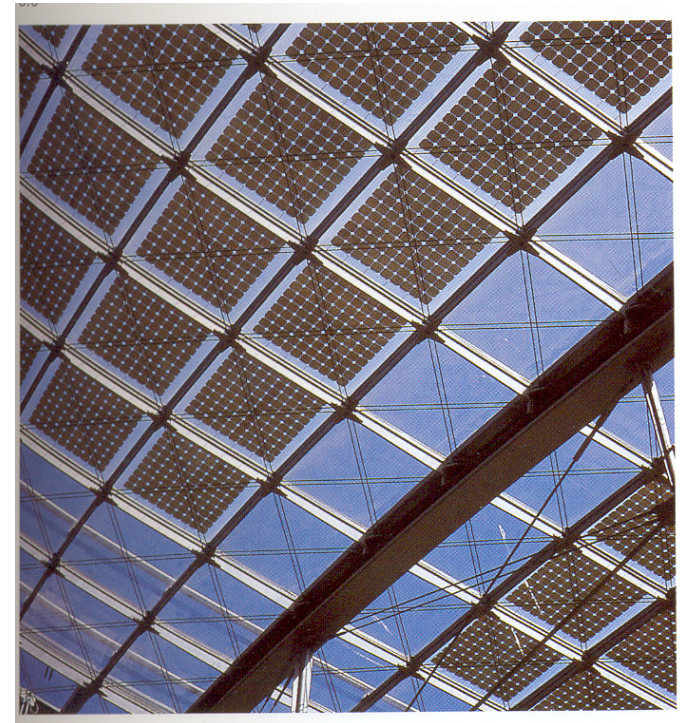
As aplicações mais difundidas da tecnologia solar referem-se à conversão da radiação solar em energia térmica e em energia elétrica. Pode-se citar:

- Aquecimento de água, através de coletor solar;
- Secagem de produtos agrícolas;
- Geração de vapor;
- Refrigeração;
- Conversão fotovoltaica: bombeamentos, iluminação, refrigeração, etc.

Comprovada sua rentabilidade, o sistema de aquecimento solar para a produção de água para fins sanitários foi desenvolvido nos anos setenta e tem sido aperfeiçoado. Os captadores transformam a radiação do sol em calor, que é transportado e armazenado em um depósito, para ser distribuído pela edificação.

Para conversão **fotovoltaica**, existem quatro tipos principais de células fotovoltaicas com diferentes coeficientes de eficiência (Schittich, 2003):

1. Células de silício monocristalinas, com rendimento de 18%, utilizam o silício, um semicondutor caro e que consome mais energia em seu processamento.
2. Células de silício policristalinas, com rendimento de 16%, utilizam um silício de qualidade metalúrgica, mais econômico.
3. Células fotovoltaicas amorfas opacas, com rendimento de 10% e semi-transparentes, com rendimento de 4%. Seu processo de fabricação requer menos material que as outras, e o produto obtido pode ser aplicado na forma de película em diversos materiais, como vidro, resultando uma maior integração arquitetônica.
4. Células policristalinas (transparentes), são uma nova tecnologia com implicações para acuidade visual. Elas criam a impressão de células transparentes, têm um grande potencial técnico e estético. São econômicas em termos de consumo material, e eficiente em termos energéticos.



**Figura 4.2.1** – Módulos fotovoltaicos integrados à cobertura de vidro servindo também como sistema de sombreamento  
Fonte: Schittich (2003, p. 31)

**Sistemas interligados à rede elétrica** dispensam o uso de acumuladores, pois atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras.

Podem ser do tipo central fotovoltaica, ou integradas ao prédio urbano. No primeiro caso, a planta fotovoltaica está normalmente situada em áreas relativamente afastadas dos centros urbanos como ocorre com usinas geradoras de eletricidade convencionais, pois as relativamente grandes superfícies envolvidas requerem áreas de baixo custo para que a instalação seja economicamente viável.

