

# EDIFÍCIO AMBIENTAL

Joana Carla Soares Gonçalves  
Klaus Bode  
organizadores

oficina de textos

# [ Introdução ]

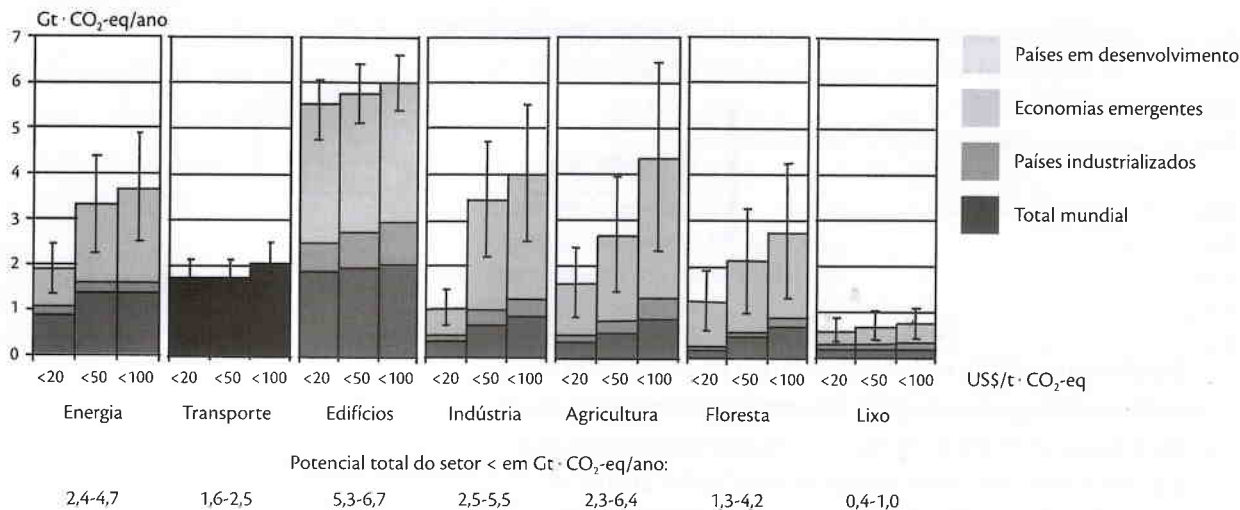
JOANA CARLA SOARES GONÇALVES

Desde os anos 1990, a discussão sobre o impacto ambiental de edifícios vem ganhando peso na agenda de uma série de cidades e países ao redor do mundo, alcançando dimensões globais em *The Green Economy Report* (Unep, 2011a, 2011b), do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O relatório foi elaborado para informar políticas públicas e iniciativas privadas sobre o potencial de transformação socioeconômica associado a investimentos em prol de um melhor desempenho ambiental do setor de edificações.

Aproximadamente 25% do consumo da energia primária produzida no mundo está atrelado ao uso e à ocupação de edifícios, sendo os países desenvolvidos (ou industrializados) os responsáveis pela maior parcela desse consumo (Levine et al., 2007). Como consequência, o setor de edificações foi identificado como líder mundial em emissões de CO<sub>2</sub>, no quarto relatório produzido pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (International Panel of Climate Change, IPCC). No entanto, o mesmo relatório também identifica o setor como aquele com o maior potencial de redução das suas emissões de CO<sub>2</sub>, em função das oportunidades de projeto, avanços tecnológicos e comportamento do usuário.

Estudos realizados pelo IPCC (2007) em 36 países apontam para a possibilidade de 29% de redução das emissões do setor das edificações até 2020, a custo zero. As estimativas do IPCC são ainda mais animadoras quando sugerem que cerca de 90% de redução do consumo de energia em edifícios pode ser alcançado com um investimento inferior a U\$ 20,00 por tonelada de CO<sub>2</sub> (Fig. I.1).

Segundo projeções apresentadas em *The Green Economy Report*, com o investimento de um décimo do percentual do PIB mundial estimado para acionar a transição da economia em direção a uma condição mais *verde*, as emissões mundiais de CO<sub>2</sub> causadas pelo setor de edificações caem para valores menores do que os calculados para 1990. Esse é o desempenho equivalente a 43% de redução das emissões estimadas para o cenário conhecido como *business as usual*, ou seja, de um crescimento futuro do setor sem investimentos para a melhoria da sua eficiência energética (Unep, 2011a) (Figs. I.2 e I.3). Vale ressaltar que, como todos esses números se referem ao contexto global, projeções e metas devem ser recalculadas para as diferentes realidades regionais e locais.

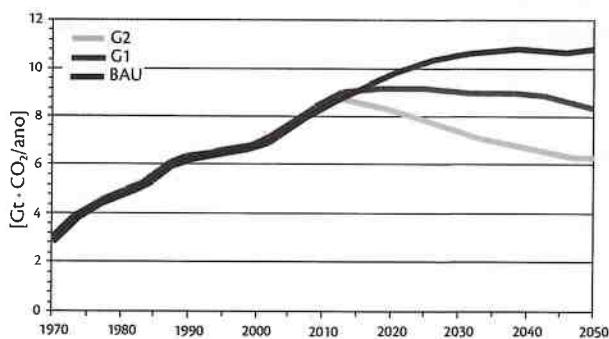


**Fig. 1.1** Comparação do potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, como consequência de diferentes níveis de investimento financeiro (< US\$ 20,00; < US\$ 50,00; e < US\$ 100,00), em uma série de setores da economia mundial, incluindo o setor de edificações  
Fonte: Unep (2011a).

Simultaneamente à redução do impacto ambiental, acredita-se que os investimentos para as reduções das emissões dos edifícios conduzam a um crescimento mundial do setor e do PIB, incluindo um aumento da demanda energética, que é contrabalanceado pelo aumento da eficiência nos processos de consumo (Unep, 2011a).

Apesar de os países desenvolvidos (também chamados de industrializados) ainda ocuparem uma posição predominante nas emissões de CO<sub>2</sub> do contexto global, as projeções de um modesto crescimento econômico e populacional apontam para um aumento pouco expressivo do consumo de energia em edifícios nesses países nas próximas décadas. Olhando para o caso da Europa, em particular, aproximadamente 75% do estoque para o residencial necessário para 2050 já está construído (Ravetz, 2008). Diante dessa realidade, no que se refere ao desempenho ambiental do setor, a requalificação de edifícios ganha importância sobre a construção de novos empreendimentos.

Em contrapartida, o crescimento populacional, acompanhado pelo rápido processo de urbanização em determinadas partes do mundo em desenvolvimento,



**Fig. 1.2** Comparação das emissões de CO<sub>2</sub> do setor de edifícios de 1970 até 2050 entre três cenários: *business as usual* (BAU) e aqueles referentes aos investimentos sugeridos em *The Green Economy Report*  
Fonte: Unep (2011a).

anuncia uma mudança de foco. O setor da construção de edifícios residenciais e comerciais tem um crescimento atual, em média, de 7% na China e de 5% na Índia e no sudeste da Ásia, contra 2% nos países desenvolvidos como um todo (Baumert; Herzog; Pershing, 2005). Paralelamente, a projeção de crescimento populacional no conjunto dos países em desenvolvimento é de 2,3 bilhões para as próximas quatro décadas (UN; Desa, 2009). Além da crescente demanda habitacional, estudos publicados pela organização World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2007), mostram que o processo acelerado de urbanização e crescimento de cidades do Brasil, China e Índia (para citar os casos de maior peso no cenário mundial)

tem como consequência uma demanda expressiva por novos edifícios comerciais. Na China, prevê-se até 2020 um aumento de 70% do estoque da área comercial exis-

tente em 2007 (aproximadamente 3,5 bilhões de metros quadrados construídos) (Zhou et al., 2007).

Junto às perspectivas de crescimento do número de edifícios comerciais ao redor do mundo e do consequente impacto ambiental associado ao desempenho energético, como apontado em *The Green Economy Report* (Unep, 2011a, 2011b), o déficit habitacional nas grandes cidades dos países em desenvolvimento e de economias emergentes também demanda respostas de projeto visando ao desempenho e à qualidade ambiental.

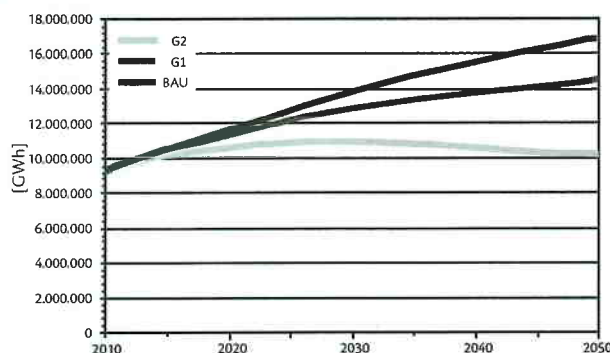
Além da construção do novo, é importante considerar que, em países e cidades onde o déficit habitacional é um dos maiores desafios para o desenvolvimento socioeconômico, como no Brasil, a reabilitação de edifícios existentes em centros urbanos consolidados tem o potencial de contribuir para programas habitacionais, com respostas econômicas, criativas e eficazes, tornando-se mais um nicho de mercado a ser explorado.

É sabido que a energia consumida no setor das edificações varia consideravelmente entre regiões e países, de acordo com as condições climáticas, o poder econômico, tecnologia disponível e padrões culturais. A demanda para o aquecimento dos ambientes na China, por exemplo, equivale a 35% do total, seguida pelo aquecimento da água, com 30%. Já na Índia, de 60% a 70% do consumo energético no setor residencial se destina exclusivamente à preparação de comida (WBCSD, 2007). No Brasil, a distribuição do consumo de energia elétrica por uso final no setor residencial mostra uma realidade diferente das anteriores, com a predominância dos eletrodomésticos somada à iluminação artificial totalizando 60%, seguidos pelo aquecimento de água, com mais 30%. A geladeira e o freezer somados equivalem a 40% do total (Ghisi; Gosch; Lamberts, 2007). No setor residencial dos países desenvolvidos, em que a grande maioria está localizada em regiões de clima temperado e frio, o aquecimento de ambientes internos representa em média 60% do consumo energético total, seguido pelo aquecimento de água, com 18% (WBCSD, 2007).

