

# Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino

*Sustainable architecture: integration among environment, design and technology in research, design practice and education*

Joana Carla Soares Gonçalves  
Denise Helena Silva Duarte

## Resumo

O tema da arquitetura sustentável é essencialmente multidisciplinar. Dentro desse universo de proposições, ações e responsabilidades, a discussão é apresentada sob a ótica do arquiteto, ressaltando o papel do conforto ambiental e da eficiência energética. O artigo começa com um breve contexto histórico no qual está inserido o tema da arquitetura sustentável, seguido por considerações sobre pontos de partida para o desenvolvimento do projeto arquitetônico em prol da sustentabilidade, abordando os seguintes tópicos: Projeto Arquitetônico e Qualidade Ambiental, Climatização, Projeto e Energia, Certificação de Edifícios, O Contexto Internacional, Edifícios e Ambiente Construído. Na seqüência, artigo apresenta experiências de pesquisa, ensino e prática com foco no projeto arquitetônico e suas relações com tecnologia e ambiente. Este conteúdo é fruto de uma reflexão sobre arquitetura sustentável, que tem como base dez anos de experiência das autoras, incluindo: (a) estudos e pesquisas na graduação e na pós-graduação, teóricos e práticos; (b) experiências de ensino em ambos os níveis, com repercussões em concursos nacionais e internacionais; e (c) atuação profissional junto a arquitetos do cenário nacional, desenvolvendo propostas inovadoras.

**Palavras-chave:** Arquitetura. Sustentabilidade. Ambiente. Tecnologia. Pesquisa. Prática. Educação.

## Abstract

*The theme of sustainable architecture is essentially multidisciplinary. Within this field of proposals, actions and responsibilities, this issue is discussed according to an architect's perspective, highlighting the role of comfort and energy efficiency. The article starts with a brief historical context concerned with sustainable architecture, followed by considerations about starting points for the development of an architectural design that aims to contribute to sustainability, including the following topics: architectural design and environmental quality, climatization, design and energy, buildings' certification, the international context, buildings and the built environment. Then, the article presents experiences on research, professional education and practice, focusing on the architectural design and its links with technology and environment. This content is the result of reflections upon the theme of Sustainable Architecture, based on ten years of the authors' experience, including: (a) studies and research at the undergraduate and graduate levels, both theoretical and practical; (b), teaching experiences at both levels, with repercussion in design competitions within the country and abroad; and (c) professional practice together with Brazilian architects, while taking part in the development of innovative proposals.*

**Keywords:** Architecture. Sustainability. Environment. Technology. Research. Practice. Education.

Joana Carla Soares  
Gonçalves

Laboratório de Conforto  
Ambiental e Eficiência  
Energética  
Universidade de São Paulo  
Rua do Lago, 876  
Cidade Universitária  
São Paulo - SP - Brasil  
CEP 05508-900  
Tel.: (11) 3091-4681 / r. 214  
Fax: (11) 3091-4539  
E-mail: jocarch@usp.br

Denise Helena Silva Duarte

Laboratório de Conforto  
Ambiental e Eficiência  
Energética  
Universidade de São Paulo  
E-mail: dhduarte@terra.com.br

Recebido em 25/04/06  
Aceito em 22/08/06

## Introdução

Para contextualizar o tema da arquitetura sustentável no cenário internacional é preciso, primeiramente, entender o tema conceitualmente. É sabido que o tema sustentabilidade, pensado na sua totalidade, abrange aspectos socioeconômicos e ambientais, lançando desafios à pesquisa, à prática e ao ensino. A primeira definição de desenvolvimento sustentável foi cunhada pelo *Brundtland Report* em 1987 (BRUNDTLAND, 1987), afirmando que desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras.

Nas décadas seguintes, grandes conferências mundiais foram realizadas, como a Rio'92, no Rio de Janeiro, em 1992, e a Rio+10, em Johannesburgo, em 2002. Nessas reuniões, protocolos internacionais foram firmados, a fim de rever as metas e elaborar mecanismos para o desenvolvimento sustentável. O desafio global de melhorar o nível de consumo da população mais pobre e diminuir a pegada ecológica<sup>1</sup> e o impacto ambiental dos assentamentos humanos no planeta foi o grande tema em debate. Fazendo-se um balanço dos resultados, essas reuniões foram marcadas por disputas ideológicas e econômicas, as ações subseqüentes ficaram aquém das expectativas e muitos problemas ambientais não foram resolvidos. Um importante indicador foi revelado em 1997, quando o *Earth Council* divulgou que o uso de recursos da humanidade já superava em 20% a capacidade de suporte global e que o planeta foi sustentável até a década de 80 (MEADOWS, 2004).

No final da década de 1980 e início da década de 1990, as questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura e do urbanismo internacional de forma incisiva, trazendo novos paradigmas, com destaque para o contexto europeu. O tema chegou com maior ênfase pela vertente ambiental, como decorrência das discussões internacionais na década de 1970. As atenções estavam voltadas tanto para as conseqüências de uma crise energética de dimensões mundiais como para o

impacto ambiental gerado pelo consumo da energia de base fóssil, somados às previsões e alertas a respeito do crescimento da população mundial e o inevitável crescimento das cidades e de suas demandas por todos os tipos de recursos.

No âmbito do edifício, o estudo dos precedentes arquitetônicos mostra, a partir da Segunda Guerra Mundial, a banalização da arquitetura do *International Style*, que, acompanhada pela crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais de qualquer edifício, levou à repetição das caixas de vidro e ao inerente exacerbado consumo de energia nas décadas seguintes, espalhando-se por cidades de todo o mundo.

Entretanto, olhando para a história da arquitetura e das cidades, foi apenas por um relativo curto espaço de tempo que as considerações sobre as premissas fundamentais de projeto e seu impacto nas condições de conforto ambiental e no consumo de energia não eram tidas como determinantes. Por isso, a arquitetura bioclimática ganhou importância dentro do conceito de sustentabilidade. Isso se deu pela estreita relação entre o conforto ambiental e o consumo de energia, que está presente na utilização dos sistemas de condicionamento ambiental artificial e de iluminação artificial.

Com isso, o conforto ambiental ganhou, ou melhor, retomou sua importância para o projeto de arquitetura, tanto no mundo acadêmico como também na prática, como é bem colocado por Corbella e Yannas (2003, p. 17):

*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-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações.*

A arquitetura modernista brasileira, especialmente durante o período de 1930 a 1960, mostrou características bioclimáticas, das quais se pode destacar o emprego de quebra-sóis e cobogós, amplamente adotados por arquitetos desse período. Entre os arquitetos brasileiros atuantes nessa época, Lúcio Costa foi um dos que cumpriu um papel exemplar na educação e na prática arquitetônica, na medida em que ressaltava a importância da compreensão das condições

<sup>1</sup> O conceito de pegada ecológica (*ecological footprint*) foi desenvolvido pelos pesquisadores canadenses William Rees e Mathis Wackernagel, em 1996, com o objetivo de quantificar o impacto ambiental das cidades. A pegada ecológica de uma cidade compreende a área no planeta necessária para suprir o seu consumo de recursos e produtos, considerando a produção de alimentos, a extração de matéria-prima e a capacidade do meio natural de absorver os resíduos gerados por esse consumo, em particular as emissões de CO<sub>2</sub>. Com base nesses estudos, constatou-se que a pegada ecológica de uma cidade dos países industrializados pode ser entre 300 e 500 vezes o seu território, ou de 6 a 10 hectares por habitante. Como exemplo disso, a pegada ecológica de Londres atinge a marca de 293 vezes o seu território (GIRARDET, 2004).

climáticas e da geometria solar para a concepção de projetos. Além da adaptação ao clima, o interesse dessa arquitetura por recursos de projeto como os quebra-sóis era vinculado à influência corbusiana e às conseqüentes intenções estéticas. Estudos sobre o desempenho ambiental de algumas das obras desse período demonstram, inclusive, que, em muitos casos, elementos como quebra-sóis, clarabóias e aberturas para a ventilação natural não foram exatamente projetados para o conforto ambiental, e sim por preocupações formais (RUSSO, 2004).

Entretanto, o fato de as considerações sobre a energia consumida nos sistemas de climatização e iluminação artificial terem sido tão influentes na revisão das premissas arquitetônicas, já há mais de três décadas, não significa que outras investigações e propostas não estivessem sendo feitas. Paralelamente vinham sendo investigadas outras tecnologias para a sustentabilidade ambiental da arquitetura, incluindo também materiais e técnicas construtivas. A partir das preocupações com o consumo de energia, originadas na década de 1970, o tema da arquitetura sustentável evoluiu para outros aspectos do impacto ambiental da construção, como o impacto gerado pelos processos de industrialização dos materiais e a busca por sistemas prediais mais eficientes.

O tema da sustentabilidade vem influenciando abordagens de projeto na arquitetura contemporânea e conta com iniciativas e exemplos nas mais diversas condições urbanas e ambientais. Extrapolando as questões de conforto ambiental e suas relações com a eficiência energética, recursos para a construção e a operação do edifício, como materiais, energia e água, fazem parte das variáveis que vêm sendo exploradas, com especial atenção na formulação de propostas de menor impacto ambiental.

Historicamente, o tema da arquitetura sustentável começou a ser discutido na arquitetura dos edifícios, não deixando de lado o ambiente urbano. Atualmente, na escala urbana as discussões e propostas vêm abordando as seguintes questões: estruturas morfológicas compactas, adensamento populacional, transporte público, resíduos e reciclagem, energia, água, diversidade e pluralidade socioeconômica, cultural e ambiental. Reforçando o papel do edifício como um elemento do projeto urbano e da sustentabilidade da cidade, fala-se principalmente de localização e infraestrutura, qualidade ambiental dos espaços internos e impacto na qualidade do entorno imediato, otimização do consumo de recursos como água, energia e materiais, e também com potencial para contribuir para as dinâmicas socioeconômicas do lugar.

Nesse contexto, casos recentes de projeto vêm construindo uma nova geração de edifícios no mundo, incluindo exemplos brasileiros, pensados para responder aos desafios ambientais e tecnológicos da sustentabilidade. Nesse momento, são necessárias discussões sobre projeto e tecnologia que promovam revisões dos valores ambientais presentes na idealização, no projeto e na construção da arquitetura. A arquitetura sustentável deve fazer a síntese entre projeto, ambiente e tecnologia, dentro de um determinado contexto ambiental, cultural e socioeconômico, apropriando-se de uma visão de médio e longo prazos, em que tanto o idealismo como o pragmatismo são fatores fundamentais, como destaca o economista Paul Ekins (tradução nossa):

*O desenvolvimento sustentável também necessita tanto de pragmatismo como de idealismo. São necessárias pessoas que possam nos mostrar para qual direção nós podemos estar nos dirigindo, aqueles que possam criar experimentos e projetos pilotos, em certos momentos de pequeno porte e, em outros, de maior porte [...] projetos e experimentos que nos darão confiança para olhar para frente, para um novo milênio, o qual nós podemos estar certos de que será o milênio da escassez dos recursos naturais. Grande parte do planeta já está poluído, e até a metade deste século que se inicia haverá dez bilhões de habitantes na Terra, habitantes que o planeta terá que sustentar. Isto é apenas concebível com sucesso se nós utilizarmos tanto nosso olhar visionário como nosso pragmatismo. (The Green Apocalypse, 1997).*

## Pontos de partida para o desenvolvimento do projeto arquitetônico

### Projeto Arquitetônico e Qualidade Ambiental

Considerando o recorte do desempenho ambiental da arquitetura atrelado ao conforto e à eficiência energética dentro do conceito de sustentabilidade, partindo da fase conceitual e da definição do partido arquitetônico, o projeto de um edifício deve incluir o estudo dos seguintes tópicos:

- (a) orientação solar e aos ventos;
- (b) forma arquitetônica, arranjos espaciais, zoneamento dos usos internos do edifício e geometria dos espaços internos;
- (c) características, condicionantes ambientais (vegetação, corpos d'água, ruído, etc.) e tratamento do entorno imediato;

(d) materiais da estrutura, das vedações internas e externas, considerando desempenho térmico e cores;

(e) tratamento das fachadas e coberturas, de acordo com a necessidade de proteção solar;

(f) áreas envidraçadas e de abertura, considerando a proporção quanto à área de envoltória, o posicionamento na fachada e o tipo do fechamento, seja ele vazado, transparente ou translúcido;

(g) detalhamento das proteções solares considerando tipo e dimensionamento; e

(h) detalhamento das esquadrias.

Todos esses aspectos do projeto vistos em conjunto exercem um impacto no desempenho térmico do edifício, por terem um papel determinante no uso das estratégias de ventilação natural, reflexão da radiação solar direta, sombreamento, resfriamento evaporativo, isolamento térmico, inércia térmica e aquecimento passivo. O uso apropriado de uma dessas estratégias, ou de um conjunto delas, por sua vez, vai ser determinado pelas condições climáticas, exigências do uso e ocupação, e parâmetros de desempenho. O aproveitamento da iluminação natural também é, indubitavelmente, inerente a muitos desses aspectos do projeto, como a orientação solar, a geometria dos espaços internos, as cores e o projeto das aberturas e das proteções solares.

Somado a isso, é importante lembrar que são as exigências humanas e os usos, além das condições climáticas e urbanas locais e das possibilidades construtivas, que vão determinar o grau de independência de um edifício em relação aos sistemas ativos de climatização. Por exemplo, problemas de ruído urbano e poluição podem impedir o uso de estratégias passivas em um projeto, mesmo que o partido arquitetônico, o uso e o clima sejam favoráveis a elas. Por essa razão, num caso como esse, a iluminação natural é mais facilmente resolvida no projeto do que a ventilação natural.

A arquitetura de baixo impacto ambiental não pressupõe um estilo ou um movimento arquitetônico, podendo ser encontrada tanto na arquitetura vernacular das mais variadas culturas como em muitos exemplos do modernismo e, ainda, na arquitetura mais recente, rotulada como *high-tech* ou *eco-tech*. Independentemente da vertente tecnológica, as soluções de projeto para o conforto ambiental e a eficiência energética relacionam os mesmos conhecimentos da física aplicada (transferência de calor, mecânica dos

fluidos, física ondulatória e ótica) com os recursos locais e com a tecnologia apropriada.

No entanto, em uma abordagem mais ampla, arquitetura sustentável é mais do que tratar de conforto ambiental e energia. Pode-se listar uma série de outros fatores ambientais, sociais, econômicos e até mesmo urbanos e de infraestrutura. Assim, as premissas para a sustentabilidade da arquitetura são extraídas do contexto em questão e do problema ou do programa que é colocado para a proposição do projeto. Dessa forma, pode-se afirmar que a sustentabilidade de um projeto arquitetônico começa na leitura e no entendimento do contexto no qual o edifício se insere e nas decisões iniciais de projeto.