Áreas desertas são muitas vezes utilizadas neste tipo de instalação. Os sistemas integrados a prédios urbanos, por outro lado, são incorporados à fachada ou ao telhado do prédio, sendo o único pré-requisito uma orientação solar favorável. Em sistemas fotovoltaicos residenciais interligados à rede elétrica, sempre que o sistema gerar energia excedente em relação ao consumo da residência, este excesso é injetado na rede elétrica pública, e o relógio medidor de consumo gira ao contrário.

A geração fotovoltaica pode, neste caso, apresentar vantagens à concessionária elétrica local, no sentido de aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais.



**Figura 4.2.2** – Casa de baixa energia em Bregenz (2001), Daniel Sauter  
Fonte: Schittich (2003, p. 33)

A **energia eólica**, assim como a água, foi uma das fontes de energia mais utilizadas pelo homem. Há indicações, a partir do século X, que apontam o uso de moinhos de vento para bombear água e moer grãos.

Com a Revolução Industrial, os moinhos de vento sofreram modificações para se adaptar à velocidade constante necessária para manter o ritmo de produção. Neste período são criados os primeiros sistemas de controle e de potência que permitiram aperfeiçoar e integrar os moinhos de vento a estas unidades produtivas.

A descoberta de novas tecnologias e o aperfeiçoamento desses sistemas evoluíram até chegar às atuais turbinas eólicas que vem sendo empregada em larga escala nos países desenvolvidos desde o início da década de 1990, normalmente com subsídios governamentais (figura 4.2.1).

As turbinas eólicas transformam a energia cinética em energia mecânica. Esta pode ser utilizada diretamente, por exemplo como bomba d'água, ou transformada em energia através da turbina propriamente dita. Segundo Gauzin-Müller (2003), estima-se que é necessária uma velocidade de vento mínima de 5 m/s para viabilizar a instalação de uma turbina eólica.



**Figura 4.2.3** – turbina eólica que proporciona abastecimento de energia em uma área de serviço na Dinamarca.  
Fonte: Gauzin-Müller (2003, p. 103)



Na costa oeste dos Estados Unidos, no norte da Alemanha e na Dinamarca, a energia eólica funciona como complemento à geração elétrica convencional.

O abastecimento de energia do Liceu de Calais, na França, (figura 4.2.2) é parcialmente assistido por uma turbina eólica de 135 kW de potência máxima. A energia excedente é vendida à companhia de energia local.



**Figura 4.2.4** – turbina eólica produz parte da energia consumida no edifício do Liceu de Calais.  
Fonte: Gauzin-Müller (2003, p. 198)

A região litorânea brasileira, em particular no Nordeste em função dos regimes de bons ventos, é considerada apta para instalação de parques eólicos.

A utilização da célula combustível de hidrogênio para a geração de energia elétrica e propulsão de veículos, devido à alta eficiência e as baixíssimas emissões de ruído e poluentes, pode vir a ser um dos grandes avanços tecnológicos da próxima década.

De maneira semelhante às baterias, essas células convertem a energia química de um combustível em eletricidade na forma de corrente contínua. No entanto, não descarregam nem necessitam de recarregamento periódico; a produção de eletricidade se mantém enquanto existir suprimento de combustível e de oxidante para formar a reação. Como a essência do processo é inversa ao da hidrólise, os

produtos gerados são basicamente energia elétrica, calor e água, e uma quantidade muito reduzida de poluentes (óxidos de nitrogênio e enxofre, hidrocarbonetos e carbono).

Apesar de existirem por volta de 200 instalações no mundo (GAUZIN-MÜLLER, 2003), a tecnologia das células combustíveis encontra-se em fase de estudos e protótipos, já que seu custo é muito elevado. No entanto, seu desenvolvimento tem sido rápido, pois interessa à indústria e a produtores de energia. Um projeto piloto está em andamento na cidade de Chelles, na França, onde 200 famílias são abastecidas de energia através de uma célula de ácido fosfórico com uma potência de 200 kW.