Já nos países em desenvolvimento, cuja maioria se encontra em regiões mais quentes do globo, grande parcela da energia consumida no setor residencial é destinada a eletrodomésticos e ao aquecimento da água, como no Brasil. Nesses casos, o foco inicial para a redução da demanda de energia deve ser na introdução de tecnologia mais eficiente e, obviamente, na adoção de condutas comportamentais em prol de um consumo mais consciente.

Sobre os edifícios comerciais de uma forma geral, há a predominância da demanda pelo resfriamento artificial e o consequente consumo de energia elétrica, independente do contexto climático, sendo essa dependência dos sistemas ativos de climatização uma das características mais marcantes da cultura internacional do ambiente de trabalho ao redor do mundo.

Como resultado, uma pesquisa realizada pelo IPCC indica que 60% da energia elétrica consumida no planeta vem do uso e operação de edifícios residenciais



**Fig. 1.3** Comparação da demanda energética do setor de edifícios de 2010 até 2050 entre três cenários: *business as usual* (BAU) e aqueles referentes aos investimentos sugeridos em *The Green Economy Report*

Fonte: Unep (2011a).

e comerciais (Levine et al., 2007). No Brasil, o condicionamento de ar em edifícios comerciais é referente a aproximadamente 47% do total da energia elétrica consumida no país, seguido pela iluminação artificial, com 22% do total (Eletrobras, 2007). Em um futuro de aquecimento do clima do planeta, em particular do ambiente urbano, o crescimento estimado para o setor de edifícios nos países em desenvolvimento traz pressões econômicas e ambientais atreladas ao aumento da demanda pela climatização artificial e, conseqüentemente, pela energia elétrica.

A Agência Internacional de Energia (IEA, International Energy Agency) define o edifício de menor impacto ambiental, denominado *edifício verde*, como sendo aquele de maior eficiência energética e menor consumo de água e materiais, além de promover a qualidade do ambiente interno (IEA, 2008). Essa definição da IEA foi adotada no contexto do *The Green Economy Report*, da Unep (2011a), para o modelo de edifício cujo investimento contribui para a transformação do impacto ambiental do setor de edificações.

O consumo de energia por metro quadrado é certamente o principal indicador de desempenho energético de um edifício. Passando para o contexto global, o principal indicador é a emissão de CO<sub>2</sub>, como já comentado anteriormente. Com esses dois indicadores, tem-se uma boa compreensão do impacto ambiental de um edifício em termos locais e globais.

É sabido que, além da influência do clima, a demanda energética derivada da climatização e da iluminação artificial está intrinsecamente relacionada com o projeto de arquitetura, as características termofísicas da construção, as particularidades do uso e ocupação e, também, a eficiência dos sistemas. Mudanças no estilo de vida e nas formas de trabalho das sociedades contemporâneas são fatores que afetam o uso de equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos e a conseqüente geração de calor, com implicações diretas sobre as condições térmicas dos espaços internos.

Como proposto pela teoria e comprovado em muitos exemplos da prática, antes de serem um mero resultado da eficiência de sistemas tecnológicos, questões fundamentais de projeto e ocupação guardam um grande potencial de minimização do consumo de energia em edifícios.

## **O MOMENTO DE UMA REVISÃO CRÍTICA**

Apesar de instituições de porte internacional, como IPCC, Unep (United Nations Environment Programme) e outras, discutirem amplamente os porquês dos investimentos na realização do *edifício verde*, como é popularmente conhecido, a falta de esclarecimento sobre o que é o edifício de menor impacto ambiental, em diferentes contextos ambientais e socioeconômicos, traz o risco da criação de falsos paradigmas.

A verdade é que décadas de euforia com as possibilidades da tecnologia dos sistemas prediais (que no Brasil, em particular, teve início na década de 1960, com a influência da prática norte-americana sobre os escritórios brasileiros responsáveis pela produção da arquitetura comercial) resultou no esquecimento da noção de como se projetar com o clima, criando mitos e ideias falsas como a impossibilidade da ventilação natural em edifícios de escritório, principalmente, nos edifícios altos.

Indo mais além, a falta de um entendimento conceitual e técnico sobre o tema, com base em valores e possibilidades contemporâneos, direciona os interessados



em uma linha reta em direção aos sistemas de certificação de *edifícios verdes*, que são apenas uma parte da história e nem sempre a melhor ferramenta para medir o grau de desempenho ambiental de um edifício. A popularidade das certificações sem uma abordagem crítica dos seus conteúdos acaba fazendo da sua real contribuição para a avaliação do desempenho ambiental de um edifício uma questão secundária à obtenção do selo.

Assim, enquanto as vantagens econômicas e ambientais de investimentos no setor das edificações em prol de um menor impacto ambiental são claramente demonstradas pelas projeções apresentadas no *The Green Economy Report* (Unep, 2011a), voltando a discussão para o significado e as possibilidades do edifício ambiental, a reformulação de referências teóricas de conforto ambiental e desempenho energético abre um leque de oportunidades para novas explorações no campo do projeto.

Simultaneamente, conquistas da prática alcançadas nas últimas duas décadas são exemplos de verdadeira inovação tecnológica e arquitetônica, na medida em que questões fundamentais sobre o desempenho ambiental de edifícios vêm passando por um processo de profunda revisão crítica. Entre elas, pode-se mencionar: o conceito de conforto ambiental, métodos e ferramentas para o processo de projeto, a integração entre soluções arquitetônicas e da engenharia de sistemas prediais e, até mesmo, o conceito de valor econômico dos edifícios e de suas qualidades ambientais.

No âmbito do conforto ambiental, dá-se uma ênfase maior sobre aspectos de qualidade do que em condições restritas e fixas de variáveis climáticas, incluindo temperatura, umidade e velocidade do ar, assim como níveis de luminosidade. A revisão dos princípios de conforto tem um efeito significativo sobre o controle das condições ambientais internas, com a valorização das possibilidades de adaptação do usuário.

Quanto aos processos de projeto, procedimentos analíticos e ferramentas de avaliação tiveram seu papel de correção e aperfeiçoamento do desempenho ampliado, tornando-se recursos quase indispensáveis para a criação de soluções arquitetônicas e tecnológicas inovadoras. Por um lado, equivoca-se quem espera das simulações computacionais o meio para o encontro das soluções *ótimas* do ponto de vista do desempenho ambiental e energético da arquitetura.

Sabe-se que é da compreensão dos fenômenos da física aplicada à arquitetura, em conjunto com todos os demais fatores determinantes do projeto, que vão surgir as melhores respostas projetuais. Por outro lado, com a complexidade crescente dos projetos arquitetônicos e o conseqüente interesse por soluções como fachadas duplas, novos materiais e formas inusitadas, é inegável a importância dos procedimentos avançados de simulação computacional para a formulação de respostas sobre o desempenho ambiental do edifício.

Do lado dos investimentos financeiros, entre as justificativas que se somam às vantagens da economia de energia, estão os benefícios econômicos atrelados à produtividade e à imagem do edifício de melhor qualidade e desempenho ambiental e também o valor agregado de empreendimentos que primam por um melhor desempenho ambiental.

Retomando a questão de metas e objetivos, sem contradizer a indiscutível necessidade de redução do consumo de energia em edifícios na dimensão global, a interpretação arquitetônica de fundamentos ambientais significa muito mais do

que a redução de kWh/m<sup>2</sup> exclusivamente, ou mesmo o alcance de uma determinada temperatura do ar, ou níveis preestabelecidos de iluminação.

Com colocado por Dean Hawkes (2008), em *The environmental imagination*, o processo de criação do edifício ambiental, quando baseado em considerações arquitetônicas, tem como alcançar qualidade além do desempenho mensurável desafiando o alto grau de dependência dos sistemas ativos corrente na abordagem generalizada da arquitetura, que passou para os sistemas tecnológicos a responsabilidade de prover condições ambientais confortáveis.



**Fig. I.4** Espaço de circulação externa do edifício do Parlamento em Chandigarh, na Índia, projetado por Le Corbusier. A fachada composta pela combinação de elementos horizontais e verticais traz proteção contra o impacto do sol, enquanto cria um ambiente de transição entre exterior e interior

Foto: Barak Pelman.

Em vez de se isolar do clima externo, o edifício ambiental se beneficia da relação com o meio exterior por meio de espaços de transição, nos mais diferentes e difíceis contextos climáticos. Dessa forma, acesso ao sol, aproveitamento da luz natural, comunicação visual entre interior e exterior e ar fresco são alguns dos parâmetros ambientais com o potencial de transcender os limites quantitativos do desempenho e dar qualidade e autenticidade à arquitetura.

No entanto, referenciando novamente Dean Hawkes, desta vez em *The environmental tradition* (1996), é interessante observar que nenhuma dessas considerações é completamente nova. Pelo contrário, muitas dessas qualidades estão presentes em exemplos da arquitetura de todos os tempos, lugares e culturas (Figs. I.4 e I.5).

A teoria e a prática nos mostra que não existe fórmula única ou soluções arquitetônicas e tecnológicas predefinidas para o sucesso do desempenho ambiental

dos edifícios (Hawkes, 2008; Steemers; Steane, 2004; Turrent, 2007). Ícones de sucesso construídos nas últimas décadas, alguns dos quais são apresentados e discutidos nesta obra, provam que o processo de projeto direcionado pelo objetivo maior de promover qualidade além do desempenho resulta em diversidade das condições ambientais e originalidade arquitetônica, além de revelar uma integração exemplar entre arquitetura e tecnologia (Fig. I.6).