Nesse sentido, a questão dos materiais é muito presente nas discussões sobre a arquitetura sustentável. Todavia, ela não está necessariamente ligada àqueles classificados como “alternativos” ou “ecologicamente corretos”. Certamente, o desafio está na escolha do melhor material para um determinado fim. A título de exemplo, pode ser citado o uso do concreto exposto no interior de ambientes, contribuindo para o resfriamento passivo destes, em decorrência do efeito de inércia térmica<sup>2</sup>. Além do desempenho térmico, essa escolha deve também incluir uma avaliação quanto às questões de disponibilidade do material e sua energia incorporada, que são partes integrantes do conceito de ciclo de vida útil do material ou do componente.

Cabe lembrar que, além do desempenho ambiental, é necessário conhecer o desempenho estrutural, de segurança contra o fogo e todos os demais itens especificados na *ISO 6241 – Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*. Isso porque, caso o material não responda a tais exigências, sua utilização é inviabilizada. Complementando, outros assuntos como segurança, desperdício, qualidade de execução e agilidade no canteiro de obras estão na base da discussão sobre sustentabilidade quando se trata de materiais e sistemas construtivos.

Quanto aos recursos tecnológicos envolvendo os sistemas prediais, são muitas as opções para minimizar o impacto ambiental dos edifícios, tais como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas para

<sup>2</sup> Nesse processo de trocas térmicas, o calor gerado no ambiente interno durante determinado período de ocupação é absorvido pela massa do concreto (presente nas vigas, lajes, pisos ou paredes) e, depois, pode ser retirado pela ventilação noturna, por exemplo. Obviamente, há limites climáticos e construtivos para que esse processo ocorra com êxito; é fundamental, por exemplo, que a temperatura do ar externo seja inferior à interna durante o período de ventilação natural e que o fluxo de ventilação seja suficiente para a retirada do calor acumulado.

geração de energia, painéis solares para aquecimento de água, sistemas de reaproveitamento de águas cinzas e outros. Tais advenços da tecnologia, quando apropriados, devem fazer parte do desenvolvimento do projeto do edifício desde as suas primeiras etapas de concepção, e não serem inseridos como “acessórios”, para que possam contribuir de fato para o resultado arquitetônico e o melhor desempenho do conjunto.

Sobre as considerações gerais do impacto ambiental da arquitetura, a reabilitação tecnológica (*retrofit*) de edifícios é uma alternativa à demolição e à construção de novos edifícios, nos quais algum impacto ambiental é inerente. Os objetivos do *retrofit* de edifícios são: adaptar o edifício a novos usos, melhorar a qualidade ambiental dos ambientes internos, otimizar o consumo de energia no médio e longo prazos, aumentar o valor arquitetônico e econômico de um edifício existente, ou mesmo restaurar o seu valor inicial. Para isso, metodologicamente, a reabilitação tecnológica deve incluir o tratamento da estrutura, da envoltória, dos espaços internos e dos sistemas prediais de uma maneira integrada.

No que diz respeito ao conforto ambiental e à eficiência energética, as metas da reabilitação tecnológica contemplam a redução da demanda por climatização e iluminação artificiais, suprimindo-a tanto quanto possível por meios passivos: aquecimento passivo direto e indireto, ventilação natural, ventilação noturna, iluminação natural e demais estratégias, complementando o restante por meio de tecnologias energeticamente eficientes. Contudo, o trabalho de levar o desempenho ambiental de um edifício aos níveis recomendados por normas nacionais e/ou internacionais, e pode incorrer em um aumento inicial do consumo de energia. Entre outras razões, isso se dá quando a condição anterior é de baixa qualidade ambiental por falta de recursos tecnológicos. Por isso, deve ser destacado que o limite para a economia de energia está nos parâmetros de conforto e qualidade ambiental.

Avaliações de custo versus benefício, nas quais o valor da qualidade ambiental é agregado ao valor total do edifício, definem a realização da reabilitação tecnológica contra a construção de edifícios novos. Tendo em vista a quantidade de edifícios com mais de quarenta ou cinquenta anos do estoque edificado das cidades modernas, como São Paulo, reabilitações tecnológicas em edifícios degradados e subaproveitados resultam em ganhos

ambientais e econômicos para o edifício, e também contribuem para a revitalização de áreas urbanas<sup>3</sup>.

Com tudo isso, o produto final da arquitetura para a sustentabilidade ambiental é a síntese entre conceitos arquitetônicos, fundamentos do conforto ambiental, técnicas construtivas e de operação predial, e a esperada eficiência energética, seja no projeto de um novo edifício, seja na reabilitação tecnológica de um edifício existente. No entanto, o sucesso do desempenho ambiental e energético do edifício não pode ser garantido em nenhuma das etapas de projeto. Apesar dos estudos detalhados de simulação das condições ambientais, o gerenciamento dos sistemas prediais, juntamente com o cumprimento dos padrões de ocupação previamente definidos e o comportamento e as expectativas dos usuários é que responderão pelo desempenho final do edifício.

## Climatização, Projeto e Energia

Na Europa e nos Estados Unidos, o consumo de energia em edifícios está intimamente relacionado às emissões de CO<sub>2</sub>, pela composição de suas matrizes energéticas. A redução das emissões globais de CO<sub>2</sub> pressupõe a reestruturação da matriz energética, introduzindo e ampliando as bases de fontes limpas de energia, e o aumento da eficiência energética de maneira geral. Em 1997, a demanda de energia em edifícios do setor residencial e comercial na União Europeia correspondia a 40,7% do total (EUROPEAN UNION, 1999). Na Inglaterra, essa parcela era significativamente maior, chegando aos 72% (PANK, 2002).

Sobre a perspectiva do consumo desagregado por usos finais em edifícios do setor comercial na cidade de São Paulo, trabalhos de pesquisa realizados por Roméro e outros (1999) identificaram que 70% desse consumo era direcionado à iluminação artificial e aos sistemas de ar-condicionado, enquanto as premissas do projeto arquitetônico eram pouco, ou nada, influenciadas por preocupações com a conservação de energia.

Dadas as projeções de crescente consumo de energia em âmbito nacional, medidas de conservação de energia são uma necessidade presente. Na década de 1990, o aumento da

<sup>3</sup> Atualmente, o maior projeto de reabilitação tecnológica de um edifício na Europa é visto no complexo habitacional *Park Hill*, em Sheffield, o maior do Reino Unido, construído após a Segunda Guerra Mundial, na década de 1960, de acordo com os princípios do modernismo. É intenção dessa iniciativa, que agrega recursos públicos e privados, restaurar a integridade física do conjunto, melhorar o seu desempenho ambiental e, com isso, promover uma maior diversidade social, valorizando o empreendimento e a área urbana.

demanda por energia elétrica, apenas no setor comercial, foi de 9,8%, enquanto a geração por meio de hidrelétricas foi acrescida em 5,8% (BRASIL, 2000). Essa diferença aponta para a urgência do uso racional de energia em edifícios, entre outras medidas.

Com base nas premissas da arquitetura em direção à sustentabilidade, uma das principais tarefas para a equipe de projeto é demonstrar que, em um processo de projeto integrado com as demais áreas envolvidas, o uso intermitente do condicionamento ambiental artificial não é a melhor, ou a única, solução para a adaptação das condições ambientais internas aos desafios do clima urbano.

Nesse contexto, projetos de arquitetura que apresentem soluções para lidar com as condições ambientais locais, envolvendo temperatura do ar, temperatura superficial, umidade, radiação solar, ventos, ruído e, ainda, qualidade do ar, aliadas a um bom aproveitamento da luz natural, estão contribuindo para a realização de uma arquitetura de menor impacto ambiental, no que tange à questão da energia.

Entretanto, cabe esclarecer que a inserção de estratégias passivas de climatização implica uma exposição maior do ambiente interno e dos seus usuários às condições ambientais externas. Tendo em vista os parâmetros atuais de conforto térmico, e para que essa interação interior/exterior seja possível e aceitável, faz-se necessária uma revisão do índice de conforto de Fanger, de 1970, o mais amplamente utilizado no cenário internacional da arquitetura contemporânea. Essa revisão é embasada no fato das expectativas e das exigências dos usuários diferirem entre o edifício climatizado por meios artificiais por todo o tempo de ocupação e aquele que tem incorporado meios de climatização natural por todo ou parte do seu tempo de ocupação<sup>4</sup>.

Como mencionado anteriormente, a partir da busca por um menor consumo de energia e da importância da satisfação e da boa produtividade dos usuários, o conforto ambiental (ergonômico, térmico, luminoso e acústico) tem um papel central nas decisões de projeto. Em termos de condicionamento ambiental, o projeto de arquitetura pode responder para três diferentes cenários de condições ambientais internas.

No primeiro cenário, tem-se um projeto totalmente passivo (*free running building*), em que o consumo

de energia para a climatização é zero. Nesse caso, são as características do projeto arquitetônico e os padrões de ocupação que, interagindo com as condições ambientais externas, vão determinar as condições ambientais internas.

No segundo cenário, o edifício é dependente por todo o seu tempo de ocupação de um sistema artificial para o controle das condições ambientais internas, o que pode ser uma imposição do clima ou mesmo das especificidades do uso. Sendo assim, a arquitetura deve ser projetada para minimizar os gastos de energia para condicionamento artificial, seja para o arrefecimento, seja para o aquecimento.

No terceiro cenário, o uso do sistema artificial de climatização é parcial, ocorrendo apenas nos momentos do ano em que as condições ambientais internas estão fora dos padrões de desempenho estabelecidos, denominado condicionamento ambiental em modo misto (*mixed-mode*).

Cada um desses cenários requer concepções projetuais distintas, englobando forma, materiais, organização interna das funções e outros aspectos, mesmo tomando-se um mesmo sítio, ou diferentes sítios com condições ambientais similares. Ou seja, um edifício projetado para a adoção do sistema artificial de climatização por 100% do tempo de ocupação vai apresentar características de projeto distintas de um outro edifício, pensado para a adoção do modo misto ou do condicionamento passivo.

Fundamentalmente, projetar para a eficiência energética e para o menor impacto ambiental por parte da climatização implica duas etapas de tomada de decisão. O passo 1 é reduzir a demanda do edifício por energia, concebendo a arquitetura para isso, com múltiplos aspectos de projeto. Uma vez que essa etapa tenha sido otimizada, e tendo sido consideradas todas as restrições, sejam elas decorrentes de recursos financeiros, do terreno, das condições locais, do uso, ou ainda de outra ordem, parte-se para o passo 2. Nesse momento, estudam-se as possibilidades de utilização dos sistemas mecânicos e elétricos mais eficientes e compatibilizados com os potenciais do projeto de arquitetura, como no uso da iluminação artificial como complemento da natural, por exemplo.

Seja no uso contínuo ou no modo misto, o uso de sistemas de climatização que sejam adaptáveis às mudanças ambientais externas incorpora sensores e controles de monitoramento dos ambientes externos e internos, para o sucesso da sua operação. O mesmo se dá para o caso da iluminação artificial, que pode e deve responder às contribuições da luz natural. Fazendo essa ponte

<sup>4</sup> A ASHARE 55 foi revista em 2004, incorporando o conceito de Modelo Adaptativo para os chamados *free running buildings*, o que dá suporte aos projetos de edificações que visem à combinação do sistema artificial de climatização com condicionamento passivo, colocando critérios de projeto e desempenho para as duas estratégias.

entre exterior e interior, a automação predial é apropriada para a eficiência energética.

A fim de maximizar as possibilidades de adaptação do usuário às condições ambientais e, conseqüentemente, sua satisfação com o espaço, é possível introduzir e controlar a sua intervenção no sistema, por meio da automação predial. Edifícios de grande porte, de destaque no cenário internacional, apresentam soluções desse tipo, como nos casos em que o ar-condicionado é automaticamente desligado com a abertura das janelas. Interações desse tipo são observadas no edifício alto que abriga a sede do Commerzbank, em Frankfurt, concluído em 1998, no qual o acionamento das janelas é uma tarefa dos usuários, mediante uma sinalização de que o condicionamento artificial foi interrompido devido à existência de condições externas favoráveis.

Considerando-se esse conjunto de possibilidades para a climatização, as metas e os desafios para o edifício de baixo impacto ambiental provam ser distintos, de acordo com as características socioeconômicas e culturais do lugar. Nos Estados Unidos a ênfase nesse sentido é dada ao aumento da eficiência dos sistemas mecânicos e elétricos e à continuação do uso das estratégias ativas. Enquanto isso, a Europa vem trabalhando o aumento da eficiência dos sistemas mecânicos e elétricos, paralelamente à diminuição da dependência dos edifícios a esses mesmos sistemas, como uma retomada das estratégias passivas. Além disso, quando o projeto arquitetônico pressupõe a adoção de estratégias passivas, o resultado formal e espacial é distinto daqueles pensados para uso contínuo da climatização artificial.

A possibilidade de suprir parte da demanda energética com recursos renováveis representa um ganho para a sustentabilidade ambiental da arquitetura. Essa maneira de pensar o projeto arquitetônico segue um método que envolve desde a análise do clima até o detalhamento arquitetônico, abrindo um conjunto de possibilidades para as decisões de projeto. Exemplos disso são amplamente encontrados no cenário internacional, principalmente na prática europeia.

Nesse momento da discussão, é importante colocar que a sustentabilidade de um aspecto de um edifício ou do meio urbano, como a eficiência energética aliada à geração de energia, por exemplo, não significa, necessariamente, a sustentabilidade do conjunto. Falar em sustentabilidade ambiental em função do conforto ambiental e da eficiência energética é cabível; porém, é preciso esclarecer que a questão

ambiental na arquitetura vai muito além do conforto e da energia.

## Certificação de Edifícios

Dentro do tema Arquitetura Sustentável destaca-se a crescente importância de questões ambientais globais que têm motivado a apropriação de soluções tecnológicas diferenciadas, testadas e aplicadas para uma maior qualidade ambiental e menor impacto das edificações. Nesse momento de novos questionamentos e transformações para a arquitetura, em que o processo de projeto é afetado diretamente, os chamados indicadores de sustentabilidade introduzem mudanças metodológicas e práticas, integrando as várias disciplinas interdependentes que estão envolvidas na concepção e na operação dos edifícios.

Entidades europeias vêm trabalhando suas legislações quanto a materiais, consumo de energia e impacto ambiental de edificações há quase três décadas. Além da legislação propriamente dita, tanto a Europa, como os Estados Unidos, o Canadá e alguns países da Ásia vêm investindo na certificação de projetos e edifícios, que é embasada em legislações e critérios de desempenho. A certificação constitui-se em um sistema de avaliação no qual é quantificado o grau de sustentabilidade de um projeto de acordo com determinados critérios de desempenho, que podem englobar desde consumo de energia até tópicos como o impacto ambiental gerado por tintas, por exemplo.

Ao contrário da realidade europeia, a legislação brasileira ainda não contempla o que foi colocado aqui como conceitos e critérios para uma arquitetura sustentável. Além do mais, a legislação e os códigos de obra são muito mais normativos do que de fato direcionados para o desempenho. Em termos de impacto ambiental do edifício em construção ou do edifício em operação, não existe ainda um suporte por parte da legislação brasileira que demonstre uma atitude pública em prol de edificações de menor impacto ambiental; um indicador de consumo de energia, por exemplo. No entanto, vale ressaltar o valor metodológico e científico de propostas já feitas e em desenvolvimento para o tema no Brasil, cuja viabilidade de implementação está na dependência de vontades políticas. Entre um conjunto de iniciativas nesse sentido, destaca-se o trabalho de Silva (2003), com a proposta de avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritório e a proposta de Romero e outros para um código

energético do Estado de São Paulo (informação verbal)<sup>5</sup>.