### 4.3. SISTEMAS PASSIVOS DE ENERGIA

Considerando que a energia da produção contida em um edifício é aproximadamente 35% de toda a energia empregada em seu ciclo de vida (Yeang, 2001, p. 141), a maior quantidade se emprega durante seu funcionamento, o que significa que se deve conceder maior importância ao desenho passivo da edificação para que se possa aproveitar ao máximo a energia ambiental, como a iluminação e ventilação naturais.

Não deveria ser problema para a arquitetura sua adequação quanto ao desempenho passivo, conforme argumenta Romero (1997, p. 1.6), em sua tese de livre docência “Arquitetura, Comportamento e Energia: análise do desempenho energético e do nível de satisfação dos usuários em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo, utilizando-se procedimentos da avaliação pós-ocupação”:

A proposta da arquitetura e sua função mais básica e rudimentar é a função de “abrigo” e associada a ela está a minimização das condições climáticas exteriores, e desta forma a arquitetura é por si só “bioclimática” [...] a utilização de técnicas passivas nada mais é do que diretrizes regionais e climáticas para os edifícios.

Ainda segundo o autor, os chamados “edifícios inteligentes” exibem como qualidades a minimização dos dispêndios energéticos por meio de uma quantidade cada vez maior de fios e cabos, sensores, e o uso de tecnologias ativas como se

estes fossem os únicos responsáveis por um projeto energeticamente eficiente ou inteligente.

Para Romero (1997, p. 1.10) a inteligência de um edifício começa na sua correta implantação, sua coerência com o clima e o máximo proveito das tecnologias solares passivas.

Do ponto de vista da arquitetura, a inteligência de um edifício voltado para a otimização dos consumos energéticos nasce quando o arquiteto traça os primeiros riscos no papel sugerindo uma certa implantação em função das dimensões do lote e do diagrama de insolação. Neste momento, uma parcela significativa do futuro consumo do edifício pode ali ser conservada.

De fato, a arquitetura moderna brasileira desenvolvida a partir da década de 30, portanto sem a tecnologia disponível atualmente, já se expressava sobre condições ambientais, consideradas posteriormente 'bioclimáticas', como a orientação da edificação, ventilação e iluminação naturais e dispositivos de controle de luz. O Ministério da Educação e Saúde (1936-1943) localizado na cidade do Rio de Janeiro, à época Capital Federal, é um grande exemplo, conforme discorre Yves Bruand (2003, p. 85), em "Arquitetura Contemporânea no Brasil":

Naturalmente, a procura de uma flexibilidade que permitisse, em todos os níveis, modificações posteriores, levou ao emprego da estrutura em recuo, apreciada por Le Corbusier e à supressão de paredes, substituídas por simples divisões a meia altura, fáceis de modificar



Figura 4.3.1 – Palácio Gustavo Capanema  
Fonte: Corbella (2003, p. 59)

quando necessário. Esta solução apresentava outra vantagem fundamental: permitia uma ventilação constante, a circulação do ar era naturalmente assegurada pela diferença de temperatura entre as duas fachadas, o que dispensava um sistema dispendioso de ar condicionado. Restava solucionar o problema da insolação. A fachada sudeste, recebendo diretamente os raios solares apenas alguns dias do ano e no período da manhã, portanto fora do horário de trabalho, foi dotada de grandes caixilhos de vidro, possibilitando a máxima penetração de luz e assegurando uma vista magnífica da baía. Em contrapartida, era absolutamente indispensável proteger a face oposta... o princípio do *brise-soleil*, proposto em 1933 por Le Corbusier em seus projetos para a cidade de Argel, era plenamente vantajoso para esse caso específico [...] no presente caso, a orientação da fachada exigia apenas o emprego de lâminas horizontais, necessariamente móveis, já que o *brise-soleil* fixo, mesmo assegurando uma proteção eficaz nos dias claros, faria com que nos dias escuros fosse necessário utilizar iluminação artificial.