Nesse contexto, a economia de energia passa a ser uma consequência do ambiente de boa qualidade, e não o contrário. Com tudo isso, a reformulação dos vários temas do desempenho ambiental vem criar as bases para uma mudança paradigmática da teoria e da prática do projeto.

Por outro lado, o crescente interesse econômico pela imagem do edifício *sustentável, verde, ou ecológico* (são muitos os adjetivos) também vem produzindo um grande número de falsos paradigmas em várias partes do mundo, em particular para a tipologia do edifício comercial (Gonçalves; Umakoshi, 2010). A maioria desses casos se apoia nos sistemas de certificação de desempenho ambiental utilizados do mercado.

Sem negar o papel da certificação na valorização da imagem do edifício de melhor desempenho ambiental e disseminação do conceito (tratando simplesmente da questão energética, sem entrar na discussão sobre qualidade ambiental), dados de consumo de edifícios certificados ao longo da última década em várias cidades do mundo, em especial nas norte-americanas, levantaram questionamentos e

críticas sobre a eficiência desses sistemas em distinguir edifícios de desempenho verdadeiramente superior ao daqueles não certificados (Scofield, 2009). Definitivamente, o real valor de edifícios certificados está na análise detalhada do desempenho energético desses edifícios quando em operação.

O fato é que o verdadeiro desempenho ambiental e energético de um edifício só se confirma com o tempo de uso e ocupação – o que pode ser verificado em projeto são apenas tendências. Apesar da importância ímpar de dados sobre o desempenho operacional de edifícios, é pouca a informação disponível no domínio público, no contexto internacional.

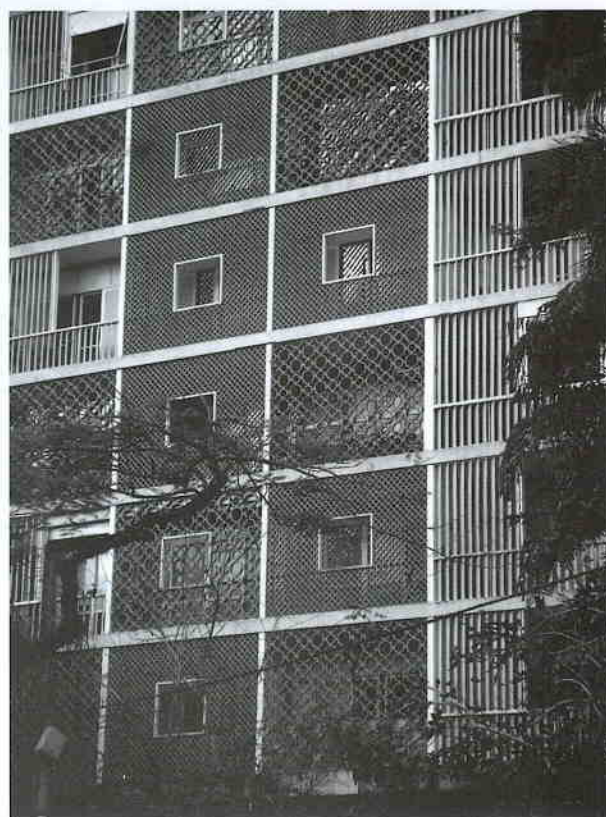
A falta de retorno sobre o real desempenho ambiental e energético de edifícios constitui séria barreira para a evolução do entendimento sobre as vantagens e desvantagens de determinadas estratégias de projeto, que correm o risco de virarem referências sem a confirmação necessária do seu desempenho. Esse é o caso do uso inapropriado de fachadas duplas de vidro em cidades de clima quente (e mesmo temperado).

Essa ausência de informação pode ser explicada por três razões: a falta de conhecimento sobre o papel central de dados empíricos tanto para o aprimoramento dos edifícios existentes como na elaboração de projetos melhores; a falta de interesse verdadeiro de seus executores e ocupantes na questão energética e ambiental; e o fato de muitos dos edifícios aclamados como *verdes* não alcançarem o desempenho prometido.

Com o conhecimento dos dados mencionados, as estratégias de projeto, incluindo a especificação de tecnologias prediais, podem ser revistas e aprimoradas, visando atender aos objetivos e metas de desempenho ambiental e à satisfação do usuário.

Além do desempenho do edifício como projeto e construção e a eficiência prescrita dos sistemas, o ocupante tem uma influência significativa no desempenho final do edifício de acordo com suas atividades, hábitos, necessidades e preferências. Por um lado, não surpreendentemente, o comportamento do usuário e o consequente impacto nas condições ambientais do espaço interno são difíceis de serem capturados pelos modelos matemáticos de simulação de desempenho, tendo em vista a gama de possibilidades e a imprevisibilidade que caracterizam o comportamento do usuário. Por outro, dados empíricos têm como mostrar essa realidade complexa e, por sua vez, informar a criação de possíveis cenários de estudos preditivos.

Avaliações de edifícios ícones de uma geração de melhor desempenho ambiental, alguns dos quais são apresentados nesta publicação, já demonstraram que a simplificação dos controles automatizados e uma maior interação dos usuários na tomada de decisão sobre as suas próprias condições de conforto resultam em uma maior satisfação desses com o edifício e em economias de energia maiores do que as



**Fig. 1.5** Elevação de um dos edifícios do complexo residencial do Parque Guinle, no Rio de Janeiro, projetado por Lucio Costa, um caso exemplar do modernismo brasileiro que ressalta a originalidade de soluções arquitetônicas voltadas para a qualidade ambiental de espaços internos em clima quente e úmido  
Foto: Joana Carla Soares Gonçalves.



previstas em fase de projeto. Essas economias se devem à comprovada preferência por condições ambientais internas menos restritivas e homogêneas (Nicol; Humphreys; Roaf, 2012). Dada sua importância no projeto, uso e operação de edifícios, a questão do usuário é abordada em uma série de capítulos desta publicação.

Reconhecendo o importante papel de edifícios existentes no aprendizado de aspectos qualitativos e quantitativos do desempenho ambiental, este livro apresenta experiências valiosas de projeto, assim como do uso e da operação desses edifícios, incluindo alguns dos mais relevantes exemplos de uma nova geração do contexto internacional.

O conteúdo desta publicação é dividido em cinco partes: “Parte 1 - Arquitetura, ambiente e tecnologia”, na qual são apresentados os fundamentos atualizados do desempenho ambiental dos edifícios, começando pela teoria do modelo adaptativo; “Parte 2 - O ambiente urbano e os edifícios”, em que se trata da influência do ambiente urbano no desempenho dos edifícios e vice-versa; “Parte 3 - Processo de projeto”, em que métodos e ferramentas para o projeto e a avaliação do desempenho ambiental e energético dos edifícios são discutidos em detalhe; “Parte 4 - Aprendendo com os edifícios existentes”, que traz uma apreciação crítica de edifícios em uso e operação, assim como aborda as possibilidades da requalificação; e “Parte 5 - Os desafios ambientais e as forças de mercado”, na qual são colocadas questões socioeconômicas da agenda do desempenho ambiental dos edifícios, com especial atenção à noção de valor e novas tendências de mercado.

Concluindo, são apresentadas reflexões finais em “O valor do edifício de melhor desempenho e qualidade ambiental”. O conteúdo específico de cada uma das partes pode ser entendido separadamente, entretanto, a sequência dos temas reforça a importância de cada um na discussão mais ampla do edifício ambiental.

Ao contrário de repetir a narrativa desgastada e superficial do discurso mercadológico do *edifício sustentável, verde* ou *ecológico*, esta publicação convida o leitor à elaboração de pensamento crítico e circunstanciado tecnicamente sobre aspectos essenciais do projeto e da ocupação de edifícios. Questões de desempenho, qualidade e impacto ambiental das edificações são abordadas no contexto do edifício e do ambiente construído como um todo.



**Fig. 1.6** Interior do Commerzbank, em Frankfurt am Main, na Alemanha, onde terraços de pé-direito quádruplo ligados por um átrio central criam espaços de transição entre interior e exterior que convidam o usuário ao uso mais informal do espaço livre dos sistemas de climatização do ar  
Foto: Joana Carla Soares Gonçalves.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUMERT, K.; HERZOG, T.; PERSHING, J. *Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy*. Washington, D.C.: World Resources Institute, 2005.

ELETROBRAS. *Pesquisa de mercado 2007*. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Ministério de Minas e Energia, 2007.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. *Energy Policy*, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

GONÇALVES, J. C. S.; UMAKOSHI, E. M. *The environmental performance of tall buildings*. London: Earthscan, 2010.

HAWKES, D. *The environmental imagination: technics and poetics of the architectural environment*. London: Routledge, 2008.

HAWKES, D. *The environmental tradition: studies in the architecture of environment*. London: Spon, 1996.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy technology perspectives 2008: Scenarios and strategies to 2050*. Paris: IEA, 2008.

IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: mitigation of climate change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

LEVINE, M. et al. Residential and commercial buildings. In: IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: mitigation of climate change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Abingdon: Routledge, 2012.

RAVETZ, J. Resource flow analysis for sustainable construction: metrics for an integrated supply chain approach. *Waste and Resource Management*, v. 161, p. 51-66, 2008.

SCOFIELD, J. H. Do LEED-certified buildings save energy? Not really... *Energy and Buildings*, v. 41, p. 1386-1390, 2009.

STEEMERS, K.; STEANE, M. A. *Environmental diversity in architecture*. Oxon: Spon, 2004.

TURRENT, D. (Ed.). *Sustainable architecture*. London: Riba, 2007.