A relação dos indicadores de sustentabilidade com uma série de critérios de desempenho e a complexidade das avaliações pressupõe um processo de projeto apoiado por ferramentas de simulação computacional. Em termos de método, a tendência mundial para execução dessas análises é o sistema de pontuação e peso. As propostas envolvem desde questões relacionadas ao uso de materiais até aspectos econômicos, sociais e ambientais de edifícios em operação. Entre os muitos indicadores encontrados no mundo hoje, BREEAM e LEED são alguns dos mais reconhecidos e utilizados, tendo sido ambos desenvolvidos no início da década de 1990.

O primeiro, BREEAM, foi desenvolvido pelo *Building Research Establishment – BRE*, na Inglaterra, tendo sido inicialmente destinado a edifícios de escritórios (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 2002). Atualmente existem versões do BREEAM para edifícios escolares, culturais e residenciais. O segundo sistema de avaliação, LEED, foi desenvolvido pelo *United States Green Building Council – USGBC*<sup>6</sup>, dos Estados Unidos, também inicialmente destinado exclusivamente a edifícios de escritórios; entretanto, atualmente, existe uma versão do LEED para edifícios residenciais e outras em fase de elaboração. Esses são alguns dos métodos mais conhecidos, amplamente utilizados, de crescente credibilidade no meio profissional, que deram origem a outros sistemas de indicadores em outros países. Por lidar com critérios de desempenho, em geral, os sistemas de avaliação são revistos a cada dois anos. Da mesma forma, os edifícios certificados devem passar pela verificação de desempenho a cada dois anos.

Todos os indicadores de sustentabilidade, apesar de terem sua aplicação incentivada por órgãos públicos, não possuem um caráter obrigatório. Mesmo assim, o interesse por parte de muitas organizações privadas de grande e médio porte é crescente, pela influência que exercem na imagem “verde” de um empreendimento, na medida em que são instrumentos de valorização da atitude de projeto em prol de um menor impacto ambiental.

Enquanto o sistema LEED vem sendo aplicado fora dos Estados Unidos, a adoção do BREEAM para empreendimentos fora do Reino Unido é proibida. As preocupações com o uso de sistemas

como esses fora de seus contextos de origem são baseadas no caráter local de suas referências de desempenho, com especial destaque para as ambientais e energéticas. Esse fato deveria restringir a aplicação de qualquer sistema de avaliação de desempenho ambiental que não tenha sido adaptado para um determinado contexto em termos de critérios e pesos.

Em muitos casos, o projeto e a operação de edifícios aclamados como ícones de uma arquitetura sustentável são marcados por um alto grau de experimentação e complexidade. Por essa razão, uma investigação criteriosa, a fim de testar a veracidade dessas propostas, aclamadas como inovadoras e de baixo impacto ambiental, representa uma importante contribuição para a elaboração de modelos futuros. No entanto, a abrangência e a complexidade do tema têm se refletido na dificuldade e no desafio de estabelecer parâmetros de análise apropriados para cada caso.

## O Contexto Internacional

O tema da arquitetura sustentável tem um papel de destaque nas áreas de pesquisa, prática e crítica em vários centros de excelência no cenário internacional. Todo esse investimento inclui desde questões de ordem técnica, como os avanços sobre os modelos de ciclo de vida útil de materiais e componentes da construção, como também outras de ordem prática, ilustradas no comprometimento profissional de especialistas da arquitetura e da engenharia mecânica sobre a operação de edifícios, visando ao menor impacto ambiental. O reconhecimento crescente do tema também acontece por parte do poder público (reconhecimento esse que é visto em obras e instrumentos da legislação) e pela valorização pelo mercado e pela indústria da construção civil, sendo este um cenário ainda muito distante da realidade brasileira.

Organizações de ensino, pesquisa, projeto e planejamento em alguns estados norte-americanos (como Califórnia e Illinois), países europeus (com destaque para Inglaterra, Alemanha e países nórdicos), e em outras partes do mundo têm abordado o tema da arquitetura sustentável sob várias perspectivas, com exemplos de intervenções pontuais, como sedes de empresas, edifícios públicos e projetos-piloto; ao mesmo tempo são registrados casos mais abrangentes, como nos planos urbanos para a revitalização de bairros inteiros e projetos de novas comunidades.

Em todos esses casos, as iniciativas de pesquisa e de projetos envolvem uma gama bem diversificada de pesquisadores, profissionais de projeto, agentes

<sup>5</sup> Informação verbal fornecida pelo Prof. Dr. Marcelo Romero, FAUUSP, em março de 2006.

<sup>6</sup> USGBC - United States Green Building Council. Disponível em: <<http://www.usgbc.org>>. Acesso em: 26 de abril de 2006.

da indústria da construção e representantes de comunidades locais e do poder público, atuantes em políticas públicas, planejamento e desenvolvimento urbano. Tomando-se como base o projeto do edifício, são destacados os temas de conforto ambiental, energia, materiais e o de sistemas prediais (como a geração de energia limpa, reúso de água e outros). Porém, já se estenderam para o campo do planejamento e do projeto urbano, no qual se fala de densidade, infraestrutura, tecnologia, meio ambiente e, obviamente, das dinâmicas socioeconômicas.

Paralelamente ao universo da pesquisa e da inovação, tomando-se a realidade da Inglaterra como exemplo, observa-se a existência de um mercado de fato bastante interessado e engajado em novas propostas. Conseqüentemente, o número de obras construídas aclamadas como exemplos de uma arquitetura sustentável vem crescendo exponencialmente desde a década de 1980. Nesse processo de discussões e propostas de projeto e tecnologia para a arquitetura, observa-se a passagem do chamado “edifício inteligente”, que tem enfoque na eficiência energética e no uso da tecnologia, para o “edifício sustentável”, que reforça as intenções de menor impacto ambiental e menor dependência tecnológica. A obra do escritório Richard Rogers Partnership mostra essa evolução, da qual a sede da empresa de seguros Lloyds, do início da década de 1980, e a Assembléia Nacional do País de Gales, de 2006, entre muitos outros projetos, marcam as duas pontas dessa evolução.

Mais recentemente, uma grande quantidade de projetos aprovados no Reino Unido traz soluções de projeto diversificadas para responder ao desafio de alcançar uma arquitetura que possa ser aclamada como sustentável, destacando-se aqui as obras públicas, com o objetivo de dar o exemplo. Esse tem sido o caso de escolas, residências, bibliotecas, escritórios e obras públicas em geral.

Em Portugal, uma avaliação de 120 edifícios construídos de 1994 a 2000, após a implementação da regulamentação para o conforto térmico e a eficiência energética em edificações, o Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), revelou que as características construtivas da grande maioria dos edifícios classificados como “bom” e “excelente” foram bem distintas, o que aponta a possibilidade de diversas soluções construtivas, mesmo com a imposição de critérios de desempenho (GONÇALVES, 2000).

Olhando para esse contexto internacional, depois de mais de 20 anos de prática, é evidente a inovação na concepção arquitetônica e na

engenharia de sistemas, considerando não apenas o edifício em si, mas principalmente o processo de projeto, que ganhou complexidade com a maior interação entre os profissionais envolvidos e a inserção de ferramentas avançadas de modelagem e simulação. O papel da engenharia mecânica é crescente dentro do tema, uma vez que, no caso de edifícios nos quais é inerente a complexidade tecnológica, a arquitetura sozinha não responde para os padrões de desempenho ambiental, não só por imposições climáticas, mas principalmente devido ao aumento da complexidade dos usos e da operação dos edifícios, exigidos atualmente.

Com base em toda a complexidade que compõe um projeto arquitetônico, não há um modelo único para a arquitetura sustentável. Da mesma maneira, por mais que sejam estabelecidos requisitos e critérios, não existe um método universal para a elaboração do projeto. Contudo, existe sim um conjunto de fatores que vêm redefinindo os edifícios europeus, tais como o aproveitamento de recursos como a energia solar e a luz natural. Isso porque, como mencionado anteriormente, para a maioria dos profissionais que pensam a respeito do futuro de edifícios de maior eficiência energética, as idéias são normalmente relacionadas com baixo consumo de energia nos países industrializados, analisando-se o desempenho do edifício por indicadores como kWh/m<sup>2</sup>, e a emissão de CO<sub>2</sub> decorrente do seu consumo energético.

Outro aspecto determinante para as transformações do projeto arquitetônico em prol da sustentabilidade tem sido a relação entre os usuários e o meio externo, que é vista na Alemanha há mais de 10 anos. A título de exemplo é obrigatório que nos edifícios de escritório os postos de trabalho estejam a uma distância máxima de seis metros das fachadas e da comunicação visual direta com o exterior, o que significa o início do fim dos pavimentos de plantas profundas. A experiência da prática alemã tem demonstrado que são possíveis edifícios de melhor qualidade com criatividade arquitetônica. Com isso, acredita-se que muito em breve se tornará bastante difícil justificar os pavimentos-tipo de plantas profundas em toda a União Européia.

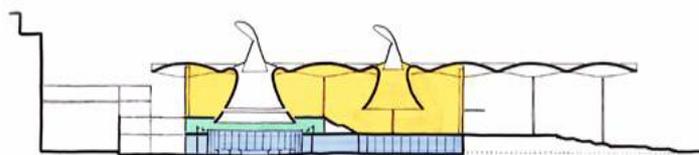
O número de edifícios justificados por argumentos de sustentabilidade é crescente, sendo representativo do estoque de novas propostas de edifícios no contexto internacional. Dando suporte a essa nova geração de projetos estão os instrumentos legais, acompanhados das vantagens ambientais e econômicas e da própria diferenciação arquitetônica.

Contudo, cabe uma ressalva a essa arquitetura sustentável internacional, que é confirmada por muitos especialistas da área (GONÇALVES, 2003, 2004); como toda inovação, nem tudo o que é apresentado em tais projetos tem o desempenho esperado inicialmente. Por essa razão, enquanto o experimento continua sendo incentivado, uma constante revisão crítica é fundamental para a evolução e o sucesso de novas propostas dentro do tema.

Alguns exemplos de obras construídas nos últimos anos no Reino Unido, que representam essa última geração de edifícios aclamados como sustentáveis são: National Assembly of Wales, em Cardiff, País de Gales (Figuras 1 e 2); Mossbourn Academy Community (Figura 3), Greenwich Village Millennium (Figura 4), BedZed – Beddington Zero

Energy Development (Figura 5), Swiss Re Headquarters, World Classrooms, Classrooms of the Future, e outros em Londres.

Na Europa continental os exemplos também são inúmeros, principalmente na Alemanha, Holanda e nos países nórdicos. Com especial atenção para a tipologia dos edifícios altos de escritório, um caso que marcou os ícones da arquitetura aclamada como sustentável foi a nova sede do Commerzbank, em Frankfurt, concluída em 1998. Entre os edifícios públicos, deve ser destacada a reabilitação tecnológica da sede do parlamento alemão em Berlim, o Reichstag, também concluído no final da década de 1990. Com respeito à arquitetura de edifícios residenciais, vale uma especial atenção aos casos da prática holandesa, entre outros do norte da Europa, nas últimas décadas.

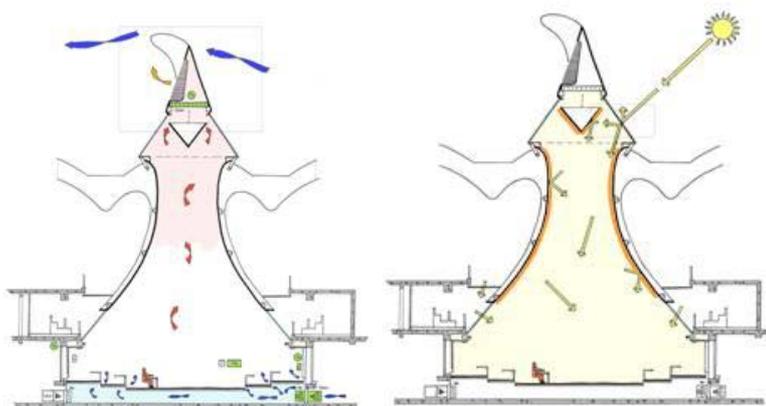


Fonte: BDSP Partnership, Londres.

(a) Corte esquemático do edifício mostrando as áreas públicas, nos pavimentos intermediário e superior, e as áreas privadas, no pavimento inferior

(b) Hall principal, espaço para exposições e convivência com comunicação entre exterior e interior

Figura 1 - Assembléia Nacional do País de Gales, Cardiff (2006)<sup>7</sup>



Fonte: BDSP Partnership, Londres.

(a) Torre tipo *shed* para a ventilação natural e captação de luz natural sob a Sala da Assembléia

(b) Captação de luz natural por reflexão, chegando até a sala principal; à direita, vista externa

(c) Conceito para o condicionamento ambiental combinando ventilação mecânica e efeito chaminé

Figura 2 - Assembléia Nacional do País de Gales, Cardiff (2006)

<sup>7</sup> BDSP Partnership, Consulting Engineers. Acervo de imagens de projetos (acesso restrito). Londres, 2006.



Fonte: BDSP Partnership, Londres.

(a) Área de intervenção com a identificação das principais determinantes ambientais do local: insolação, ventos e ruído urbano

(b) Vista da área externa de convivência

(c) Pátio interno: espaço entre as salas de aula bem provido de luz natural e tratamento acústico

Figura 3 - Escola pública Mossbourne Community Academy, Londres (2005)<sup>8</sup>



Fonte: Fotos das autoras.

(a) Edifício habitacional sobre solo descontaminado, trazendo componentes construtivos para a minimização do consumo de energia para a climatização, em que o uso da madeira é incentivado

(b) Unidades residenciais unifamiliares, em que a diversidade de materiais é um destaque no projeto arquitetônico

Figura 4 - Greenwich Millennium Village, Londres (2002)

<sup>8</sup> Arquitetura: Richard Rogers Partnership.



Fonte: Fotos das autoras.

(a) Unidades residenciais unifamiliares

(b) Detalhe das torres para a ventilação e a geração de energia limpa (painéis fotovoltaicos), aspectos de diferenciação arquitetônica

**Figura 5 - BedZed, Londres: edifícios habitacionais seguindo a composição formal linear e compacta da arquitetura residencial inglesa tradicional, o *terrace housing***

### Edifício e Ambiente Construído

Experiências sobre a arquitetura sustentável apontam para a importância de um método de inserção do edifício que leve em consideração todos os aspectos de caracterização do contexto de intervenção, englobando fatores socioeconômicos, culturais e ambientais. Nessa análise, a cidade deve ser entendida dentro de seu contexto regional, envolvendo clima, disponibilidade de recursos naturais e suas relações econômicas com outros centros urbanos próximos, no qual tudo isso é somado ao desempenho dos edifícios vistos em conjunto.

O objetivo maior de um edifício sustentável deve ser fazer desse uma solução ambiental, social e economicamente viável no contexto global da sustentabilidade. Nesse sentido, as noções de impacto ambiental não devem ser resumidas às questões de consumo de energia, e sim ser ampliadas para os contextos local e global.