É consenso entre os estudiosos do assunto que um projeto de arquitetura responsável energeticamente deve prever ao máximo a utilização dos sistemas passivos de energia antes de partir para os sistemas mistos ou ativos, através das seguintes estratégias de projeto:

1. Orientação da edificação e sua implantação no terreno:

Esta estratégia relaciona a forma do edifício em planta, sua posição no terreno e sua orientação com relação à insolação e aos ventos dominantes. A decisão inicial com relação à orientação do edifício pode afetar qualquer outra decisão posterior.

Romero (1997, p. 1.10) observa que pode obter-se “uma redução no consumo de ar condicionado em 30% se feita a correta implantação seguindo o diagrama de insolação”.

Para adequação à insolação em uma zona tropical, aconselha-se dispor o edifício longitudinalmente ao eixo leste-oeste de forma a reduzir a carga térmica da radiação solar que atravessa a caixilharia nos lados mais largos do edifício. Deve-se levar em conta que a insolação pelo hemisfério sul, caso do Brasil, se inclina ao norte.

Uma implantação coerente com o meio ambiente deve abordar dois fatores importantes relativos à insolação: o clima local e o impacto do edifício no entorno.

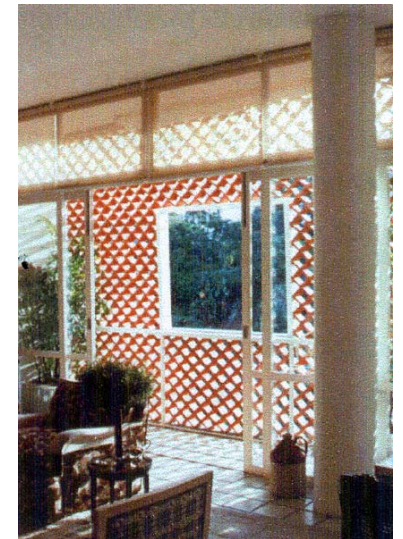
As condições climáticas locais podem ser positivas ou negativas. Em geral, é preciso tomar medidas adequadas para evitar um aquecimento excessivo no verão e aproveitar ao máximo os ganhos de calor solar no inverno. Pode-se conseguir isto através de um equilíbrio entre as perdas térmicas na fachada menos exposta à radiação solar e ganhos na fachada mais exposta. Para tanto, é importante uma cuidadosa seleção dos materiais de construção e uma correta organização espacial. As fachadas orientadas ao poente podem ser decisivas no excessivo aquecimento do edifício, já que na maior parte do ano os raios solares incidem nestas fachadas no final do dia, ou seja, quando a temperatura interna já está elevada.

Também é preciso considerar o edifício em relação a outros edifícios em seu entorno, para evitar efeitos negativos proporcionados pela sombra própria ou variações climáticas como corredores de vento. Da mesma forma, deve-se observar a influência dos edifícios vizinhos com relação ao edifício projetado.

## 2. O desenho da fachada e dispositivos de controle solar:

A permeabilidade da envolvente do edifício quanto à luz, calor e ar, assim como sua transparência visual, são fatores que podem ser controlados e modificados para que o edifício possa reagir às mudanças das condições climáticas locais. Estas variações incluem a proteção contra os raios diretos do sol, a proteção térmica e as diversas regulagens da ventilação natural. Uma envolvente de um edifício bem projetada levará sempre à economia significativa de energia. Deve-se estudar os ângulos de incidência solar tanto no verão quanto no inverno, já que as diferenças entre as estações podem ser acintosas.

A relação entre aberturas e fechamentos é um fator importante para amenizar a carga térmica incidente em um edifício. Essa relação é chamada WWR (Windows Wall Rate). Uma edificação com WWR igual a 1 tem toda sua superfície com elementos transparentes ou translúcidos (cortinas de vidro). Segundo Romero (1997, p. 1.12), para a cidade de São Paulo, a edificação começa a ficar comprometida termicamente se os valores excedem WWR 0,6.