UN DESA - UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. Population Division. *World population prospects: the 2008 revision*. New York, 2009. Disponível em: <[www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/wpp2008\\_highlights.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/wpp2008_highlights.pdf)>. Acesso em: dez. 2010.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Buildings: investing in energy and resource efficiency. *The Green Economy Report*. 2011a. Disponível em: <[www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy)>. Acesso em: 14 jun. 2011.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Cities: investing in energy and resource efficiency. *The Green Economy Report*. 2011b. Disponível em: <[www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy)>. Acesso em: 14 jun. 2011.

WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Energy efficiency in buildings: business realities and opportunities. *FACTS Summary Report*. Oct. 2007.

ZHOU, N. et al. *Energy use in China: sectoral trends and future outlook*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, 2007. Disponível em: <[china.lbl.gov/publications/energy-use-china-sectoral-trends-and-future-outlook](http://china.lbl.gov/publications/energy-use-china-sectoral-trends-and-future-outlook)>. Acesso em: dez. 2010.

# Arquitetura da adaptação

1

## 1.1 CONFORTO AMBIENTAL E AS POSSIBILIDADES DO MODELO ADAPTATIVO

As pessoas passam a maior parte de suas vidas em suas casas, locais de trabalho e em outros edifícios. Essa atitude, profundamente enraizada em nossa sociedade, influencia o estabelecimento de padrões de conforto e a eficiência energética dos edifícios. A relação entre pessoas, clima e edifícios, complexa e interdependente, gera um grande impacto sobre o consumo de energia nestes últimos. A consideração mais importante sobre qualidade ambiental de um edifício é o conforto térmico (Cena; Clark, 1981), que é definido pela ASHRAE (2009), American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico.

O conforto térmico contribui para o bem-estar em razão de sua ligação com o equilíbrio termofisiológico do corpo humano. Especificamente, ele representa a interação de variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar) com variáveis pessoais do ocupante (taxa metabólica e vestuário). Além disso, fisiologia humana, aspectos climáticos e culturais também têm influência sobre o conforto térmico e, assim, condições confortáveis irão variar de pessoa para pessoa, conforme suas experiências e preferências ambientais, e de acordo com a hora do dia.

Avaliar o nível de conforto térmico é fundamental para o estabelecimento de padrões de desempenho ambiental e energético de edifícios. Essa avaliação não requer apenas compreender o que o corpo humano pode suportar, mas também até que ponto as pessoas estão dispostas a fazer mudanças comportamentais na forma de experienciar o conforto em seu ambiente. Isso afeta a maneira como o usuário interage com seu ambiente, por exemplo, a escolha de fechar persianas e limitar a penetração de raios solares em determinados momentos do dia, em vez de ligar o ar-condicionado; colocar um agasalho quando a temperatura externa diminui, em vez de ligar uma fonte de aquecimento; ou ainda preferir se deslocar, na busca de melhores condições de conforto no ambiente. Em suma, edifícios de menor impacto ambiental exigem um envolvimento mais proativo entre ocupante, edifício e ambiente, o que reflete o número de técnicas com soluções passivas e, se realmente necessárias, também ativas possíveis de serem empregadas.

LEONARDO MARQUES MONTEIRO  
(SEÇÃO 1.1)

LEONARDO BITTENCOURT  
(SEÇÃO 1.2)

SIMOS YANNAS (SEÇÃO 1.3)

Nesse contexto, tem-se o conceito de conforto adaptativo, que se aplica tanto a edifícios passivos, ou seja, sem sistemas ativos de condicionamento do ambiente térmico, como aqueles que possuem esse condicionamento. Conforme será argumentado, grandes economias de energia, além de uma melhor qualidade ambiental, podem ser alcançadas com as práticas de adaptação. Contudo, é importante reconhecer que será necessária uma mudança de consciência e de comportamento nas atitudes e práticas diárias, tanto dos consumidores e ocupantes de edificações quanto dos decisores políticos e investidores, a fim de implementar uma mudança real de paradigma que proporcione conforto ambiental, em níveis superiores aos encontrados hoje em ambientes condicionados, e maior eficiência energética.

### 1.1.1 A evolução do conceito de conforto

Quatro trabalhos de pesquisa são as principais referências na área de conforto térmico. Os dois primeiros datam das primeiras décadas do século XX: o trabalho de Houghten e Yaglou (1923), sobre a temperatura efetiva (TE), e a obra de Winslow, Herrington e Gagge (1937), propondo a temperatura operativa (TO), o que influenciou todas as demais pesquisas nesse campo. A pesquisa macro restante remonta ao final dos anos 1960 e início de 1970, quando o trabalho de Fanger (1972), sobre o voto médio previsto (PMV, *predicted mean vote*), e o de Humphreys (1976), em um modelo adaptativo, levou a discussões contemporâneas sobre conforto térmico, especialmente no que diz respeito ao ambiente de trabalho.

A temperatura efetiva (TE) continua sendo um dos índices ambientais mais comumente usados, com a mais ampla gama de aplicações. Ela combina temperatura e umidade em um único índice. Consequentemente, dois ambientes com a mesma TE devem proporcionar resposta térmica idêntica, mesmo que apresentem diferentes temperaturas do ar e valores de umidade, contanto que eles tenham velocidades do ar iguais. A temperatura operativa (TO), pelo contrário, não é usada com frequência como um índice em si, mas como parte da avaliação do desempenho térmico dos edifícios, visando à consideração das trocas radiantes e convectivas.

Na sequência da proposta do índice de conforto de Houghten e Yaglou (1923) e a sua medição TE inicial, Gagge, Stolwijk e Nishi (1971) definiram uma TE\* (nova temperatura efetiva) usando uma abordagem menos empírica, em que a TE\* é a temperatura de um ambiente com 50% de umidade relativa, o que resulta na perda total de calor pela pele, tal como no ambiente real. Esta nova TE é definida em termos da TO, de modo que combina os efeitos de três parâmetros (a temperatura do ar, a temperatura radiante média e a umidade relativa) em um único índice. Porque TE\* depende do vestuário e da atividade, não é possível gerar um gráfico universal desse índice. Em vez disso, um conjunto padrão de condições representativas das aplicações típicas de ambientes internos é usado para definir uma temperatura efetiva padrão (TEP\*). Ela é definida como a temperatura de um ambiente térmico equivalente a 50% de umidade relativa, em que uma pessoa que veste uma roupa padronizada para a atividade em questão tem o mesmo estresse térmico em termos de temperatura da pele, tensão de termorregulação da pele e sudorese como no ambiente real.

Ao mesmo tempo, na década de 1970, o conceito de conforto térmico foi redefinido por Fanger (1972), utilizando o de PMV. O índice PMV prevê a resposta



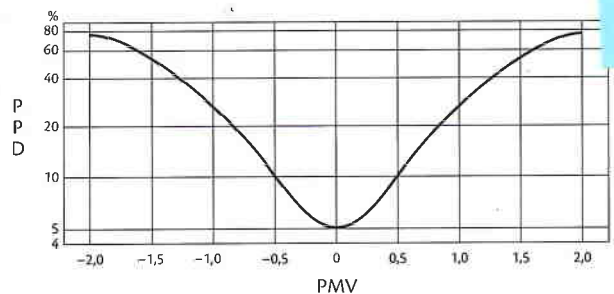
média de um grande grupo de pessoas de acordo com a escala de sensação térmica da norma ASHRAE norte-americana, a saber: -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, que representam muito frio, frio, pouco frio, neutro, pouco quente, quente e muito quente, respectivamente. A abordagem de Fanger é reivindicada para dar melhores previsões em comparação com o método de TE de 1923. O PMV relaciona o desequilíbrio entre o fluxo de calor real do corpo em um determinado ambiente e o fluxo de calor necessário para o conforto durante uma atividade específica.

Depois de calcular o PMV, a porcentagem prevista de insatisfeitos (PPD, *predicted percentage dissatisfied*) também pode ser estimada. A PPD de 10% corresponde à faixa de  $\pm 0,5$  PMV, logo, mesmo com PMV igual a 0, cerca de 5% das pessoas estarão insatisfeitas (Fig. 1.1). O modelo PMV-PPD é amplamente utilizado e aceito para avaliação da concepção e domínio das condições de conforto em ambientes condicionados artificialmente, como a maioria dos edifícios de escritórios ao redor do mundo. A Norma Europeia ISO 7730 (2005) inclui uma curta listagem de computador que facilita o cálculo de PMV e PPD para uma vasta gama de parâmetros.

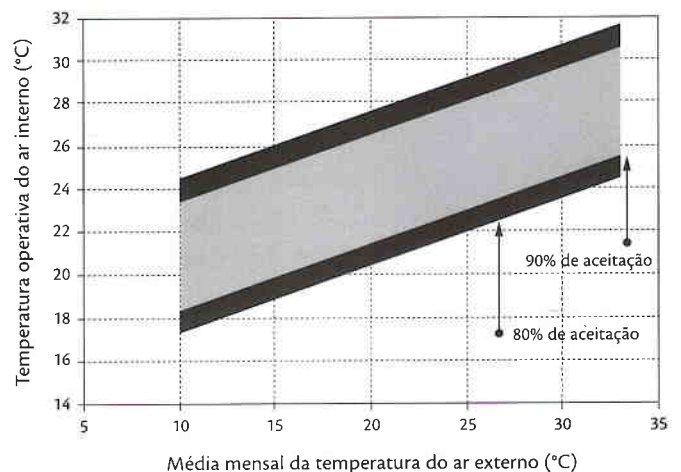
A norma ASHRAE 55 usou o índice  $TE^*$  como modelo até sua versão de 1992. Já na versão de 2004, e na atual de 2013, recomenda-se o modelo de PMV para ambientes condicionados artificialmente, permitindo também a utilização do índice de temperatura neutra para edifícios naturalmente ventilados (Fig. 1.2). Atualmente, a ASHRAE (2013) reconhece o valor da ventilação natural em edifícios de escritórios como forma de criar ambientes térmicos aceitáveis. Esse foi um momento importante para a evolução do projeto com preocupações ambientais, uma mudança paradigmática, para a arquitetura comercial em particular.