O edifício sustentável representa uma parcela do ambiente construído, devendo as suas qualidades urbanas e ambientais também seguir em direção à sustentabilidade. Assim, se o objetivo maior for reduzir o impacto ambiental das cidades e alcançar uma melhor qualidade ambiental urbana, em um cenário ideal, a busca pela arquitetura sustentável deve acontecer em três escalas: a do edifício, a do desenho urbano e a do planejamento urbano e regional. Nessa visão, os edifícios devem ser planejados de uma forma tal que contribuam para a diversidade de usos e classes sociais, a socialização do espaço público, a eficiência da infra-estrutura urbana e a qualidade ambiental do ambiente construído.

Nas discussões globais sobre sustentabilidade urbana, o tema da densidade assume um papel central, tendo em vista as vantagens para a otimização da infra-estrutura e os demais benefícios ambientais e socioeconômicos. Quanto aos modelos para a densidade populacional e construída, diferentes formas urbanas e arquitetônicas podem responder a um mesmo padrão de densidade, com diferentes configurações de espaços abertos, condições microclimáticas e distribuições de usos.

Entretanto, a compacidade e a verticalização das cidades podem causar efeitos climáticos adversos, resultando no comprometimento do desempenho ambiental e energético das construções e da qualidade dos espaços urbanos, caso não sejam aplicados critérios ambientais condizentes com o clima do lugar em questão. Assim, tais critérios devem contemplar um equilíbrio entre as condições de adensamento requeridas para atingir certas metas de economia de energia e racionalização do uso de recursos materiais, e aquelas necessárias à manutenção ou à melhoria da qualidade do ambiente externo. Entretanto, esse ponto de equilíbrio ainda está em discussão, e tudo indica que não existe um modelo universal para resolver essa questão, mesmo que sejam possíveis, com o desenvolvimento das várias pesquisas em andamento no cenário global, metodologias comuns de abordagem.

Paralelamente, experiências isoladas de edifícios projetados para reduzir o impacto ambiental da arquitetura continuam sendo válidas para o avanço do tema, mas deve ser lembrado que a transformação do ambiente construído em direção à sustentabilidade ambiental urbana depende de uma abordagem mais complexa e mais ampla, envolvendo várias escalas de atuação.

Assim, é preciso responder à seguinte pergunta: que cidades queremos construir? A partir da resposta podem ser definidos o desenho urbano, as tipologias arquitetônicas, as características ambientais dos espaços abertos e as tecnologias adequadas para a cidade e para o edifício, entre outros aspectos do ambiente construído. Os planos atuais de desenvolvimento urbano de Londres, Frankfurt e Roterdã são exemplos do esforço para responder a essa pergunta, abordando inclusive questões de desempenho ambiental das edificações.

Em outras palavras, a cidade deve ser planejada e gerenciada para que os edifícios, em conjunto, tenham sua eficiência e desempenho otimizados, somando impactos positivos. Dessa forma, intervenções urbanas que consideram os diversos sistemas que compõem as cidades, envolvendo infra-estrutura, espaços abertos e edifícios guardam o potencial de uma transformação positiva do impacto das cidades sobre o meio natural e o próprio meio urbano.

Na resposta à pergunta “Que cidades queremos construir?” aparecem as primeiras premissas para uma intervenção na cidade. Em Jacobs (2000), a autora explica que os princípios do planejamento urbano devem evoluir para uma compreensão das cidades como um sistema orgânico. A esse respeito, Girardet (1999) também coloca a necessidade de uma redefinição do modelo urbano convencional de consumo dos mais variados recursos.

Battle e McCarthy (2001) definem o funcionamento das cidades, chamando-o de metabolismo urbano, como uma composição de seis ciclos, em que cada um contém características particulares, porém com influências mútuas. São eles: 1) transporte; 2) energia; 3) água; 4) resíduos; 5) microclima, paisagem natural e ecologia; e 6) materiais, construções e edifícios. Os autores destacam que as decisões de transformação de cada um desses ciclos, com o objetivo de minimizar os aspectos de impacto ambiental, são específicas da localidade, porém com influências de questões econômicas, sociais e culturais de âmbito regional, nacional e mesmo global.

Pensando dessa maneira, em primeiro lugar devem ser estabelecidas as metas para o consumo e a origem de recursos como água e energia; em segundo está a definição para a escolha da tecnologia e a determinação da eficiência dos processos de consumo desses recursos (na operação dos edifícios); e, em terceiro, devem ser estabelecidas metas e tecnologias de gerenciamento da conseqüente geração de resíduos, incluindo a poluição atmosférica. A

quantidade desses recursos que serão gerados, reutilizados e reciclados dentro dos limites físicos da cidade, irão caracterizar o compromisso da sociedade urbana com questões imediatas de impacto ambiental, em última instância.

Com esse olhar sobre o ambiente construído, a busca pela sustentabilidade urbana vem ao encontro das seguintes metas:

- (a) preservação e liberação de áreas naturais pelos efeitos e vantagens da compacidade urbana;
- (b) proximidade, diversidade e uso misto (socialização do espaço público);
- (c) maior eficiência energética (e menor poluição) pelo sistema de transporte;
- (d) microclimas urbanos mais favoráveis ao uso do espaço público e ao desempenho ambiental das construções;
- (e) edifícios ambientalmente conscientes;
- (f) consumo consciente dos recursos em geral; e
- (g) reúso e reciclagem (diminuição do impacto ambiental proveniente da geração de resíduos em geral).

Enriquecendo a discussão de sustentabilidade urbana, a revitalização de áreas urbanas de diferentes configurações e usos é uma alternativa de ocupação de áreas degradadas e desvalorizadas (*brownfields*), em oposição à expansão urbana, com a ocupação de áreas verdes (*greenfields*). Em suma, os principais objetivos de planos como esses são:

- (a) ocupar áreas degradadas inseridas na cidade, otimizando o uso da infra-estrutura disponível com base em parâmetros de densidade e uso misto;
- (b) conectar áreas da cidade, superando os obstáculos físicos existentes;
- (c) melhorar a qualidade ambiental da área como um todo;
- (d) otimizar o consumo de energia nos edifícios e na cidade; e
- (e) aumentar o valor ambiental e socioeconômico de uma área existente, ou restaurar o seu valor inicial.

O desenvolvimento da arquitetura e do ambiente construído em direção à sustentabilidade ambiental, considerando benefícios socioeconômicos, implica uma revisão do processo projetual convencional, em que métodos de pesquisa pró-projeto remetem a uma interação maior entre pesquisa e proposição, com a inclusão de novas variáveis, compondo arquitetura, desenho urbano e planejamento em suas várias escalas.

## Experiências de projeto: pesquisa, prática e ensino

O objetivo deste tópico é discutir o andamento e os avanços recentes das questões de conforto e energia, dentro do campo maior que é a sustentabilidade, na pesquisa, na prática de projeto e no ensino nas escolas de Arquitetura e Urbanismo.

As três esferas têm como cenário algumas das grandes questões globais para a sustentabilidade: o aquecimento global de um lado e o consumo de energia de outro (BRUNDTLAND, 1987), a qualidade da vida urbana e as necessidades e vantagens do adensamento (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 1997; HEWITT; HAGAN, 2001), e o impacto ambiental das cidades *versus* a necessidade de se diminuir a pegada ecológica dos assentamentos humanos no planeta (GIRARDET, 2004).

As respostas para os riscos das mudanças climáticas podem se dar de duas formas: mitigação (projetar edifícios que minimizem o consumo de energia e as emissões); e adaptação (projetar edifícios em resposta aos riscos previstos). Na segunda opção, o fato preocupante é que a resposta pode ser negativa, aumentando ainda mais a capacidade de “defesa” dos edifícios por meio do uso ainda mais intensivo de energia nos sistemas de climatização. O resultado seria um aumento ainda maior no consumo de energia, um aumento das emissões de gases nocivos para a atmosfera e a intensificação das mudanças climáticas; e esse, definitivamente, não é um caminho sustentável.

As três esferas aqui contempladas – pesquisa, ensino e prática – se sobrepõem em muitos aspectos abordados no texto, porque se retroalimentam a cada nova descoberta, e a cada novo desafio para a arquitetura sustentável. Para o sucesso dessas inter-relações é essencial que os pesquisadores e educadores estejam envolvidos com as questões contemporâneas da arquitetura, ao mesmo tempo em que os profissionais de projeto estejam interessados na aplicação de métodos de projeto e informados pelos resultados das pesquisas.

### Pesquisa

Duas palavras-chave hoje no campo de pesquisa para estudos de conforto ambiental e energia em áreas urbanas e nos edifícios são *diversidade e adaptação* (STEEMERS; STEANE, 2004).

A faixa e a disponibilidade de oportunidades de adaptação aumentam significativamente as chances de um indivíduo estar em conforto. São

oportunidades de adaptação a escolha do local, a mudança de vestimenta e do nível de atividade física, postura, hidratação, alimentação, e as inúmeras oportunidades de interação com o edifício, tais como o aproveitamento máximo de aberturas e as possibilidades de sombreamento, o uso de aspersão de água, o uso de sistemas de baixo consumo de energia para climatização, etc.

Um indicador claro da importância dessa diversidade e adaptação são as revisões conceituais pelas quais estão passando os índices de conforto largamente adotados em todo o mundo, para edifícios e para espaços abertos. Hoje já é consenso entre os pesquisadores da área que oferecer diversidade é mais significativo do que alcançar condições térmicas “ótimas” e homogêneas de conforto, até porque sempre haverá uma parcela de insatisfeitos. Pesquisas nas áreas de exigências humanas de conforto, arquitetura, planejamento e climatologia urbana estão convergindo para isso (OLESEN; PARSONS, 2002; NICOL, 2004; KATZSCHNER, 2004; STEEMERS; STEANE, 2004).

Diversidade é um fator particularmente importante para o conforto ambiental em espaços externos por ampliar as possibilidades de escolha dos usuários. O ambiente urbano é potencialmente mais diverso termicamente e os espaços intermediários oferecem mais uma oportunidade de se ampliarem as possibilidades de adaptação.

Nas pesquisas de campo que relacionam condições ambientais com índices de conforto em espaços abertos, depois de vários estudos em diferentes condições de clima e culturas (NIKOLOPOULOU, 2004; STEEMERS; STEANE, 2004), surgiram duas questões que também implicaram na revisão dos índices de conforto: a) a teoria diverge significativamente das respostas dos usuários; e b) as respostas são similares para realidades climáticas bastante diferentes. Nessas circunstâncias, por que muitas pessoas dizem que estão confortáveis quando tecnicamente deveriam estar sentindo frio ou calor, de acordo com os índices conhecidos?

Com relação aos edifícios, a busca por espaços ambientalmente mais flexíveis, do ponto de vista espacial e temporal, que se adaptem às mudanças de uso, mudanças climáticas, etc., já dá a tônica das pesquisas mais recentes (OLESEN; PARSONS, 2002; NICOL, 2004). Nessa linha, um modelo adaptativo para edifícios condicionados naturalmente foi incorporado à nova versão da ASHRAE 55/2004 e deve ser gradualmente absorvido pelas demais normas internacionais. Essa é uma mudança significativa de paradigma: índices de conforto térmico não adaptativos,

desenvolvidos e aplicados há quase um século, consideram faixas estreitas de tolerância, admitindo que as pessoas desejam as mesmas condições, o que não é verdade. Durante anos, estudos em locais sob outras condições climáticas demonstram o contrário (NICOL, 2004); o que os índices tradicionalmente mais usados previam era diferente do que de fato era considerado como condição de conforto pelas pessoas. Tais índices não levam em conta a adaptação, quando as pessoas reagem de forma a restaurar a sua condição de conforto.

Segundo Nicol<sup>9</sup>, o conforto não deve ser encarado como um produto, mas como uma meta a ser alcançada, cujo resultado é a adaptação do indivíduo. Os resultados das pesquisas de campo confirmam que as análises das condições de conforto térmico devem considerar não só os ocupantes e os edifícios, mas o contexto social e cultural; e o mesmo caminho deve ser trilhado nas áreas afins, de iluminação e de acústica, por exemplo.

Outro ponto importante é o reconhecimento de que o edifício isolado do seu contexto não pode se pretender sustentável (GONÇALVES, 2003), conforme colocado anteriormente no item Edifício e Ambiente Construído.

Todos esses critérios de qualidade ambiental vão, necessariamente, provocar alterações nos parâmetros arquitetônicos e na paisagem urbana, por vários motivos<sup>10</sup>. Na interface cidade/edifício estão as questões de geração de energia, disponibilidade de luz natural e aquecimento passivo, e todas elas pressupõem a garantia de acesso ao sol, o que é determinado pelo arranjo urbano (BRANDÃO, 2004; DUARTE; BRANDÃO; PRATA, 2004). Na mesma escala está também a ventilação urbana (PRATA, 2005), que vai determinar as possibilidades de ação dos ventos nos edifícios e a viabilidade da adoção de turbinas eólicas para geração de energia, por exemplo.

Essas alterações na paisagem são evidentes em projetos como para um distrito de Shanghai, idealizado por Richard Rogers em 1991, com a participação de uma equipe de consultores (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 1997). A proposta é formada por seis comunidades, constituídas por grupos de edifícios de usos e tamanhos variados, organizados ao redor de um parque urbano. O raio da circunferência foi dimensionado para que todos

os residentes estejam a uma distância máxima de dez minutos a pé do parque, do rio e das demais comunidades vizinhas.

Nesse projeto também foi proposta uma integração entre espaços públicos e um sistema de transporte hierarquizado. Edifícios de escritórios, culturais e institucionais são localizados próximo ao metrô, e os residenciais, junto ao parque. A proposta apresentou um agrupamento de edifícios altos e baixos, tirando proveito da variedade de alturas para maximizar o acesso da luz natural e dos ventos, minimizando seu impacto sobre os espaços públicos. Shanghai sofre com a poluição veicular, e o controle do transporte é fundamental para que se possa melhorar a qualidade do ar e utilizar a ventilação natural para maior conforto térmico. Mesmo assim, com a restrição do acesso de veículos em muitos locais, uma das principais críticas ao projeto é que a redução do uso do automóvel implica uma mudança de comportamento do usuário em prol do bem-estar coletivo. Por fim, esse plano de desenvolvimento urbano não foi executado como tal, tendo sido substituído por um conjunto arbitrário de edifícios altos.

Também na escala urbana, está em fase final de conclusão um projeto piloto de colaboração Brasil/Reino Unido entre o Martin Centre, da University of Cambridge, a School of Architecture and Visual Arts, da University of East London e o Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP) (LABAUT, 2006; DUARTE, 2004). O projeto visa explorar abordagens ambientais para a revitalização de vazios urbanos em áreas centrais, apontando suas vantagens socioeconômicas. Por meio do levantamento e da análise da morfologia urbana, das variáveis ambientais e da estrutura socioeconômica de uma cidade e sua dinâmica, acredita-se que é possível planejar e projetar bairros mais sustentáveis e, portanto, comunidades mais sustentáveis, culminando em cidades mais sustentáveis. Nesse caso, os produtos do planejamento e do projeto são embasados por indicadores qualitativos e quantitativos, que podem demonstrar os benefícios sociais e econômicos da renovação urbana, tanto para vazios urbanos como para áreas ocupadas de baixa densidade. Nesta pesquisa, especificamente, ambos os casos foram estudados em áreas centrais da cidade de São Paulo.