**Figura 4.3.2** – Interior do edifício Bristol  
Fonte: Wisnik (2001, p. 94)

Pode-se utilizar os núcleos de serviço e os espaços de circulação (caixas de escada, elevadores e circulação horizontal) como transição entre as áreas funcionais internas e o exterior, situando-os na fachada sul para reduzir as perdas de calor, ou na fachada norte, para reduzir os ganhos de calor excessivos (como galerias ou circulações horizontais).

Outra maneira eficiente de reduzir a excessiva carga térmica está na utilização de protetores solares externos, ou “brises”. Um edifício com WWR próximo a 1 pode ter um bom desempenho térmico passivo com a utilização proteção externa.

Para utilizar ao máximo a transparência das envolturas de um edifício com a finalidade de se otimizar a iluminação natural, foram desenvolvidos sistemas de fachada que incluem vidros especiais, vidros duplos, sistemas mistos de vidro duplo e persianas, e fachadas duplas.



**Figura 4.3.3**– Biblioteca pública, Landau (1988), Lamott arquitetos  
Fonte: Schittich (2003, p.63)





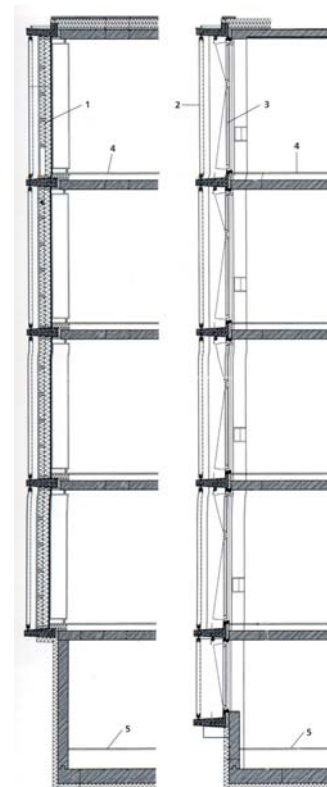
**Figura 4.3.4** – Studio, Munique, arquiteto Thomas Herzog. Fonte: Schittich (2003, p.25)

O sistema de fachada dupla consiste na utilização de uma dupla pele de vidro ventilada com um dispositivo de controle solar do tipo persiana que reflete a maior parte da radiação solar através do vidro externo. A parte da radiação solar absorvida se converte em calor que irradia a câmara de ar intermediária entre as peles de vidro, e a ventilação dessa câmara de ar intermediária depende das pressões eólicas e do “efeito chaminé”. “O efeito chaminé” se baseia no princípio de que o calor absorvido e irradiado pelas persianas e vidro ascende pelo interior da câmara. O ar fresco é

então aspirado ao interior da câmara para substituir o ar quente ascendente, e desta maneira se produz uma corrente de ar para ventilar os ganhos de calor excedentes. Como vantagens, diminui o ruído, reduz a pressão dos ventos fortes e permite a ventilação natural.



**Figura 4.3,5** – As quatro fachadas estão revestidas por uma dupla pele de vidro.  
Fonte: Gauzin-Müller (2003, p.193)



**Figura 4.3,6** – Detalhe da dupla pele.  
Fonte: Gauzin-Müller (2003, p.195)

### 3. Dispositivos passivos de iluminação e ventilação naturais.

A maior parte das técnicas de iluminação passiva se baseia em controlar a luz solar que incide diretamente e reduzir seus efeitos potencialmente negativos sobre o bem estar visual, assim como a diminuição do gasto em refrigeração por meio da redução dos ganhos de calor.

Não obstante, é indiscutível que a luz solar direta é uma excelente fonte de iluminação interna, sempre que se distribua eficazmente através do edifício. Para tanto, as aberturas e os espaços interiores devem ser distribuídos de tal modo que, em condições de céu nublado, se obtenha um nível de luminosidade de 200 lux no fundo dos ambientes (ROMERO, 1997). Isso significa que os desenhos de iluminação natural convencionais podem proporcionar uma iluminação natural adequada até aproximadamente 4,6 metros de uma abertura de altura padrão. Mesmo que se empreguem aberturas maiores ou vidros com maior transparência, os ganhos com a iluminação serão inexpressivos, visto que os níveis de iluminação natural variam muito pouco em relação à distância da abertura.