Tradicionalmente, as normas de conforto térmico existentes e os métodos para alcançá-lo referem-se principalmente às condições de conforto térmico em estado estacionário. Estudos sobre esse conceito foram realizados em laboratórios com base em avaliações da transferência de calor entre as pessoas e seu meio ambiente e das condições fisiológicas necessárias para o conforto térmico. Entretanto, dada a interação térmica entre o clima local e o envelope do edifício, os ocupantes e os sistemas de aquecimento e refrigeração, é muito raro encontrar condições de estado estacionário em edifícios com controle ambiental artificial, e é evidente que as temperaturas em edifícios naturalmente ventilados são muito menos propensas a condições constantes.

Humphreys (1976), investigando o conforto térmico, concluiu que há uma discrepância significativa entre os modelos de estado estacionário de ar condicionado e aqueles em que nenhum condicionamento mecânico é aplicado. Essa diferença



**Fig. 1.1** Relação entre PPD e PMV  
Fonte: adaptado de ASHRAE (2013).



**Fig. 1.2** Modelo adaptativo de conforto térmico para ambientes de edifícios de escritórios naturalmente ventilados  
Fonte: adaptado de ASHRAE (2013)

ocorre em razão da variação temporal e espacial dos parâmetros físicos do edifício, uma vez que, em um edifício ventilado naturalmente, o ambiente é muito mais heterogêneo no espaço e no tempo. Assim, o conhecimento do conforto térmico em condições transientes é necessário.

Além disso, a referente pesquisa sobre o tema também concluiu que existem diferenças significativas entre as sensações de conforto térmico em condições reais de ocupação e em laboratório. Como mencionado por Nicol e Humphreys (1973), essa discrepância poderia ter sido resultante da retroalimentação entre a sensação térmica dos usuários e seus comportamentos, que, conseqüentemente, adaptaram-se às condições climáticas em que o estudo foi realizado.

Ocupantes que vivem permanentemente em edifícios com ar condicionado desenvolvem grandes expectativas com relação ao controle e à homogeneidade da temperatura, o que é fundamental quando as condições internas desviam-se da zona de conforto que eles estão acostumados. Por outro lado, os ocupantes que vivem em edifícios não climatizados são geralmente mais capazes de controlar seu ambiente e habitam-se à variabilidade climática e à diversidade térmica. Assim, suas preferências térmicas estendem-se a uma ampla gama de temperaturas e velocidades do ar.

O conceito do voto médio previsto (PMV) (Fanger, 1972), adotado pela ASHRAE (2009), traz condições estreitas e rigorosas para o conforto térmico nos edifícios, sendo amplamente utilizado para a concepção de edifícios com ar condicionado, cujas condições térmicas tendem a ser constantes durante todo o período de ocupação, com pequenas variações ao longo das estações. Por outro lado, edifícios que não são artificialmente aquecidos ou arrefecidos, isto é, naturalmente ventilados, têm flutuações de temperatura internas relacionadas com a temperatura externa. Nessas construções, verificou-se que a variação da temperatura confortável para as pessoas é diferente das condições térmicas estreitas previstas por Fanger (1972), introduzindo-se o conceito de adaptação térmica e modelo adaptativo para zona de conforto (Humphreys, 1978; Caro; Brager, 1998).

### 1.1.2 Vantagens da adaptação climática

O pressuposto fundamental da zona de conforto do modelo adaptativo é que os ocupantes do edifício têm o potencial de se ajustar e encontrar as suas condições de conforto por meio de mudanças individuais de roupas, atividades, posturas, localização, entre outros. Além disso, os ajustes de condições térmicas podem também ser obtidos por controles, tais como a abertura de janelas, os ajustes de diferentes tipos de persianas, de abertura de portas e, inclusive, meios alternativos de aquecimento localizado ou estratégias de arrefecimento. Proporcionando aos ocupantes dos edifícios a possibilidade de interferir no clima interno de acordo com sua preferência pessoal, maiores níveis de satisfação podem ser alcançados, ao lado de economias de energia significativas.

Normalmente, os ocupantes que vivem e/ou trabalham em edifícios com ar condicionado desenvolvem altas expectativas sobre as condições térmicas internas, que se tornam críticas quando saem de sua estreita zona de conforto típico. Em oposição a isso, os ocupantes de edifícios com ar condicionado não são mais capazes de controlar seus ambientes e de se acostumar com as variações climáticas. Além da relação com os ajustes fisiológicos e comportamentais, a noção do modelo

adaptativo, ou oportunidades de adaptação, está ligada a uma grande mudança cultural na forma como os ambientes internos são usados e controlados, nos quais variações climáticas são não somente esperadas como desejáveis.

Ao alterar as expectativas convencionais com relação às condições ambientais internas, uma grande quantidade de energia consumida na operação de edifícios em diferentes zonas climáticas do mundo pode ser economizada, sem comprometer a qualidade ambiental dos edifícios e, na verdade, melhorando-a em inúmeros casos. A exemplo disso, estudos analíticos de desempenho térmico realizados em ambientes de trabalho, no clima da cidade do Rio de Janeiro, mostraram uma redução de 22% na demanda energética de resfriamento anual do ambiente, alterando os parâmetros de conforto de 24 °C e 50% de umidade relativa para 26 °C e 65% de umidade relativa (Marcondes et al., 2010). Para conseguir implementar esse tipo de modificação, a alteração de comportamento e padrões de conforto precisa ser acompanhada por uma mudança na concepção convencional de edifícios (principalmente em arquitetura comercial dedicada à produção de edifícios de escritórios), a fim de responder melhor ao clima local (se a solução para o edifício é adotar ar condicionado, ventilação natural ou ambos, ou seja, modo misto).

De forma positiva, o modelo adaptativo e a ligeira maior zona de conforto podem atender tanto ambientes com ar-condicionado como aqueles livres da exigência de seu funcionamento, aumentando as possibilidades de maior qualidade ambiental, ventilação natural e, conseqüentemente, gerando economia de energia ao longo do ano, uma vez que são permitidas variações de temperatura mais amplas.

O principal objetivo dos edifícios condicionados, artificialmente ou por meios naturais, é proporcionar um ambiente confortável para as pessoas viverem e trabalharem. Para isso, uma grande quantidade de pesquisas vem sendo desenvolvida desde o início do século XX, a fim de encontrar maneiras de medir o conforto ambiental. Desde a década de 1970, a ameaça da escassez de fontes de energia convencionais e o aumento da escala do impacto ambiental em virtude da utilização de combustíveis à base de carbono, concomitante ao aumento da demanda energética decorrente do desenvolvimento econômico e urbano nas regiões mais populosas do mundo, tornaram-se fatores fundamentais para estimular uma revisão crítica dos modelos urbanos e culturais atuais (Unep, 2011). Promover a utilização de menos energia possível, ou até mesmo deixar de consumir energia, tornou-se uma consideração importante no projeto de edifícios em todo o mundo.

Soluções de projeto cujos efeitos das diferentes variáveis ambientais sobre o conforto humano são manipulados individualmente são capazes de otimizar o edifício ao máximo de conforto, usando pouca energia para funcionar. Essas soluções podem ser obtidas por meio de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado bem projetados. Embora muitos aspectos de aceitabilidade, conforto e produtividade possam ser aplicados para medir a qualidade dos ambientes interiores, o conforto térmico é, sem dúvida, uma dimensão essencial, dado o impacto dessa área específica do projeto ambiental no consumo de energia.

### 1.1.3 O modelo adaptativo

No início do século XXI, o conceito de conforto térmico em edifícios alcançou outro marco. De acordo com Nicol e Humphreys (2002), os dados de pesquisas de campo recentes mostram que os métodos de estado estacionário, como o PMV, não preveem com exatidão os reais votos expressos na escala de

ASHRAE, superestimando o desconforto por uma margem inaceitável, especialmente em condições variáveis. Apesar do modelo de conforto sofisticado e detalhado desenvolvido por Fanger (1972), e após décadas de sua aplicação, os especialistas e inclusive instituições como a ASHRAE reconheceram que a percepção de conforto térmico não é determinada apenas por uma resposta fisiológica do corpo humano. Ela também é influenciada pelo fundo cultural e as condições psicológicas associadas com as oportunidades de adaptação às condições ambientais locais.

O modelo adaptativo de conforto proposto pela ASHRAE RP-884 (Dear; Brager; Cooper, 1997), compilado por Dear e Brager (2002), mostra que os ocupantes de edifícios naturalmente ventilados preferem uma ampla gama de condições que refletem mais de perto o clima ao ar livre, enquanto o PMV proporciona previsões que se encaixam bem dentro das preferências dos ocupantes de edifícios com ar condicionado. Como mencionado acima, ASHRAE 55 (2013) recomenda o modelo de PMV para edifícios com ventilação mecânica e sistemas artificiais de aquecimento e arrefecimento de ar, indicando o modelo adaptativo apenas para edifícios naturalmente ventilados (Fig. 1.3).

Na mesma época em que Dear, Brager e Cooper (1997) propõem o referido modelo de conforto adaptativo, com base em dados coletados em um amplo estudo de campo, Humphreys e Nicol (1998) propõem outro novo modelo de conforto adaptativo (Fig. 1.4). Enquanto a zona de conforto criada para o clima de Santiago do Chile, estabelecida com base no modelo de Dear, Brager e Cooper (1997), indica a necessidade de aquecimento, principalmente no inverno, para o alcance do conforto térmico, no caso de Recife (com valores mais altos de temperatura média mensal), observa-se que a curva representativa das temperaturas externas fica dentro da zona de conforto criada de acordo com o modelo de Humphreys e Nicol (1998). Dessa forma, mostra-se a adequação de cada um dos dois modelos para cada um dos climas.