O objetivo dessa pesquisa é desenvolver um método de planejamento e projeto para espaços urbanos e comunidades mais sustentáveis em um tecido urbano atualmente degradado, neste caso

<sup>9</sup> NICOL, Fergus. **Thermal comfort**: product or goal. Palestra proferida no VIII ENCAC - Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió, 2005. Informação verbal.

<sup>10</sup> Ver também Trabalhos Finais de Graduação como forma de investigação no item Ensino.

um vazio urbano e uma área de baixa densidade de ocupação, melhorando substancialmente os padrões encontrados hoje em São Paulo e, portanto, definindo novos padrões potenciais, ambientais e urbanos. Cabe lembrar que tanto a pesquisa quanto o projeto são baseados fortemente no contexto local. Políticas, critérios e diretrizes são aplicados em ambas as escalas, do edifício e do ambiente urbano, nos quais o ambiente construído é estudado na escala da quadra, da vizinhança e da cidade.

No campo da pesquisa em edifícios, há muitos recursos tecnológicos em investigação: fachadas duplas, ventiladas ou não (MARCONDES, 2003), novos materiais, elementos transparentes (MIANA, 2004) com diferentes seletividades de transmissão de luz e calor ou com células fotovoltaicas incorporadas para geração de energia, etc.

Com respeito ao consumo de energia propriamente dito, são encontradas propostas de auto-suficiência, em especial para a tipologia residencial denominada casa zero<sup>11</sup>, desde os primeiros anos da discussão sobre arquitetura sustentável. Contudo, a não ser nos casos mais extremos de falta de infra-estrutura urbana (por localização remota ou real falta de recursos), a discussão atual não pressupõe a obrigatoriedade da autonomia em relação aos recursos necessários para a construção e uso da edificação, e sim a maior eficiência e racionalidade possível na utilização destes, mantendo-se as condições de habitabilidade. Um argumento claro para a não-obrigatoriedade da auto-suficiência da arquitetura é a disponibilidade de infra-estrutura, muitas vezes, subutilizada. Em outras palavras, não faz sentido exigir a *casa zero* nos casos em que a infra-estrutura urbana é disponível.

Também estão sendo aprofundados os estudos sobre as características de ocupação do edifício *versus* o desempenho ambiental. Estão sendo investigados os padrões de ocupação do edifício e o comportamento do usuário para o desenho de espaços adaptáveis e para que se possa avaliar o quanto esses fatores interferem nos resultados de desempenho térmico e luminoso, além das características físicas já conhecidas do edifício e do entorno.

Ambientes de trabalho e *layouts* mais flexíveis já são uma constante no trabalho de Hertzberger (2000) e do escritório DEGW (HARRISON,

---

<sup>11</sup> O conceito de casa zero, no contexto deste artigo, está relacionado à auto-suficiência da construção quanto à energia necessária para o cumprimento das funções do edifício. No entanto, há entendimentos mais abrangentes que incluem os ciclos da água e dos resíduos.

2004), por exemplo, para o uso eficiente do espaço para menor consumo de energia por ocupante. As possibilidades de controle para o usuário são cada vez mais frequentes. No edifício adaptável, conforto e produtividade são associados à oportunidade de interagir com o edifício. As alterações na envoltória incluem, por exemplo, a valorização das visuais, as janelas que podem ser abertas, proteções solares eficientes, uma melhor proporção entre fachadas opacas e transparentes, ajustes ao longo do dia para evitar a incidência direta do sol, uso de massa térmica para resfriamento passivo, ganhos solares reduzidos, ventilação controlada e, conseqüentemente, custos menores de operação.

Com respeito ao processo de projeto, nos últimos anos a simulação computacional para a avaliação de desempenho ambiental de edifícios e de espaços abertos tem sido uma ferramenta e um campo de investigação ao mesmo tempo. Paralelamente, para muitos casos de projeto, não é mais viável tecnicamente a realização de determinados estudos de eco-eficiência sem a agilidade e a sofisticação de cálculo dessas simulações computacionais. Atualmente existe um conjunto de ferramentas computacionais para estudos desse gênero que incluem softwares como Radiance para avaliações de insolação e iluminação, TAS e Energy Plus para desempenho térmico e energético e softwares de CFD (*Computer Fluid Dynamics*) para ventilação e desempenho térmico, que são recursos usados na prática profissional e na pesquisa para análises de desempenho e conseqüentes ajustes e aprimoramentos da arquitetura.

## Prática de projeto, com destaque para o cenário brasileiro

O processo de projeto da prática profissional para a arquitetura em prol da sustentabilidade implica um trabalho de equipe no qual os arquitetos responsáveis estejam familiarizados com as questões ambientais, ao mesmo tempo em que os demais especialistas possuam um vocabulário arquitetônico e um entendimento dos demais aspectos de projeto, a fim de que a interação seja positiva e a síntese projetual aconteça com sucesso.

Como mencionado anteriormente, o resultado final no qual o edifício se diferencia por suas características na busca de um menor impacto ambiental tem como origem um processo de projeto também diferenciado. Uma investigação maior sobre possibilidades tecnológicas, por exemplo, faz parte das etapas iniciais de projeto.

No desenvolvimento do projeto, simulações computacionais sobre o desempenho ambiental ganham espaço e importância com o objetivo de informar as decisões projetuais ao longo das várias etapas e escalas do processo. O uso dessas ferramentas tem um papel didático na informação sobre as variáveis do desempenho ambiental de projetos arquitetônicos, até mesmo pelas vantagens da comunicação visual dos fenômenos físicos. Ao mesmo tempo, a operação de softwares desse tipo pressupõe um conhecimento especializado, tanto para a modelagem como para a interpretação dos resultados.

Os softwares de simulação para as avaliações de desempenho ambiental na arquitetura já são uma prática consolidada no cenário europeu, de conhecimento e uso por parte de arquitetos, engenheiros e demais profissionais de projeto. Enquanto isso, no Brasil o uso ainda é restrito e o conhecimento dessas ferramentas é encontrado em centros de pesquisa, não tendo chegado ao domínio de profissionais exclusivamente da prática de projeto.

Além das evidências em prol de uma arquitetura de menor impacto ambiental, que são largamente constatadas no cenário internacional, alguns casos recentes comprovam uma mudança de paradigma na prática de projeto no cenário nacional. Esses casos têm por base exigências referentes ao conforto ambiental, à eficiência energética e a outros tópicos da sustentabilidade, respondendo às necessidades locais e às pressões globais por soluções de menor impacto ambiental.

Empresas de grande porte no cenário brasileiro, de origem pública e privada, vêm se destacando nos últimos anos por exigir estudos sobre o desempenho ambiental na elaboração de projetos de edificações, almejando também uma maior visibilidade internacional. Porém, antes do interesse das grandes empresas, uma série de propostas de menor escala e movidas por temas ambientais já permeavam a produção arquitetônica, como a Casa Autônoma<sup>12</sup>, em Brasília, que traz a introdução de novas tecnologias para maior eficiência no uso de recursos energéticos e da água na composição arquitetônica, a Casa Eficiente<sup>13</sup>, em Florianópolis, projeto coordenado pela Eletrosul em parceria com a Eletrobrás/Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), e desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), da Universidade Federal

<sup>12</sup> <http://www.casaautonoma.com.br/>, acesso em 11 de agosto de 2006.

<sup>13</sup> <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>, acesso em 11 de agosto de 2006.

de Santa Catarina (UFSC), e o projeto do Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis (CETHS)<sup>14</sup>, desenvolvido pelo grupo de Edificações e Comunidades Sustentáveis do Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação (NORIE), vinculado à Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Os edifícios de salas de aula do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, construídos em 1998, também demonstram o uso da madeira de reflorestamento em sistemas estruturais, somado a meios passivos de condicionamento ambiental que combinam geotermia e ventilação natural, e o aproveitamento da luz natural para o alcance das condições de conforto ambiental e da síntese arquitetônica entre projeto e ambiente (KRONKA, 1998).

Retomando a discussão da prática brasileira em prol da sustentabilidade na arquitetura para os casos de maior escala e visibilidade, em 2004, a Petrobrás Brasileiro (Petrobras) promoveu um concurso envolvendo quatro escritórios de arquitetura do país para a criação do seu novo Centro de Pesquisas – CENPES II, totalizando mais de 100.000 m<sup>2</sup> na Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro. A iniciativa da Petrobras, quanto ao desempenho ambiental dos edifícios, contribuiu para a formalização do interesse das empresas públicas pela inserção de questões de sustentabilidade na construção e operação de edifícios. Por isso, a realização do CENPES II assume um papel histórico no contexto da arquitetura e da construção nacional (Figuras 6 e 7).

Entre outras exigências, pela primeira vez no Brasil o edital de um concurso de arquitetura colocou questões de sustentabilidade na arquitetura (chamadas pela Petrobras de *eco-eficiência*) em dez tópicos eliminatórios:

- (a) orientação solar adequada;
- (b) forma arquitetônica: adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para a minimização da carga térmica interna;
- (c) material construtivo das superfícies opacas e transparentes: termicamente eficiente;
- (d) superfícies envidraçadas: taxa de WWR (*window wall ratio*) adequada às condições de conforto térmico e luminoso internos;
- (e) proteções solares externas: adequadas às fachadas;

<sup>14</sup> <http://www.cpgec.ufrgs.br/norie/ceths/index2.htm>, acesso em 11 de agosto de 2006.

- (f) ventilação natural: aproveitamento adequado dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno;
- (g) aproveitamento da luz natural;
- (h) uso da vegetação;
- (i) sistemas para uso racional de água e reúso; e
- (j) materiais de baixo impacto ambiental: dentro do conceito de desenvolvimento sustentável

Do conjunto de dez exigências listadas para a eco-eficiência, as oito primeiras estão relacionadas diretamente com os aspectos do conforto ambiental e eficiência energética do projeto, cujo impacto em prol do desempenho ambiental do edifício certamente pode ser otimizado combinando conhecimentos de arquitetura e engenharia. Completando a lista, o item de número 9 refere-se aos sistemas prediais, e o número 10 diz respeito ao impacto ambiental dos materiais, considerando-se o processo de industrialização e ciclo de vida útil. A origem distinta desses requisitos gerou uma interação entre as disciplinas do projeto, incluindo arquitetura, paisagismo, estruturas, sistemas prediais e conforto ambiental, desde a etapa de concepção e proposição.

Há um mérito incontestável na iniciativa da Petrobras em valorizar aspectos do projeto que estejam fortemente relacionados com as condições climáticas locais, com o conforto ambiental e com a eficiência energética. Porém, o fato de questões básicas como orientação solar, sombreamento e outras serem listadas como eliminatórias chama a atenção para a prática corrente da arquitetura e da construção que frequentemente não considera parâmetros tão essenciais na concepção dos projetos. Tópicos essenciais como esses deveriam ser um consenso, lembrando que essa prática teve na sua história nomes como o de Lúcio Costa e outros, que marcaram a arquitetura brasileira pelas considerações para com o conforto e a adequação às características do lugar.

O projeto vencedor do concurso tem autoria arquitetônica do escritório brasileiro Zanettini Arquitetura S.A., com co-autoria do arquiteto José Wagner Garcia e um grupo de consultores, do qual o LABAUT faz parte desde a fase inicial, com contribuições para os aspectos do conforto ambiental e da eficiência energética do conjunto (GONÇALVES; DUARTE, 2005). A equipe do concurso foi ampliada, ao longo das etapas de desenvolvimento e detalhamento, com a inserção de novos consultores para tratar de áreas afins, totalizando cerca de 140 profissionais. O funcionamento dos primeiros edifícios está previsto para o 1º semestre de 2007.

O projeto foi fortemente influenciado pelo clima quente-úmido. Uma composição horizontal foi planejada segundo a orientação solar, os ventos e as vistas para o mar (Figuras 6 e 7). Os edifícios são conectados por espaços de transição entre exterior e interior, enquanto coberturas sombreadas, elementos de sombreamento de fachadas, plantas estreitas e inércia térmica leve são propostos para interagir com o clima, mantendo-se os princípios de uma arquitetura “carioca”.

Desde o estágio conceitual, foram realizadas avaliações de conforto térmico, iluminação, acústica e eficiência energética. A relevância considerada para as questões de conforto ambiental já na fase do projeto conceitual arquitetônico assegurou um desempenho potencial dos edifícios e espaços abertos a esse respeito. No decorrer do processo de projeto, softwares de simulação foram ferramentas essenciais para as análises de desempenho e conseqüentes ajustes, detalhamentos e aprimoramentos da arquitetura. Ilustrando o potencial passivo da arquitetura mesmo nas condições rigorosas de um clima como o da cidade do Rio de Janeiro, foi identificado um potencial de até 30% das horas de ocupação para o aproveitamento de ventilação nos ambientes de trabalho, o que justificou a recomendação da estratégia mista de climatização (LABAUT, 2005).

As considerações com os aspectos de sustentabilidade do projeto levaram a Petrobras ao interesse pela certificação do CENPES II como um empreendimento de baixo impacto ambiental. O sistema escolhido pela Petrobras para essa avaliação foi o *LEED - Leadership in Energy and Environmental Design*, do Departamento de Energia do Governo Norte-Americano. Para tanto, o processo de projeto, reunindo todas as áreas envolvidas, foi informado constantemente pelas diretrizes e exigências do padrão de certificação adotado.

Ciente das diferenças ambientais e climáticas entre o contexto americano e o caso brasileiro, assim como das particularidades do mercado da construção civil e de suas normalizações, a adoção desses critérios de certificação pode incorrer em incompatibilidades. Isso vale para as exigências de qualquer sistema de avaliação que venha do contexto internacional e para o efetivo impacto ambiental do projeto. Contudo, a aplicação dessa metodologia de avaliação mostrou ser válida como uma abordagem preliminar para um projeto desse porte, quanto à avaliação das questões de eco-eficiência, sem desconsiderar a necessidade de uma avaliação mais criteriosa, segundo parâmetros locais de desempenho.

Menos de dois anos depois, a Petrobras abriu outro edital para um concurso de arquitetura visando à construção de mais um centro de pesquisas, dessa vez em Vitória, ES. Nesse novo concurso, conquistado pelo arquiteto Sidônio Porto e sua equipe, foram colocados em edital os mesmos quesitos de eco-eficiência. As iniciativas recentes da Petrobras apontam para o fato de que o projeto de arquitetura com determinantes de eco-eficiência é uma exigência que pode redefinir as obras públicas no país.

Essa atitude de promover a arquitetura de menor impacto tem sido vista em outros concursos de arquitetura no país, como o promovido pela empresa de cosméticos Natura S.A. no primeiro semestre de 2005, para o centro de pós-graduação do Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), a ser construído no município de Nazaré Paulista, SP, em meio a uma área de reserva natural. O projeto vencedor foi da equipe liderada pelo arquiteto Nilton Massafumi, no qual o uso da madeira, a interação entre meio externo e interno, e a introdução de estratégias passivas para a climatização foram essenciais na criação de uma arquitetura ícone para um instituto de pesquisa que tem o meio natural e toda a sua diversidade como tema central de investigação.