Uma economia em iluminação artificial pode partir de um projeto com ambientes menos profundos, maximizando a utilização de iluminação natural. A distribuição e a forma em planta do edifício urbano, deve considerar a profundidade, a posição das

pessoas, sua orientação e as vistas exteriores. A configuração da planta do edifício deve proporcionar um ambiente habitável e na escala adequada, luz natural regulável e ventilação suficiente. Os postos de trabalho não devem estar no centro da planta, com os espaços compartimentados na periferia; pelo contrário, a distribuição interna deve permitir que um número máximo de usuários possa receber iluminação natural.

Adequadamente projetadas, as soluções de ventilação natural podem conseguir ganhos significativos em custos e energia. Além disso, sua presença reduz as necessidades de ventilação mecânica e ar condicionado assegurando um edifício mais saudável. A ventilação cruzada é uma maneira eficiente de controlar o fluxo de ar no edifício, mas exige uma planta livre de anteparos ou divisórias.

Cabe salientar que para um aproveitamento otimizado da ventilação natural, é preciso conhecer a direção, intensidade e a distribuição dos ventos ao longo do dia e das estações do ano.

## 5. CONCLUSÕES

Os impactos decorrentes da busca pelo desenvolvimento acima dos recursos naturais passaram a influenciar o ambiente de forma global, levando à conscientização da necessidade de novas atitudes de integração entre as nações a fim de reverter a crise ambiental.

Dentre os princípios de Sachs, os que se referem às sustentabilidades ecológica, espacial e cultural dependem da sustentabilidade sócio-econômica. Ao contrário dos países desenvolvidos, os países subdesenvolvidos precisam alcançar seu desenvolvimento sócio-econômico e lidar com as questões ambientais ao mesmo tempo, buscando preservar ao máximo sua cultura e sua identidade.

Para um desenvolvimento sócio-econômico sustentável, é essencial redefinir a riqueza para incluir o capital natural, a partir de uma coordenação mundial com parâmetros e objetivos comuns.

As cidades, por sua densidade populacional, são um contexto para avaliar-se o que é ou não sustentável, e o edifício urbano o elemento mais significativo na arquitetura para o estudo e adequação quanto à sustentabilidade.

Com o desenvolvimento de tecnologias menos poluentes de geração de energia e transporte público, e sistemas mais avançados de tratamento e reciclagem do

esgoto e do lixo, o modelo de cidade adensada demograficamente pode ser reconsiderado.

Cabe ao arquiteto a função de elaborar um projeto de arquitetura sustentável, ou seja, desenvolver soluções que visam maior eficiência na utilização dos recursos naturais, contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente urbano saudável e diminuindo o impacto ambiental causado pelo funcionamento da cidade.

O projeto de arquitetura que contemple as condições necessárias para proporcionar o metabolismo circular no ciclo de vida de uma edificação poderá ser considerado sustentável, observadas as diretrizes: quanto aos materiais empregados em sua construção e demolição; quanto à utilização da água em seu funcionamento; quanto à utilização de energia, tanto na construção quanto no funcionamento do edifício.

A escolha dos materiais é um fator importante nesse ciclo de vida da edificação, e deve-se projetar para sua reutilização ou reciclagem, bem como mediar a utilização dos mesmos, que por si só exigem grandes quantidades de energia em sua produção e deslocamento, exercendo forte influência na vida do edifício.

A elaboração de novos modelos econômicos que pressionem os fabricantes a desenvolver produtos adequados ambientalmente e acessíveis economicamente

contribuirá para que, naturalmente, as opções desenvolvidas no projeto sejam as mais adequadas quanto à escolha dos materiais.