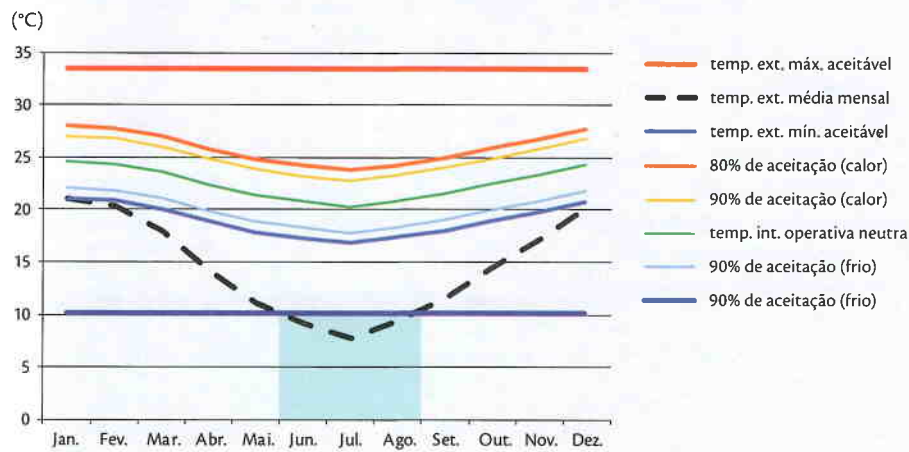
O pressuposto fundamental dessa abordagem é expresso pelo seguinte princípio, que codifica o comportamento dos ocupantes do edifício e que tem duas formas básicas: (a) ajuste para a temperatura ideal de conforto por mudanças nas roupas, atividade, postura etc., para que os ocupantes se sintam confortáveis em condições prevalentes; (b) ajuste das condições internas pelo uso de controles, tais como janelas, persianas, ventiladores e em determinadas condições de aquecimento ou de refrigeração mecânica (Figs. 1.5 e 1.6).

Os ocupantes também podem migrar ao redor do ambiente para encontrar melhores condições microclimáticas, conceito esse aplicado em muitos casos da arquitetura contemporânea, alinhada com os princípios fundamentais do desempenho ambiental, como no caso do edifício escolar Mossborne Community Academy, em Londres (Fig. 1.7). Tais comportamentos adaptativos provam que a temperatura de conforto está relacionada com a temperatura média do ar externo.

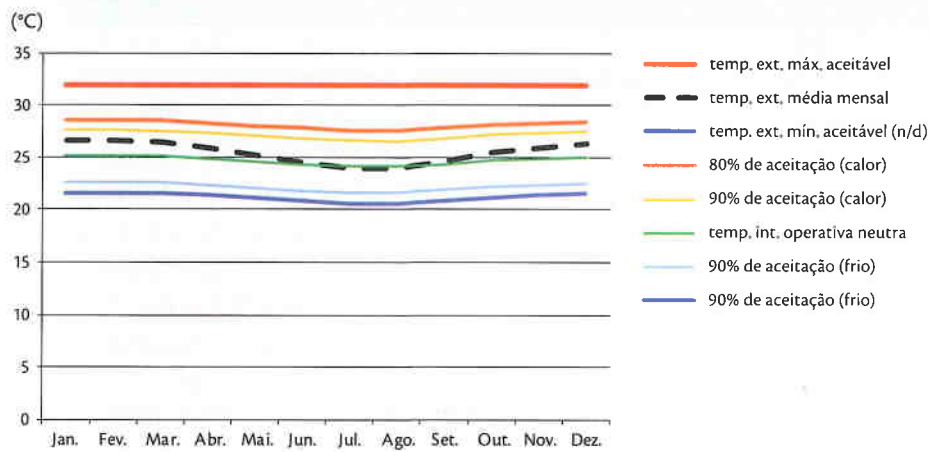
Humphreys (1976) sugeriu que esse efeito pode ser visto como o resultado de retroalimentação entre a sensação térmica dos ocupantes e seu comportamento, como parte do processo pelo qual a termostase, a manutenção da temperatura do corpo, é preservada. Eles demonstraram que, para um grupo de pessoas, o conforto é condicionado pela temperatura prévia média do ar externo à qual esse grupo está exposto.



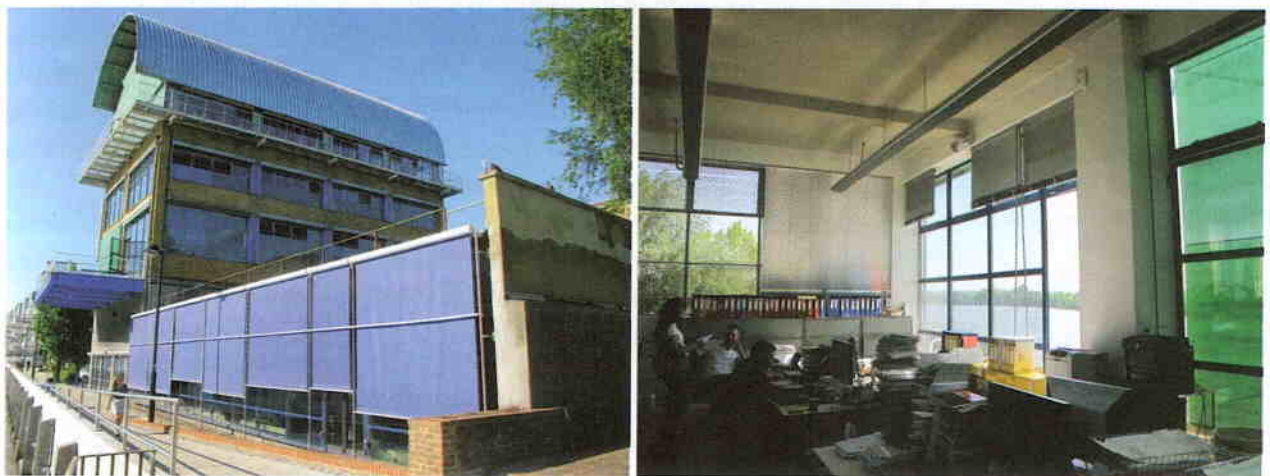
Comparando os modelos de Dear, Brager e Cooper (1997) com o de Humphreys e Nicol (1998), o primeiro é mais adequado a situações ambientais em clima frio e temperado, como visto no exemplo de Santiago, enquanto o segundo é mais apropriado em situações ambientais em climas quente-seco e quente-úmido, como



**Fig. 1.3** Zona de conforto térmico para o clima temperado da cidade de Santiago do Chile, estabelecida com base no modelo de conforto de Dear, Brager e Cooper (1997)



**Fig. 1.4** Zona de conforto térmico para o clima quente e úmido da cidade de Recife, estabelecida com base no modelo de conforto de Humphreys e Nicol (1998)



**Fig. 1.5** Ambientes de trabalho do escritório de arquitetura Richard Stirk Harbour and Partners, em Londres. Elementos externos de sombreamento e a abertura de janelas são acionados na busca de condições de conforto térmico  
Fotos: João Cotta.

.....  
**Fig. 1.6** Ambientes de trabalho em edifícios na cidade de Mumbai, na Índia, de clima quente-úmido, em que o conforto térmico dos usuários é beneficiado pelo incremento do movimento do ar, alcançado com o emprego de ventiladores.  
Foto: Swastika Mukherjee.



no caso de Recife. Esse fato se deve às situações climáticas nas quais as respectivas bases empíricas foram estabelecidas.

Convém, no entanto, reconhecer que, quando os padrões de conforto térmico com base na teoria adaptativa são usados em edifícios com ar condicionado, também pode ocorrer economia de energia. No entanto, vale destacar que, em edifícios sem o condicionamento de ar, nos quais o ambiente interno tem maior contato com o ambiente externo, o efeito das estratégias de adaptação é maior.

Em paralelo, quando os padrões de conforto do modelo adaptativo são utilizados, o uso de ventilação natural em edifícios torna-se muito mais fácil, porque as bandas estreitas de temperatura para o suposto conforto térmico e os sistemas artificiais de ar condicionado não são necessários, desde que os ocupantes tenham a possibilidade de controle de dispositivos para se adaptarem às condições microclimáticas ambientais. Assim, o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento é reduzido. Ao mesmo tempo, é evidente que as temperaturas internas em edifícios naturalmente ventilados, mudando constantemente a fim de que um padrão de temperatura interna variável auxilie na economia de energia, incentivará a utilização da ventilação natural nos edifícios.

Enquanto o conceito de conforto térmico foi anunciado por décadas como sendo um “produto” a ser comprado, com base na teoria de Fanger (1972), o mesmo conceito promovido pelos modelos adaptativos é um objetivo a ser alcançado, a um custo financeiro e ambiental mais baixo e resultados finais com maiores graus de satisfação dos usuários.

#### 1.1.4 Da adaptação humana à adaptação urbana

Deve-se considerar que o conforto térmico é um tema, por natureza, multidisciplinar. Trata-se de aspectos de projeto, engenharia, biometeorologia, fisiologia humana e psicologia. Como o corpo humano tem sua própria temperatura e regula as respostas ao meio ambiente (por exemplo, sudorese e

vasodilatação em ambientes quentes, constrição e tiritar em ambientes frios), a resposta de um ocupante é fortemente dependente de sua condição física, de sua aclimação e de sua capacidade de adaptação. Por exemplo, um corpo jovem, saudável e aclimatado recupera-se mais rapidamente e, portanto, pode responder a mudanças no estresse térmico mais facilmente do que um corpo mais idoso, não saudável ou não aclimatado. No entanto, o objetivo habitual em edificações é prever as necessidades de conforto da média da população que vai ocupar os ambientes, em outras palavras, a pessoa média, que, na realidade, não existe.