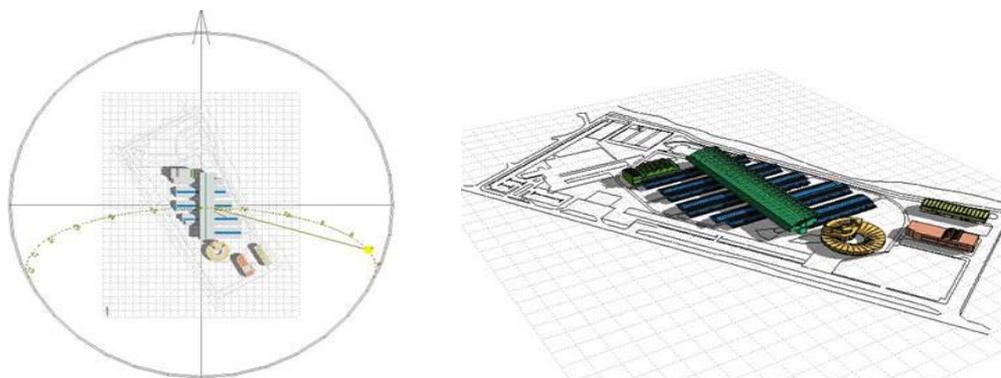
Ao contrário de projetar a favor da comunicação entre meio interno e externo e do aproveitamento de estratégias passivas, mas ainda mantendo as premissas de uma arquitetura de menor impacto ambiental, em 2006 o projeto do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Interfaces Humano-Computador para a Amazônia (LABCOG - Laboratório do Cognitus), do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ), a ser implantado na Ilha

do Fundão, RJ, explorou o potencial da arquitetura em contribuir para a eficiência energética de um edifício em que as particularidades do uso impõem sistemas ativos de condicionamento ambiental por todo o tempo de ocupação.

O projeto confere uma importância significativa ao avanço de recursos tecnológicos para a pesquisa no Brasil, pela própria função a que se destina o edifício. A construção de uma caverna, e toda a sua estrutura de apoio para investigações sobre a Amazônia em tempo real, totaliza mais de 1.500 m<sup>2</sup> de área útil. O projeto, de autoria do arquiteto José Wagner Garcia, contou com a participação do LABAUT para os estudos de eficiência energética e tem previsão de conclusão ainda em 2006. Com base em uma proposta arquitetônica bastante inusitada, o LABCOG lançou um desafio para todos os outros projetos complementares, incluindo os aspectos relacionados ao desempenho das condições ambientais internas e a eficiência energética (LABAUT, 2006).

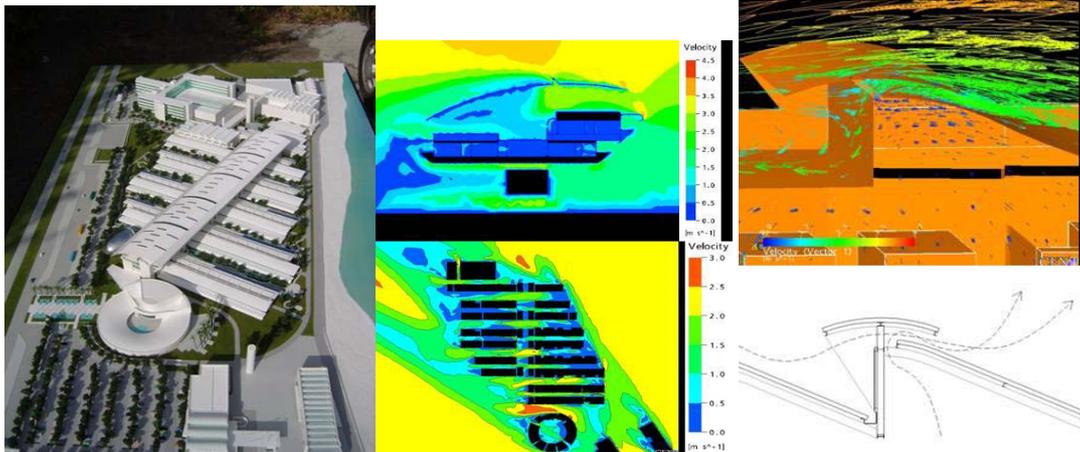
Contudo, tendo em vista que o momento da arquitetura brasileira a respeito da sustentabilidade ainda é de definições das reais necessidades e possibilidades (entre outras questões, as tecnológicas), é fundamental a formação de uma massa crítica sobre o assunto, para que sejam evitados os falsos paradigmas, nos quais o projeto não é circunstanciado técnica e contextualmente.

Além de todos esses fatores, na visão de alguns especialistas, a real mudança de paradigma para a prática profissional do arquiteto, do engenheiro e do planejador urbano está atrelada ao fato de a equipe de projeto ser reconhecida e remunerada pelos seus avanços na economia de energia, na maior satisfação do usuário e no menor impacto ambiental do edifício de um modo geral (HAWKEN; LOVINS, 2000).



Fonte: LABAUT.

**Figura 6 - Projeto do CENPES II, Petrobras. Estudo de insolação para o solstício de verão, 7 horas. Os estudos de insolação foram utilizados para as avaliações de conforto térmico no espaço externo, para o projeto de paisagismo e para a determinação de áreas para a colocação de painéis fotovoltaicos**



Fonte: modelo físico e foto Zanettini Arquitetura. Desenhos LABAUT.

(a) Modelo físico do edifício CENPES II

(b) Acima, distribuição da velocidade do vento no Edifício Central - principal edifício de escritórios do conjunto, e, abaixo, distribuição dos ventos ao redor do conjunto de edifícios no nível do pedestre (1,5 m de altura)

(c) Acima, detalhe do shed (com saída de ar protegida) da Empreiteirópolis, um dos edifícios projetados dentro da tipologia industrial, e, abaixo, desenho esquemático do shed mostrando o fluxo da ventilação de acordo com os resultados da simulação

Figura 7 - Edifício do CENPES II, Petrobrás, 2004/2005

## Ensino

Atualmente, existem instituições de ensino e pesquisa inteiramente dedicadas ao tema da Arquitetura Sustentável. Esse é o caso da School of the Built Environment, da Universidade de Nottingham, no Reino Unido, que atualmente está desenvolvendo um campus em Pequim, na China. Edifícios da escola, concebidos com esses princípios, demonstram um grande número de inovações em materiais de construção, mecanismos para iluminação natural, acumulação de calor e tratamento acústico, geração de energia nas fachadas usando células fotovoltaicas, coleta e reúso de água e investigação de outros recursos e técnicas.

Outra escola de destaque no cenário internacional é a Architectural Association School of Architecture (AA), de Londres, com 155 anos de existência, que se consolidou como um centro de excelência de reconhecido valor para se estudar e refletir sobre questões da arquitetura e do urbanismo. Primando pela experimentação, diversidade e discussão teórica, a AA reúne estudantes de mais de 60 países. Os programas de pós-graduação são marcados pelo caráter internacional dos seus alunos e professores, pela ênfase ao projeto e pelo desenvolvimento de uma visão crítica da arquitetura.

No último ano acadêmico, o programa de mestrado *Environment and Energy*, anteriormente reconhecido como *Master of Arts*, foi reestruturado para *Master of Science* (MSc) e *Master of*

*Architecture* (MArch). Esse desdobramento foi feito a fim de responder a uma demanda crescente de profissionais de projeto vindos de diferentes partes do mundo, pela aplicação direta de conhecimentos de conforto ambiental e eficiência energética na prática arquitetônica, o que vem ao encontro da natureza da AA, que é primordialmente a experimentação em projeto. Paralelamente, a pesquisa científica no curso manteve uma relação estreita com o projeto, explorando o uso de ferramentas avançadas de modelagem e simulação computacional, contribuindo para a vanguarda da pesquisa em projeto, na área do conforto ambiental e da eficiência energética (YANNAS, 2006).

Todos esses estudos pressupõem um conhecimento prévio multidisciplinar, no qual se incluem as questões de conforto e energia, como aspectos fundamentais e inerentes a esse contexto mais amplo da sustentabilidade. Da mesma forma, para que se possa desenvolver um conhecimento realmente abrangente da arquitetura sustentável, outros temas como geração de energia, reciclagem e reúso de recursos, poluição de águas e solos, transportes, etc., também fazem parte do processo. Nesse ponto, mais uma vez, fica claro o caráter multidisciplinar dessa abordagem que deve ser extensiva ao ensino da arquitetura.

Voltando ao campo do conforto ambiental e da energia, tradicionalmente o caminho do aprendizado e do desenvolvimento dessas disciplinas no projeto de arquitetura tem sido, em um primeiro momento, compreender as exigências humanas de conforto, as

trocas de calor, os fenômenos físicos envolvidos na interação do edifício como envoltória e os ambientes externos e internos. Passando da fase de concepção, o projeto ou a investigação entram em uma fase de testes e análises de propostas, na qual o desempenho ambiental e energético é avaliado de uma maneira quantitativa. Nessa segunda etapa, o uso de ferramentas computacionais (obviamente mais sofisticadas na pós-graduação) tem sido incentivado nos centros de excelência no Brasil e no exterior.

Paralelamente, as exigências humanas do conforto e, muitas vezes, demais requisitos inerentes a um uso específico, continuam delimitando a eficiência energética. Em outras palavras, por mais que um projeto seja conceituado e especificado para minimizar o consumo de energia, são as determinantes do conforto humano que definem o grau de dependência de um determinado espaço em relação aos sistemas de climatização e iluminação artificiais.

De maneira geral, no cenário das escolas brasileiras de arquitetura, a compartimentação das disciplinas relacionadas ao projeto gera a necessidade de uma disciplina obrigatória de ateliê, integrando todas as áreas do projeto, incluídos aqui todos os conteúdos de conforto ambiental e energia, para que o aluno possa realmente exercitar a síntese esperada no projeto de arquitetura.

Quanto ao exercício de projeto no ateliê, experiências recentes realizadas na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo têm mostrado que a participação de professores de conforto ambiental com experiência e visão de projeto tem sido muito produtiva para professores e alunos. Esse trânsito dos professores entre as disciplinas é um dos caminhos para que as questões de conforto e energia sejam incorporadas de uma maneira espontânea e que não sejam encaradas meramente como uma especialidade ou, ainda, como um adendo a ser considerado ou não.

Além das disciplinas obrigatórias, há uma demanda por disciplinas optativas que abordem as questões ambientais que permeiam o projeto de arquitetura e o urbanismo, sejam elas de caráter teórico ou técnico, por exemplo, sobre o desempenho de novos materiais e o funcionamento de sistemas inovadores para a geração de energia. Essas disciplinas eletivas são mais bem aproveitadas quando exigem como pré-requisitos todas as disciplinas obrigatórias de conforto ambiental e energia, situação na qual o aluno já assimilou uma série de conceitos *a priori*.

Evans (1991, 2001) descreve o desenvolvimento do ensino para uma arquitetura passiva e de baixo impacto ambiental na América do Sul, com ênfase ao caso argentino. O autor conclui que importantes

avanços na pesquisa e na capacitação profissional contrastam com as limitações impostas pela prática de projeto. No Brasil, o papel governamental na educação para uso racional de energia tem sido discutido como um dos caminhos para essa conscientização, em paralelo ao desenvolvimento da legislação (informação verbal)<sup>15</sup>.

Um fato que desperta o interesse dos alunos pelo tema é a participação em concursos estudantis de projetos de arquitetura. Entre os concursos internacionais destacam-se o EcoHouse<sup>16</sup> e o Archiprix<sup>17</sup>. Nas escolas latino-americanas, um caso de sucesso é a Bienal José Miguel Aroztegui de Arquitetura Bioclimática<sup>18</sup>. Nos últimos anos, tem aumentado a repercussão desse concurso nos ateliês das escolas de Arquitetura. A Bienal é promovida pelo Grupo de Conforto e Eficiência Energética da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) e acontece sempre nos anos ímpares, juntamente com o Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC).

Instituída no IV ENCAC, realizado 1997, em Salvador, BA, o nome da Bienal representa o reconhecimento à significativa contribuição prestada ao desenvolvimento da pesquisa e do ensino do Conforto Ambiental, no âmbito da América Latina, pelo arquiteto e professor uruguaio José Miguel Aroztegui (1937/1996). O objetivo da Bienal é promover e incentivar a incorporação das técnicas bioclimáticas na construção do habitat humano, visando otimizar sua qualidade ambiental e sua eficiência energética por meio do uso privilegiado de recursos naturais renováveis. Desde a sua instituição, já foram realizadas quatro edições com a participação de escolas de 11 países: Brasil, Argentina, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, México, Panamá, Paraguai, Uruguai e Venezuela.

Os trabalhos representantes da FAUUSP, classificados na Bienal Aroztegui de 2005, com o tema Edifícios para Hospedagem, foram desenvolvidos na disciplina AUT 268 - Conforto Ambiental 6 (ateliê de projeto), oferecida pelo Departamento de Tecnologia da Arquitetura, para resolver as questões de conforto térmico, luminoso e acústico, a partir das questões de orientação e forma, criando espaços de transição entre o interior e o exterior da construção, e promovendo diversidade

<sup>15</sup> GONÇALVES, Helder; LAMBERTS, Roberto; SOUTO MAIOR, Frederico. Eficiência energética: Brasil x Europa. Mesa Redonda no VIII ENCAC - Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió, out. 2005.

<sup>16</sup> [http://www.brookes.ac.uk/news/2004/january/nr\\_06\\_01](http://www.brookes.ac.uk/news/2004/january/nr_06_01), acesso em 11 de agosto de 2006.

<sup>17</sup> <http://www.archiprix.org/index.php>, acesso em 11 de agosto de 2006.

<sup>18</sup> [http://www.antac.org.br/gt\\_files/conforto/bienal/index.aspx](http://www.antac.org.br/gt_files/conforto/bienal/index.aspx), acesso em 11 de agosto de 2006.

ambiental nos espaços de diferentes usos. Para o desenvolvimento dos projetos, os alunos foram motivados a explorar, para diferentes climas, o uso híbrido de materiais, combinados às estratégias passivas de climatização e ao tratamento do entorno imediato das edificações (Figuras 8 e 9).

Outro papel importante é o dos trabalhos finais de graduação na exploração dessas novas idéias. Motivados pelos temas da agenda da arquitetura de baixo impacto ambiental e desafiados pelo risco constante de crises ambientais e energéticas globais, estudantes da FAUUSP envolvidos com os trabalhos do LABAUT assumiram a tarefa de pensar uma arquitetura inovadora nesse sentido.

Para diferentes tipologias arquitetônicas, considerações quanto ao conforto ambiental e a eficiência energética tornaram-se prioridade, explorando estratégias passivas inerentes às características dos projetos, englobando implantação, orientação, forma, composição das envoltórias, posicionamento e especificação dos fechamentos transparentes e outros. Paralelamente, as propostas trazem, ainda, um reconhecimento da função informativa da arquitetura na formação de uma consciência ambiental.