Quanto à água, a primeira medida a ser adotada para reduzir seu consumo nas edificações é a utilização de tecnologias voltadas para a economia. Evidencia-se a importância de sistemas de coleta e reaproveitamento das águas pluvial e servida e cuidados com o destino do esgoto das edificações urbanas.

Assim como há a preocupação com a seleção de materiais e componentes na etapa de construção dos edifícios, é prioritário na arquitetura trabalhar a sustentabilidade quanto à questão energética na etapa de funcionamento dos edifícios, através de projetos que privilegiem os sistemas passivos de energia.

Um projeto de arquitetura responsável energeticamente deve prever ao máximo a utilização dos sistemas passivos de energia antes de decidir pela aplicação dos sistemas ativos e produtivos, considerando a orientação da edificação e sua implantação no terreno; o desenho da fachada e dispositivos de controle solar; e dispositivos passivos de iluminação e ventilação naturais.

É fundamental a pesquisa e atuação contínuas das diversas atividades que regem nossa sociedade no âmbito de um conceito de sustentabilidade, mesmo que surjam obstáculos e discordâncias no caminho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMODEO, Wagner; BEDENDO, Ivana; FRETIN, Dominique; KRONKA, Roberta; SZABO, Ladislao. Conceitos de Sustentabilidade em Arquitetura. In: PLEA 2006 – THE 23rd CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE. Geneva: UPM, USP, 2006.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. *Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil*. In: IV SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - materiais reciclados e suas aplicações. São Paulo: IBRACON, 2001.

ARTIGAS, João Batista Vilanova. *Caminhos da Arquitetua / Vilanova Artigas*; [organização José Tavares Correia de Lira., Rosa Artigas]. 4. ed. rev. e ampl. – São Paulo: Cosac Naify, 2004.

ASIMOV, Isaac. *Life and Energy*. Canada: Discus Books, 1972

BOYLE, Godfrey. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford: Oxford Press Association with the Open University, 1998.

BROWN, G. Z. e DeKAY, Mark. *Sol, Vento & Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura*. 2.ed – Porto Alegre: Bookman, 2004.

BRUAND, Yves. *Arquitetura contemporânea no Brasil*. São Paulo, Perspectiva, 1981.

BRUNDTLAND, G. H. (editor). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oslo: United Nations Environment Programme, 1987.

BUCHANAN, Peter. *Renzo Piano Building Workshop vol.2*. Londres: Phaidon Press, 1999.

BUTTI, Ken e PERLIN, Jon. *Un Hilo Dorado – 2500 Años de Arquitectura y Tecnología Solar*. Madrid: Hermann Blume, 1985.

CAPRA, Fritjof. *As Conexões Ocultas: Ciência para uma Vida Sustentável*. São Paulo: Ed. Cultrix, 2003.



CESP/CPFL/ELETROPAULO. *Seminário de Arquitetura Bioclimática*. Rio de Janeiro, 1983.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. *A Green Vitruvius*. Portugal: Ordem dos Arquitectos, 2001.

CORBELLA, Oscar. *Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos – conforto ambiental*. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORCUERA, Daniela. *Edifícios de Escritórios: o conceito de sustentabilidade nos sistemas de vedação*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COSTA, Lúcio. *Lúcio Costa: sobre arquitetura*; [organização Alberto Xavier]. 2. ed. – Porto Alegre: UniRitter Ed., 2007.

DINI, Massimo. *Renzo Piano: projets et architectures 1964-1983*. Paris: Electa Moniteur, 1983.

FONTES, Bruna Martins. *Reciclagem de concreto se solidifica*. Folha de São Paulo. São Paulo, 30 nov. 2003. Caderno Construção, p. 3.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. *Arquitectura Ecológica: 29 ejemplos europeos*. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2003.

GLEICK, P. H. *Water resources*. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. por S. H. Schneider. New York: Oxford University Press, 1996.

GORE, Albert. *Uma Verdade Inconveniente: O que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento global*. Barueri, SP: Manole, 2006.