Em geral, os projetistas supõem que o conhecimento da resposta média da população é suficiente. Contudo, variáveis fisiológicas e psicológicas não podem ser omitidas das equações e, em consequência, as pesquisas referentes a modelos adaptativos revelaram a importância de se considerar os processos de adaptação relativamente à avaliação do conforto térmico, o que leva à ventilação natural, ou a favorece, na maioria dos casos. Se forem consideradas outras questões além das previstas nas normas, embora os resultados possam ser diferentes dos normativos, deve-se corrigir as previsões de acordo com os novos modelos e seus resultados. Por exemplo, os habitantes de climas quentes se adaptam naturalmente a temperaturas mais elevadas, em torno de 30 °C, considerando-se que a temperatura média em aproximadamente metade do ano será mais baixa, uma vez que o ambiente foi protegido do Sol e ventilado adequadamente.

O futuro da ventilação natural e do modo misto (estratégia que alterna a ventilação natural e o condicionamento de ar), que diminuem o consumo de energia no controle ambiental dos edifícios, está intrinsicamente ligado às possibilidades de utilização do modelo adaptativo. Sob uma perspectiva mais holística, a influência de fatores urbanos, como modo de transporte e a distância entre espaços de habitação e de trabalho, além da experiência das condições ambientais ao longo desse percurso, também afetam a percepção de conforto ambiental no interior do edifício. Dessa forma, acrescenta-se outro nível de complexidade ao assunto, com fatores tais que muitas vezes não são considerados no projeto das edificações e nos desafios para o alcance de condições de conforto.

O conceito de conforto adaptativo responde às questões de flutuações climáticas e de aclimação das pessoas, mas, por outro lado, aspectos determinantes de projeto, incluindo a localização dos edifícios, o tratamento do entorno imediato e os meios de acesso, têm grande impacto na qualidade de vida no ambiente urbano. Considerações nesse sentido são fundamentais para se concretizar plenamente o conforto ambiental.

### 1.1.5 Das condições impostas às adaptáveis

Tanto em termos urbanísticos quanto arquitetônicos, em todos os tipos de clima, mas ainda mais enfaticamente em condições de calor, muito mais importante do que os limites estreitos da zona de conforto teórico é se o projeto



**Fig. 1.7** Área de uso comum do edifício escolar Mosborne Community Academy, em Londres, com estações de estudo protegidas por estruturas flexíveis do tipo guarda-chuva para sombreamento e controle da luminosidade. Espaço de transição criado para atividades diversas, incluindo o uso de computadores. Projeto de arquitetura do escritório Rogers Stark Harbour and Partners e engenharia de sistemas prediais e desempenho ambiental da empresa BDSP Partnership. Foto: Klaus Bode.



oferece ou não oportunidades de adaptação aos ocupantes, de forma que eles possam encontrar suas próprias condições de conforto de acordo com suas atividades, preferências e experiências. Assim, em outras palavras, os limites a serem definidos estão na concepção projetual e não em números específicos normativos. O destaque para as situações com condição de calor deve-se ao fato de que o resfriamento ativo de edifícios é algo razoavelmente novo para todas as sociedades, especialmente quando comparado ao aquecimento, que tem mais de 2000 anos.

Ao mesmo tempo, edifícios que se propõem a oferecer possibilidades adaptativas devem efetivamente trazer a noção de oportunidades para os ocupantes se adaptarem. Projetar o ambiente para essas oportunidades de adaptação deve ser uma prática quase intuitiva, não complexa ou que necessite de um manual de instruções. O projeto deve fornecer ambientes com possibilidades de variações, ajustes, adaptações dentro de um caráter ergonômico cognitivo.

A questão das oportunidades de adaptação e o papel do ocupante será considerado ao longo de todo o livro, com base na redefinição do conforto e do papel das soluções arquitetônicas para o impacto em grande escala sobre a economia “verde”, versando sobre o impacto na economia de energia e os riscos de efeito rebote, isto é, quando os padrões de comportamento arruinam os benefícios dos avanços tecnológicos.

Tem-se aqui a noção de conforto térmico não como uma necessidade fisiológica pura, mas como uma experiência ambiental. A consideração do caso do Commerzbank, por exemplo, que é um caso real de aplicação da ideia de “conforto social” (Cole, 2008), inclui conceitos como a relação entre os habitantes, locais de trabalho e territórios e de que maneira essa relação proporciona a experiência de conforto no nível de um grupo de indivíduos.

Apesar de cada indivíduo ter a sua percepção de conforto, este é necessário em nível individual e em nível coletivo. Para tanto, a noção de conforto aqui proposta foge da tradicional concepção de algo a ser oferecido por um ambiente, tornando-se algo a ser alcançado pelo usuário, conforme sugerido por Nicol (2011). Na prática, isso significa que, se uma situação tender a fugir da zona de conforto, o usuário irá se adaptar para tentar retornar à situação de conforto.

De fato, estar fora da zona de conforto pode ser uma ótima oportunidade para uma mudança, para uma situação criativa, para algo que leve o usuário a experienciar e interagir efetivamente com o ambiente em que está. Muda-se, portanto, necessariamente o modo de pensar o projeto e os ambientes de edifícios e cidades. Não se deve, por meio do projeto, impor condições que fatidicamente não trarão conforto ou satisfação à maioria dos usuários, mas sim projetar de modo a fornecer variabilidade e meios necessários para que os usuários nos diferentes ambientes possam se adaptar, buscando conforto e satisfação enquanto indivíduos e coletividade.

## **1.2 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE O PROJETO DO EDIFÍCIO AMBIENTAL**

Esta seção apresenta um conjunto de reflexões que abordam relevantes questões envolvidas no processo de elaboração de projetos arquitetônicos, particularmente naqueles que objetivam um bom desempenho ambiental das



construções. A discussão concentra-se nas etapas iniciais do processo, nas quais ocorre a definição do partido arquitetônico, embora as demais etapas não sejam desconsideradas.

Primeiramente, o processo de projeto do edifício ambiental não deve ser entendido como um processo especial completamente diferente dos procedimentos adotados para a elaboração de projetos convencionais. Ao contrário, ele envolve raciocínio semelhante cuja particularidade está na priorização das questões relacionadas aos impactos produzidos pelos edifícios e pelas cidades sobre o meio ambiente. As principais diferenças são de natureza filosófica e metodológica, ou seja, estão presentes em uma visão de mundo comprometida com a minimização de impactos negativos e na utilização de ferramentas computacionais que permitam avaliar o desempenho ambiental dos espaços construídos, em seus vários aspectos.

Tendo em vista os graves problemas ambientais enfrentados pelo nosso planeta, a introdução de uma cultura arquitetônica que considere relevante os condicionantes ambientais parece urgente e atual. Igualmente relevante é a inclusão do discurso ético num plano de equilíbrio e igualdade de importância com o discurso estético. Apesar da indiscutível importância da estética para o deleite humano (Lacan, 1997), considera-se como fundamental o estímulo à discussão sobre os aspectos éticos e suas repercussões na concepção arquitetônica. Isso inclui a reflexão sobre o impacto dos edifícios no meio ambiente, em três níveis.

O primeiro nível consiste nas consequências decorrentes da inadequação do edifício ao meio ambiente que o envolve, demandando a utilização de equipamentos eletromecânicos para corrigir essa inadequação. Nessa categoria, encontram-se os sistemas de iluminação artificial e de ar condicionado, fortes consumidores de energia. Há que se considerar os reflexos dessas ações no real conforto dos usuários e nos custos operacionais das construções. Nos países em desenvolvimento, essa preocupação torna-se ainda mais relevante pelo fato de grande parte da população e até mesmo órgãos públicos não terem condições econômicas de arcar com a aquisição dos equipamentos eletromecânicos de condicionamento artificial e, muito menos, de arcar com elevadas contas de energia. Nessas condições, a obtenção de ambientes confortáveis depende fundamentalmente de edificações bem adaptadas às características climáticas locais (Bittencourt, 2007).

No segundo nível está o impacto proporcionado pela edificação no entorno imediato e sua relação com a legislação municipal. A prática profissional demonstra que os códigos de edificações precisam ser revistos no intuito de incluir restrições construtivas que impeçam os edifícios de atuarem como obstruções que bloqueiem o aproveitamento de características ambientais positivas, induzindo a formação de uma malha urbana que favoreça o acesso à luz e à ventilação naturais, ou estimule o aproveitamento de tais aspectos. Um bom exemplo dessa situação reside no estímulo à utilização de pilotis e de pavimentos vazados, favorecendo uma maior permeabilidade da malha urbana aos ventos predominantes, como pode ser observado no edifício E1 (Fig. 1.8), localizado no campus da UFSCar, São Carlos (SP), e no conjunto de Pedregulho (Fig. 1.9), situado no Rio de Janeiro/RJ.



**Fig. 1.8** Pilotis do edifício E1, São Carlos (SP)  
Foto: Leonardo Bittencourt.



**Fig. 1.9** Pavimento vazado no conjunto habitacional de Pedregulho (RJ)

Foto: Leonardo Bittencourt.

No terceiro nível, encontra-se o impacto produzido pelo aglomerado de edificações no âmbito das cidades e suas repercussões no clima urbano e regional. Traçados urbanos que proporcionem o aproveitamento das potencialidades do clima local e minimizem seus aspectos negativos devem ser perseguidos em detrimento de modelos gerados pela lógica capitalista, em que o lucro se apresenta como diretriz principal, ou pela simples reprodução de modelos oriundos de diferentes contextos. No Brasil, por exemplo, assiste-se há décadas à implantação de grandes conjuntos habitacionais que desconsideram as preocupações ambientais tanto no desenho urbano quanto na implantação das edificações nos lotes.