Juntamente com a elaboração de uma base conceitual sólida, com ênfase nas várias questões de impacto ambiental referentes à arquitetura, os exercícios de projeto foram enriquecidos técnica e cientificamente por uma série de estudos analíticos. Muitos deles foram baseados em simulações computacionais, a fim de testar a veracidade das soluções propostas para o conforto ambiental e a conseqüente eficiência energética. Contudo, vale destacar que, tendo em vista o peso das primeiras decisões de projeto no sucesso do desempenho ambiental final de um espaço urbano ou de um edifício, o esforço colocado na etapa de concepção foi significativamente maior do que o despendido na fase analítica.

Na seqüência, o resultado de alguns desses trabalhos é visto em um conjunto de propostas visionárias, de princípios ambientais, visando espaços internos mais saudáveis, ambientes de transição e espaços externos nos quais seja estimulante o uso do espaço público e dos edifícios.

Entre esse conjunto de exercícios de projeto, o trabalho intitulado “Edifício Alto na Praça 14 Bis” é guiado por princípios de conforto ambiental e eficiência energética vistos desde a forma aerodinâmica, buscando impactos positivos na ventilação urbana, e o melhor aproveitamento da ventilação natural para os vários espaços internos do edifício. Fachadas projetadas com o intuito de mediar as condições climáticas para maior conforto térmico e luminoso entre o meio externo e o interno também são determinantes no projeto. O programa da torre é definido de acordo com um uso misto, agregando atividades de capacitação profissional em espaços de ateliês de arte, oficinas, laboratórios (incluindo estufas experimentais), salas de aula, auditórios e biblioteca. São somados, ainda, lojas, um setor de escritórios para a administração das atividades da torre, uma praça de alimentação e demais áreas de encontro e lazer (Figura 10).

As considerações para com a sustentabilidade e a renovação urbana na proposta do trabalho “Indústria-Parque” começou na escolha da área de intervenção, que buscou uma localização de qualidade microclimática comprometida na cidade. Assim, um terreno na divisa entre São Paulo e São Caetano foi selecionado para a implantação do projeto, onde não apenas o clima, mas as águas e o solo também eram marcados pela poluição. Diante de tal cenário ambiental, o objetivo principal foi criar um “oásis” urbano, com o projeto de um parque industrial para reciclagem de papel, vidro e alumínio, inserido em um plano maior de recuperação ambiental da área. A proposta ultrapassa o caráter funcional da arquitetura, fazendo do seu esquema operacional também uma atividade de educação ambiental (Figura 11).



Fonte: LABAUT.

(a) 1º prêmio (Bruno Polastre, Lenita Pimentel, Renata Sandoli, Cássio Vinicius Pereira)

(b) Menção honrosa (Marília Sayuri Chino, Karina Yuri Irino, Eduardo Luis Telles de Abreu e Silva, Milena Satie Shikasho e Marcelo Tomé Kubo)

**Figura 8 - Projetos FAUUSP premiados na Bienal Aroztegui, com o tema Edifício para Hospedagem, ambos desenvolvidos para a cidade de Porto Alegre - RS**

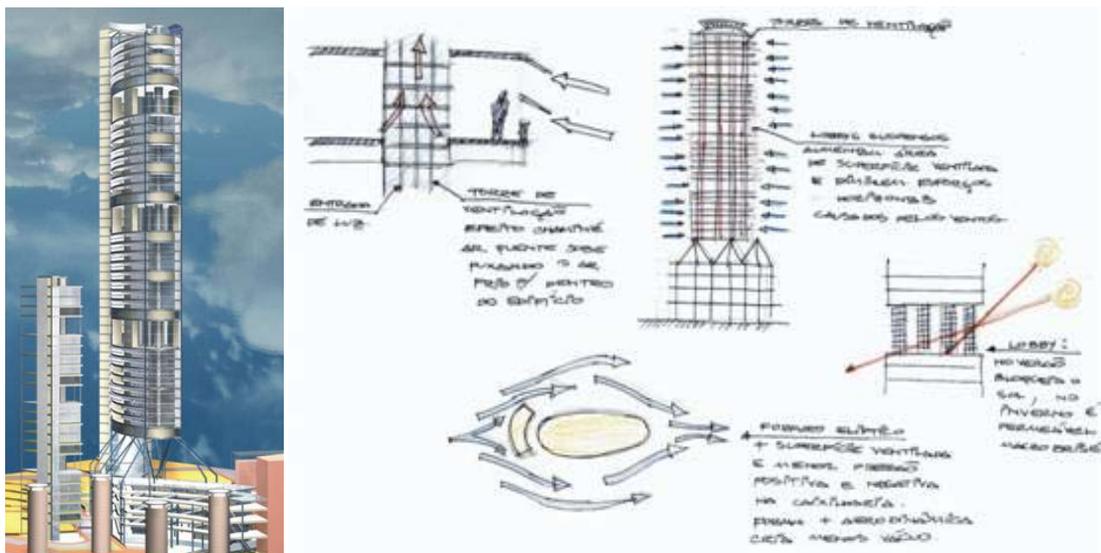


Fonte: LABAUT.

(a) Projeto selecionado entre os 12 primeiros (Amer Moussa, Juliana Maggiore, Paula Coyado, Marcella Áquila), desenvolvido para a cidade de Porto Alegre

(b) Projeto selecionado entre os 30 primeiros (Bruno Henrique Emmanuel Mendes, Lílian Mayumi Mitsunaga, Maria Flavia Iwai, Camila del Gaudio Orlando e Simone Shoji), desenvolvido para a cidade de Fortaleza

**Figura 9 - Projetos FAUUSP na Bienal Aroztegui, com o tema Edifício para Hospedagem**



Fonte: LABAUT.

Figura 10 - Edifício Alto na Praça 14 Bis, Avenida 9 de Julho, São Paulo. O marco arquitetônico se torna também um marco urbanístico, trazendo tecnologia, estratégias passivas e soluções espaciais e estruturais no desafio do edifício alto<sup>19</sup>

O trabalho “Região Bragantina: Construindo sua Paisagem” traz o objetivo de criar uma paisagem urbana, relacionando diferentes elementos do ambiente natural local, sendo estes a topografia acidentada marcada pelo relevo das montanhas, a água das represas e o desenho geométrico das plantações da região de Bragança Paulista, SP. O programa de atividades, contendo um mercado, uma estação ferroviária e uma escola profissionalizante vem evidenciar a função econômica da cidade na produção e na distribuição de alimentos para a região metropolitana. É concebido um complexo arquitetônico no qual o organicismo da forma e a diversidade de técnicas construtivas e materiais, combinando o aço, a madeira, o vidro e o concreto são trabalhados na criação de um ícone arquitetônico. Nesse projeto, as soluções para o cumprimento das exigências de conforto ambiental, como o sombreamento, a iluminação e a ventilação natural, de espaços externos e internos também servem à expressão formal da arquitetura (Figura 12).

O projeto para o “Centro de Tecnologia e Educação Ambiental” foi desenvolvido para a área da Estação Guanabara, antiga estação ferroviária em Campinas, SP. Trata-se de uma construção de valor histórico, atualmente desativada e em estado de degradação, vizinha à sede do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e localizada a cerca de 12 km do centro da cidade. Composto do edifício principal de 1883, da antiga vila dos ferroviários e do ex-Estádio

do Mogiana, o conjunto está em processo de tombamento, aberto pelo patrimônio histórico em 1999 por apresentar significativo valor histórico, arquitetônico e urbanístico para a cidade. O programa de atividades foi elaborado para atender aos usos de laboratórios voltados à tecnologia para fins ambientais. O terreno de dimensões alongadas leva a uma composição arquitetônica que valoriza a forma longitudinal, em que uma extensa cobertura têxtil, montada sobre uma estrutura metálica, é projetada como um abrigo que oferece um primeiro grau de proteção contra as intempéries para ambientes internos, alguns deles climatizados artificialmente. Assim como nas demais propostas, a iluminação e a ventilação naturais são determinantes da forma e de seus aspectos funcionais. Os edifícios da antiga estação são incorporados no complexo arquitetônico, envolvidos por um prolongamento da cobertura principal. As atividades dos laboratórios também ocupam o espaço externo aos edifícios, a fim de contribuir para a recuperação do verde no local. O programa inclui ainda a revitalização da vila operária ao lado do terreno, para a qual é idealizado o uso de tecnologias limpas, como o uso de painéis fotovoltaicos para geração de energia (Figura 13).

O trabalho “O Equilíbrio entre Comunidades e Áreas de Proteção Ambiental: a Proposta do Bairro do Banhado” aborda o conflito entre um assentamento urbano em área de proteção ambiental e o seu impacto nessa área. O local é a comunidade

<sup>19</sup> Trabalho Final de Graduação, Alexandre Rosenthal, 2001/1.

Nova Esperança, localizada no Banhado, em São José dos Campos, SP. Além dos aspectos ambientais do plano de ocupação, especial cuidado foi tomado com a proposta de ocupação por agroecologia, essencial para a sustentabilidade social e econômica da população. O trabalho envolveu a concepção de um assentamento habitacional, de comércio e serviços, com aproveitamento dos recursos naturais, buscando um equilíbrio entre as necessidades da comunidade e o ambiente natural (Figura 14).

No trabalho “Arquitetura Informada Pelos Processos Urbanos: Edifício, Espaço e Cultura Urbana” é explorado o potencial dos miolos de quadra em ambientes urbanos de alta densidade construída que sejam próximos a núcleos de transporte público. O projeto propôs a reorganização de uma área da cidade de São Paulo a partir das possibilidades de reconversão da cidade existente. O processo de reciclagem partiu da interação da cidade existente com o novo, implantado em seu negativo (espaços tridimensionais restantes na cidade). As mudanças no desenho urbano foram propostas fundamentalmente a partir da reorganização dos fluxos de pedestres e do prolongamento de atividades do entorno para o interior das quadras.

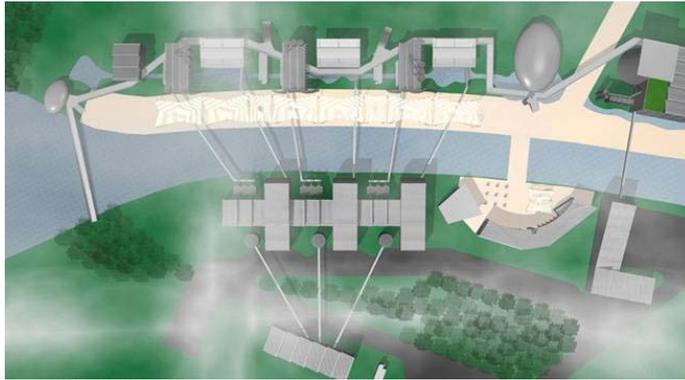
O desenho dessas mudanças é informado por um estudo de fluxos (propostos e existentes), um estudo de insolação e das necessidades de conforto diversas às diferentes atividades praticadas pelos passantes (passagem rápida, lenta ou área de estar e lazer), um estudo de ventilação que inclui o vento como elemento fundamental na lógica de composição do espaço e conforto térmico ao usuário, questões de densidade urbana, questões sobre a diversidade social e de atividades existentes nesse espaço e questões sobre a viabilidade da economia desse local na esfera da cidade.

Construído no miolo da quadra, fortemente articulado com o existente, o projeto configura um equipamento urbano para a cidade, articulando a escala metropolitana e a local por meio dos percursos (da rede de transporte público e dos deslocamentos de pedestres). Esse tipo de articulação confere identidade ao novo e cria percursos próprios. O equipamento criado otimiza a utilização da infra-estrutura existente, dos domínios públicos e privados, reciclando espaços por meio da valorização dos percursos e das relações entre eles e a massa construída existente (Figura 15).

No trabalho “Centro Profissionalizante e de Cultura Jabaquara”, a arquitetura bioclimática encabeça uma releitura de uma casa bandeirista para subsidiar um projeto de criação do Centro Cultural Jabaquara, para o complexo do Sítio da Ressaca, Zona Sul da cidade de São Paulo, renovando suas qualidades com novos desenhos e formas, tecnologias e materiais atuais nesse novo edifício. O projeto propôs a construção de um centro profissionalizante e de cultura que atendessem à demanda da população local e de toda a sub-região do Jabaquara. Nos dias atuais, embora o Jabaquara se encontre em uma área central, é uma região ainda não consolidada, em fase de transformação urbana e com um grande potencial para o desenvolvimento socioeconômico (Figura 16).

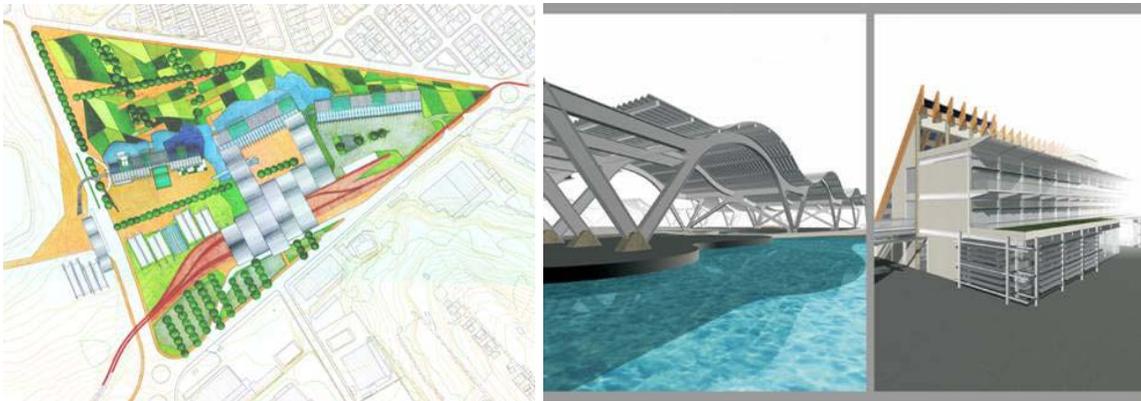
O trabalho “Educação, Cultura e Acessibilidade. Nova Centralidade: Pátio do Pari” trata de um dos maiores vazios da área central da cidade de São Paulo. Por muito tempo, o fato de as terras pertencerem a companhias ferroviárias e a falta de interesse nos bairros que abrigaram a primeira industrialização paulistana – Brás, Pari, Mooca, entre outros – mantiveram o terreno do pátio como um local esquecido na região central, com trens de carga e de passageiros abandonados; os galpões construídos para armazenar produtos e café, com a ação do tempo e sem manutenção, deterioraram-se e hoje se encontram em péssimas condições de preservação. Nos últimos anos, a orla ferroviária paulistana despertou a atenção do poder público, que vem se manifestando com o intuito de reverter o processo de esvaziamento do centro e crescimento da periferia.