GRAEFF, Edgar Albuquerque. *Edifício*. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1986.

HERZOG, Thomas. *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*. Munich: Prestel, 1996.

HOWARD, Ebenezer. *Cidades-Jardins de Amanhã*. São Paulo: Hucitec, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: projeção da população no Brasil: 1980-2050. Disponível em:  
<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao\\_da\\_populacao](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao)>. Acesso em 06 dez. 2007.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB. *Agenda 21 on Sustainable Construction*. CIB Report Publication 237. Rotterdam: CIB, 1999.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB; UNITED NATIONS PROGRAMME INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE – UNEP-IETC. *Agenda 21 on Sustainable Construction in Developing Countries: a discussion document*. Boutek Report No Bou/E0204. Pretoria: CIB/UNEP-IETC, 2002.

JACOBS, Jane. *Morte e Vida de Grandes Cidades*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

MCQUAID, Matilda. *Shigeru Ban*. Londres: Phaidon Press, 2003.

MEADOWS, D. H.. *The limits to Growth*, New York: Universe Books, 1972.

MÜLFARTH, Roberta Consentino Kronka. *Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental*. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ORSTEIN, Sheila; BRUNA, Gilda; ROMERO, Marcelo. *Ambiente Construído e Comportamento*. São Paulo: Studio Nobel / FAU USP / FUPAM, 1995.

PAULA, Maria Inês Lage de. *Instrumento Metodológico para Determinação do Potencial de Otimização Energética nos Setores Industrial e de Serviços*. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PIANO, Renzo. *Arquiteturas Sostenibles*. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1998.

RÄUBER, Armin. *Renewable Energy*. Bonn: The Federal Minister for Research and Technology (BMFT), 1992.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel e THOMAS, Stephanie. *Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROBINS, Edward. *Why Architects Draw*. Cambridge: MIP Press, 1977.

ROGERS, Richard e GUMUCHDJIAN, Philip. *Cidades para um Pequeno Planeta*. Barcelona: Gustavo Gilli, 2001.

ROMEIRO, A.R. *Globalização e Meio Ambiente*. Texto para discussão. IE/UNICAMP, 1999.

ROMERO, M.A. *Conservação de Energia e o Projeto de Arquitetura: uma análise geral*. Sinopses, n.16, p.5-9, dez 1991.

ROMERO, M.A. *Arquitetura, Comportamento e Energia: análise do desempenho energético e do nível de satisfação do usuário em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo, utilizando-se procedimentos da avaliação pós-ocupação*. Tese de Livre Docência apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RUANO, Miguel. *Ecourbanismo – Entornos Humanos Sostenibles: 60 Proyectos*. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1999.

**SACHS, Ignacy. *Estratégias de Transição para o Século XXI: Desenvolvimento e Meio Ambiente*. São Paulo: Studio Nobel, 1993.**

SCOTT, Andrew. *Dimensions of Sustainability*. Londres: E & FN Spon, 1998.

SCHITTICH, Christian. *Solar Architecture: Strategies, Visions, Concepts*. München: Birkhäuser, 2003.

SELBORN, Lord. *A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento*. Brasília: UNESCO, 2002.

SILVA, V.G. *Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica*. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela Gomes; AGOPYAN, Vahan. *Avaliação de Edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade*. ANTAC, Porto Alegre, v.3, n.3, p.7-18, jul./set. 2003.

THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT (THE WORLD BANK). *Expanding the measure of wealth. Indicators of environmentally sustainable development*. Environmentally Sustainable Development Studies and Monograph Series, Number 17. The World Bank, Washington, D.C, 1997.

YANNAS, Simos. *Solar Energy and Housing Design*. Londres: Architectural Association Publ, 1994.

YEANG, Ken. *El Rascacielos Ecológicos*. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2001.

\_\_\_\_\_ *Proyectar con la Naturaleza*. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1999.

\_\_\_\_\_ *The Skycraper Bioclimatically Considered*. Londres: Academy Editions, 1996.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)