Para tanto, as Operações Urbanas Consorciadas, que abrigam as linhas férreas e seu entorno, e projetos de revitalização de edifícios nas áreas centrais, têm ganhado espaço nas discussões políticas e no planejamento urbano municipal. O trabalho teve por objetivo a proposta de uma escola profissionalizante que atendessem à demanda local por mão-de-obra especializada e de uma estação de trem que pudesse atender à população dos bairros do Brás e do Pari e atrair maior interesse pelo adensamento habitacional e pela diversidade de usos para a região. Ao encontro de algumas das propostas do atual Plano Regional para a Subprefeitura da Mooca, o projeto visa à transformação desse enorme terreno em um parque municipal, oferecendo áreas de lazer e cultura para a cidade, com o tombamento e a restauração dos galpões existentes (Figura 17).



Fonte: LABAUT.

Figura 11 - Indústria-Parque<sup>20</sup>



Fonte: LABAUT.

Figura 12 - Região Bragantina: Construindo sua Paisagem<sup>21</sup>



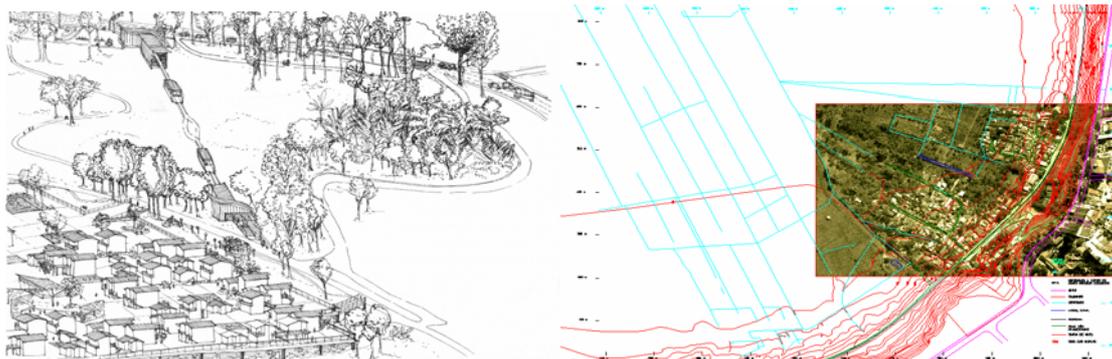
Fonte: LABAUT

Figura 13 - Centro de Tecnologia e Educação Ambiental (CETEA): Conscientização e Revitalização do Espaço na Cidade<sup>22</sup>

<sup>20</sup> Trabalho Final de Graduação, Gustavo Brunelli, 2001/2.

<sup>21</sup> Trabalho Final de Graduação, Gustavo Picarelli, 2002/1.

<sup>22</sup> Trabalho Final de Graduação, Mônica Marcondes, 2002/2.



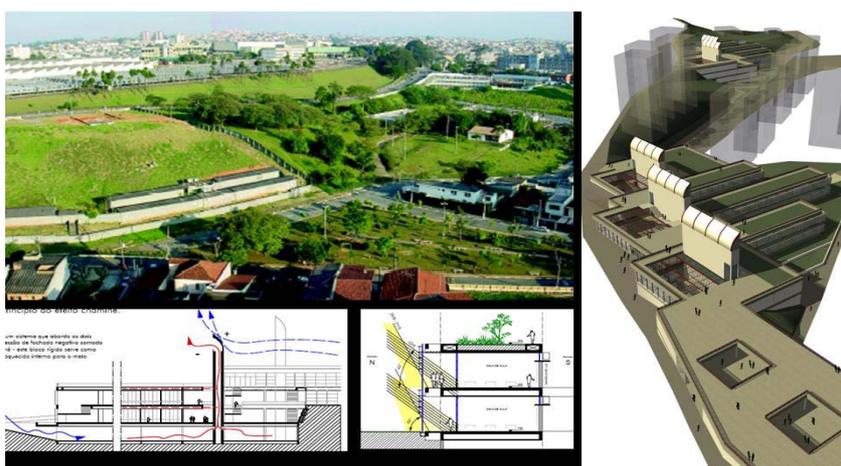
Fonte: LABAUT.

Figura 14 - O Equilíbrio entre Comunidades e Áreas de Proteção Ambiental: a Proposta do Bairro do Banhado<sup>23</sup>



Fonte: LABAUT.

Figura 15 - Arquitetura informada pelos processos urbanos: edifício, espaço e cultura urbana<sup>24</sup>



Fonte: LABAUT.

Figura 16 - O conforto ambiental aplicado ao Centro Profissionalizante e de Cultura Jabaquara<sup>25</sup>

<sup>23</sup> Trabalho Final de Graduação, Daniela Rizzi, 2004/1.

<sup>24</sup> Trabalho Final de Graduação, Marcos Rosa, 2004/2.

<sup>25</sup> Trabalho Final de Graduação, Fábio Faria, 2004/2.



Fonte: LABAUT.

Figura 17 - Educação, Cultura e Acessibilidade - Nova Centralidade: Pátio do Pari<sup>26</sup>

## Considerações finais

A importância do tema da sustentabilidade, com destaque para as questões ambientais, tem um peso certamente crescente e determinante para a concepção da arquitetura e do ambiente construído como um todo, que vem ganhando abrangência no contexto global. No entanto, uma série de perguntas sobre o futuro da arquitetura sustentável permanece, englobando definições, possibilidades, métodos e metas.

Especialmente quanto aos indicadores, fica a questão sobre a capacidade de os *checklists* definirem sustentabilidade. A esse respeito, pode-se dizer que, enquanto o desempenho ambiental da construção pode ser medido pelos sistemas de avaliação, a síntese que deve ser realizada pela concepção para a arquitetura sustentável não tem como ser integralmente contemplada por esses mesmos métodos.

No campo do ensino, com ênfase para o cenário nacional, a grande maioria das escolas de arquitetura ainda apresenta uma secção entre os ateliês de projeto e a aplicação dos conhecimentos básicos do conforto ambiental, da eficiência energética e da sustentabilidade. Porém, pressões externas por soluções de projeto em prol de uma arquitetura de menor impacto ambiental e mais sustentável, somadas à evolução de métodos e técnicas para a interface entre o projeto e as variáveis ambientais tendem a transformar esse cenário em médio e longo prazos. Exemplos de tais métodos e técnicas são as ferramentas computacionais e as avaliações de desempenho existentes.

Certamente, a criação de verdadeiros paradigmas da arquitetura sustentável, cada vez mais, exige uma integração maior entre pesquisa, prática e ensino. Para que essa síntese aconteça, é imprescindível que todos os profissionais envolvidos no projeto de arquitetura estejam familiarizados com as questões de conforto ambiental, ainda que no campo conceitual; por outro lado, é fundamental que os pesquisadores e professores de conforto ambiental tenham familiaridade e certo envolvimento com as questões da prática do projeto.

Tanto na prática como no ensino, a simulação computacional ainda é um ponto crítico. Os programas de simulação computacional com resultados gráficos avançados são complexos nos dados de entrada e na modelagem. Sem uma base sólida de trocas de calor e mecânica de fluidos, principalmente, o usuário não tem condições de interpretar corretamente os resultados. Nesses casos, a fidelidade da representação do fenômeno é ainda mais importante do que a fidelidade formal. Já os softwares mais simplificados, adotados pelos cursos de graduação, pressupõem uma simplificação formal que não atende às idéias de projeto.

A arquitetura para a sustentabilidade não tem porte nem lugar, ou seja, a pertinência do tema cabe a qualquer tipologia de edifício e a qualquer função, em qualquer contexto, assim como não define tecnologia ou, até mesmo, partido arquitetônico. Na prática de projeto, os resultados mostraram uma grande variedade de propostas arquitetônicas e tecnológicas. Parte delas trata o tema sob uma ótica predominantemente vernacular, outras

<sup>26</sup> Trabalho Final de Graduação, Tatiana Moreira de Souza, 2005/1.

trabalharam com uma abordagem mais industrial e racionalizada, explorando uma imagem mais contemporânea do objeto arquitetônico, que em alguns casos vai além do conforto e da energia nas relações com o ambiente natural, na medida em que incorporam aspectos estéticos inspirados em formas orgânicas pouco convencionais.

Com enfoque na arquitetura brasileira contemporânea, um grupo de arquitetos, em conjunto com suas equipes de projeto e consultoria, aproxima-se da temática da sustentabilidade na arquitetura, podendo ser por um ou mais aspectos do projeto ou pelo processo de síntese, mostrando diversidade nas soluções arquitetônicas, que, entre outros fatores, é fruto das condicionantes climáticas.

Nesse grupo encontram-se a arquitetura de materiais e técnicas vernaculares de Severiano Porto, João Castro Filho e outros no norte do país, o modernismo com princípios de conforto ambiental de Acácio Gil Borsó, no Nordeste, as iniciativas de Roberto Loeb e Botti Rubin, que mais uma vez primam pela valorização do conforto e da eficiência energética em edifícios-marco da arquitetura contemporânea em São Paulo, e os projetos de Sidônio Porto e Sigbert Zanettini, ressaltando aqueles desenvolvidos para a Petrobras nos últimos anos. Na exploração do uso de materiais, passando pelos elementos cerâmicos, concreto, aço e madeira, destacam-se os trabalhos de Marcos Acayaba. Do grupo de arquitetos atuantes no cenário nacional hoje, vale especial destaque para toda a carreira de João Filgueiras Lima, Lelé, em que a economia, a industrialização, a racionalização, o conforto ambiental e a eficiência energética inspiraram o aprimoramento de sua arquitetura, presente em quase todo o país.

## Referências

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 55-2004: **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.

BATTLE, Guy; McCARTHY, Christopher. **Sustainable ecosystems and the built environment**. London: Academy Press, 2001.

BRANDÃO, Rafael. **Acesso ao sol e à luz natural**: avaliação do impacto de novas edificações no desempenho térmico, luminoso e energético do seu entorno. 2004. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2000**. Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2003.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT - BRE. BREEAM 2002 for Offices. London: ECD **Energy and Environment**; University Press, Sept. 2001.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future**: The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University, 1987.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DUARTE, Denise; BRANDÃO, Rafael; PRATA, Alessandra. Environmental criteria incorporation in a Brazilian building code. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...**Eindhoven: PLEA International, Technische Universiteit, 2004. v. 1, p. 543-548.

DUARTE, Denise. LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. **Pós**, São Paulo, n. 15, p. 132-141, jun. 2004.

EUROPEAN UNION. Energy in Europe, European Union Energy Outlook to 2020. **The Shared Analysis Project**, Special Issue. European Commission, Nov. 1999.

EVANS, John Martin. Bioclimatic traditions in South America: lessons for the past and pointers for the future. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 9., 1991, Seville. **Proceedings...** Dordrecht: PLEA, 1991. p. 7-16.

EVANS, John Martin. Passive and low energy architecture education for change in South America. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: PLEA, 2001. p. 5-9.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

GIRARDET, Herbert. **Cities, people, planet**: liveable cities for a sustainable world. Chichester: Wiley Academy, 2004.

GONÇALVES, Helder. Situação dos edifícios residenciais em Lisboa face à actual regulamentação térmica. In: NUTAU – Seminário Internacional, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU/FAUUSP, 2000.

GONÇALVES, Joana. The tall building and the city: the discussion about urban sustainability. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA International, Technische Universiteit, 2004.

GONÇALVES, Joana. **A sustentabilidade do edifício alto**: discussão sobre a inserção urbana de edifícios altos. 2003. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GONÇALVES, Joana; DUARTE, Denise. CENPES II, o novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro: uma atitude ambiental inovadora na arquitetura brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 4., Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

HARRISON, Andrew; WHEELER Paul; WHITEHEAD, Carolyne (Ed.). **The distributed workplace**. London: DEGW, Spon Press, 2004.

HAWKEN, Paul; LOVINS, Amory; LOVINS, Hunter. **Capitalismo natural**: criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Cultrix, 2000.

HERTZBERGER, Herman. **Space and the architect**: Lessons in Architecture 2. 010 Publishers, 2000.

HEWITT, Mark; HAGAN, Susannah. **City fights**: debates on urban sustainability. London: James and James, 2001.

International Standards Organization. **ISO 6241**: Performance Standards in Building: Principles for their preparation and factors to be considered. 1984.

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

KATZSCHNER, Lutz. Open Space Design Strategies based on thermal comfort analysis. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA International, Technische Universiteit, 2004. v. 1, p. 19-22.

KRONKA, Roberta. **Impacto e consumo energético embutido em materiais de construção**: técnicas construtivas. 1998. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LABAUT. CENPES-II, **Arquitetura e Eco-eficiência: clima, insolação e índices de conforto** (Relatório técnico de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2004.

\_\_\_\_\_. CENPES-II, **Arquitetura e Eco-eficiência: conforto e desempenho térmico das edificações** (Relatório técnico de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2004.

\_\_\_\_\_. CENPES-II, **Arquitetura e Eco-eficiência: conforto e desempenho luminoso das edificações** (Relatório técnico de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2004.

\_\_\_\_\_. CENPES-II, **Arquitetura e Eco-eficiência: conforto e desempenho acústico das edificações** (Relatório técnico de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2004.

\_\_\_\_\_. CENPES-II, **Acompanhamento para adequação do padrão LEED** (Relatório técnico de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2004.

\_\_\_\_\_. LABCOG – **Conforto Ambiental e Eficiência Energética** (Relatório técnico de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2006.

\_\_\_\_\_. **Sustainable urban spaces. Intermediate report: context studies and the strategy for sustainable urban design. Colaboração Internacional Brasil-UK**. (Relatório de pesquisa de acesso restrito). São Paulo: FAUUSP, 2006.

MARCONDES, Mônica. **Doublé-skin facades in high-rise office buildings in São Paulo: a possible environmental solution?** 2004. Dissertação (Máster) - Architectural Association Graduate School, London, 2004.

MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; MEADOWS, Dennis L. **Limits to growth: The 30-Year Update**. White River Junction: Chelsea Green, 2004.

MIANA, Anna C. **Avaliação do desempenho térmico de brises transparentes**: ensaios em células-teste. 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NICOL, Fergus. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, n. 36, p. 628-637, 2004.

NIKOLOPOULOU, Marialena. **Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach**. RUROS: Rediscovering the Urban Real and Open Spaces. CRES - Centre for Renewable Energy Sources, Department of Buildings, Greece, 2004.

OLESEN, B. W.; PARSONS, K. C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. **Energy and Buildings**, n. 34, p. 537-548, 2002.

PANK, Will; GIRARDET, Herbert; COX, Greg. **Tall buildings and sustainability report**. London: Corporation of London, Faber Maunsell, Mar. 2002.

PRATA, Alessandra. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano**. 2005. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip (Ed.). **Cities for a small planet**. London: Faber and Faber, 1997.

RUSSO, Filomena. **Climatic responsive design in Brazilian Modern Architecture**. 2004. Dissertation (Master) - Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, Cambridge, 2004.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

STEEMERS, Koen; STEANE, Mary Ann. **Environmental diversity in Architecture**. London: Spon Press, 2004.

THE GREEN APOCALYPSE. The Pragmatists versus the Idealists. In: *Architectural Design - AD, The Architecture of Ecology*. London, Academy Press, p. 94, 1997.

YANNAS, Simos. Sustainable Design in Architecture: the environment as form generator-not a waste bin. **Pós**, São Paulo, n. 19, p. 10-24, jun. 2006. (Apres. Joana Gonçalves).