A arquitetura espetacular e exibicionista, que caracteriza a maioria de nossas cidades, deveria dar lugar a uma arquitetura cuja beleza existisse em equilíbrio

com as preocupações relativas àqueles que a utilizarão, bem como ao meio ambiente que nos cerca.

### 1.2.1 A complexidade do ato de pensar o projeto arquitetônico

A elaboração de um projeto de arquitetura baseia-se no equacionamento de problemas complexos e no exame de possíveis respostas e sínteses a eles (Lawson, 1990). Trata-se de um processo de escolha fundamentado na priorização de determinados aspectos em detrimento de outros, quando da ocorrência de demandas conflitantes por parte de dois ou mais condicionantes. A criatividade, importante componente desse procedimento, representa a capacidade de resolver problemas complexos, de forma original ou reelaborada.

O processo de projetar é marcado por dilemas que são apresentados e pela escolha de critérios que precisam ser estabelecidos, considerando os vários aspectos que embasarão a decisão final, ou seja, o contexto mais amplo do projeto. Nesse sentido, aspectos econômicos, como custo de oportunidade, durabilidade, valor agregado em razão do design, relação custo/benefício etc., também são considerados como condicionantes importantes. Além dos aspectos práticos, diversos outros de natureza subjetiva estão presentes nessa escolha, mesmo que inconscientemente. Entre eles encontram-se valores estéticos, culturais, ideológicos, bem como valores filosóficos e éticos.

A elaboração de um projeto arquitetônico costuma ser dividida em *estudo preliminar*, *anteprojeto*, *projeto executivo* e *detalhamento*. As questões ambientais permeiam essas quatro etapas, mas se apresentam com maior intensidade no estudo preliminar, no qual o partido arquitetônico é concebido. Por esse motivo, as reflexões aqui apresentadas se concentram nessa primeira etapa do processo.

### 1.2.2 Estudo preliminar

De maneira geral, o estudo preliminar se constitui no momento mais importante do projeto, quando a proposta arquitetônica adquire uma forma após uma complexa elaboração mental. A definição do partido arquitetônico pode ser dividida em quatro fases: filosofia arquitetônica, definição do caráter plástico e espacial, análise dos condicionantes arquitetônicos e síntese.

### *Filosofia arquitetônica*

A primeira etapa pressupõe a existência de uma visão filosófica da vida, como um todo, e da arquitetura, em particular. É com base nessa forma de ver o mundo que os diversos valores arquitetônicos são hierarquizados no processo de projeto, definindo prioridades dentre os diversos condicionantes arquitetônicos. Em suma, é a forma de ver a arquitetura que norteia as tomadas de decisão diante dos dilemas que se apresentam no processo projetual.

Essa fase é fundamental e afeta (consciente ou inconscientemente) a hierarquia dos condicionantes envolvidos no projeto, com rebatimentos na configuração final do edifício. A busca de edifícios ambientalmente sustentáveis encaixa-se numa visão de mundo que acredita que o conceito de desenvolvimento humano deve contemplar, de forma equilibrada, as questões econômicas, ecológicas, sociais, culturais e políticas, e não apenas os valores econômicos.

Do ponto de vista da expressão arquitetônica, existem duas possibilidades no que concerne à volumetria do edifício ambiental. A primeira baseia-se na ideia de que o discurso ambiental deve estar presente na expressão arquitetônica dos edifícios que consideram adequadamente essas questões (Hagan, 2006). A Fig. 1.10 mostra um exemplo dessa abordagem, o Edifício Cobogó, assim denominado por se apresentar com uma volumetria vazada, permeável à circulação dos ventos da cidade de Maceió (AL). A outra possibilidade considera que, embora o desempenho ambiental possa interferir na composição volumétrica da edificação, essa vertente deveria se situar num plano de igualdade com os demais condicionantes de projeto, como ocorre no hospital da rede Sara Kubitschek (Fig. 1.11), localizado na cidade do Rio de Janeiro, no qual questões estruturais e funcionais também exercem um papel forte, ao lado do conforto ambiental, na criação da expressão arquitetônica.



**Fig. 1.10** Edifício Cobogó, Maceió (AL)  
Foto: Leonardo Bittencourt.



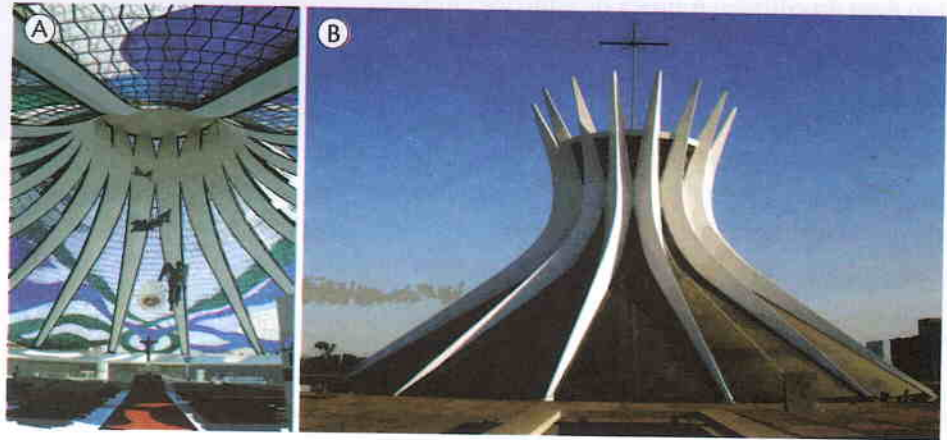
**Fig. 1.11** Hospital Sara Kubitschek, Rio de Janeiro (RJ)  
Foto: Leonardo Bittencourt.

### *O caráter plástico e espacial*

Além da visão filosófica que delinea os princípios gerais seguidos pelo projetista, existe a necessidade de definição do caráter plástico e espacial a ser alcançado pela proposta arquitetônica, cujas características dependem da natureza da edificação. A desconsideração desse aspecto pode gerar edificações sem identidade, ou, pior ainda, com uma identidade antagônica à sua função,



a exemplo de um local de meditação que produzisse sensação de dinamismo e agitação. É nessa fase que são definidas as sensações e emoções que deverão ser transmitidas pelo edifício, caracterizando sua identidade e natureza poética, como pode-se observar na Catedral de Brasília (Fig. 1.12). Nesse edifício, a elegante e inusitada volumetria sugere uma fervorosa oferenda voltada ao céu. O acesso ao espaço interno se dá por um corredor escuro que produz nos usuários uma sensação de insegurança e apreensão, para, em seguida, desembocar num deslumbrante espaço ascendente, intensamente iluminado. Parte-se da escuridão e do medo em direção à luz e ao encantamento.



**Fig. 1.12** Vistas interna (A) e externa (B) da Catedral de Brasília

Fotos: Leonardo Bittencourt.

Trata-se de um ato poético afirmar, por exemplo, que uma linha reta é firme, que formas com ângulos agudos parecem frias, que uma curva é quente, que a curva acolhe e o ângulo agudo repele, que o ângulo transmite uma agressividade masculina e a curva uma suavidade feminina.

A graça de uma curva é um convite a habitar. Pode-se fugir dela sem esperança de retorno. A curva amada tem os poderes do ninho; é um apelo à posse, ela é um canto curvo. É uma geometria habitada. (Bachelard, 1974, p. 109).

No caso do edifício ambiental, além do caráter plástico e espacial associado ao uso, pode-se reforçar a importância da integração entre ambiente construído e ambiente natural. É fato incontestável que os edifícios e seus usuários encontram-se imersos no meio ambiente natural exterior. Qualquer mudança em um aspecto ou qualidade desse meio ambiente, inevitavelmente afeta a percepção do usuário no que concerne à sua resposta ao ambiente como um todo. Segundo Fitch (1976), o reconhecimento desse fato é crucial para a teoria estética e está acima de todas estéticas arquitetônicas.

#### *Análise dos condicionantes arquitetônicos*

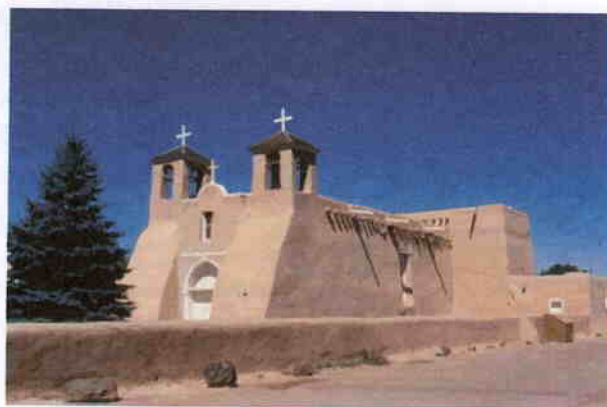
A terceira fase consiste em uma identificação e estudo das partes, ou seja, uma análise de todos os condicionantes arquitetônicos, classificados de acordo com suas características particulares. Nessa fase, são avaliadas as demandas apresentadas por cada um desses condicionantes, traduzidas nas seguintes ações:

- ☐ Elaboração do programa de necessidades, com respectivo dimensionamento e identificação dos fluxos que ocorrerão no interior da edificação, definindo o zoneamento correspondente ao agrupamento de usos correlatos.



- ☐ Consulta à legislação existente nas esferas municipal, estadual e federal que regulam a construção civil local, para conhecimento das restrições legais à implantação do edifício no terreno (gabarito, recuos, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento etc.).
- ☐ Exame dos aspectos físicos do terreno, tais como forma, dimensão, topografia, acessos, massas vegetais e existência de vistas privilegiadas. Nesse importante item está incluída a caracterização do entorno próximo, observando-se a escala das construções existentes, bem como as obstruções provocadas por edificações vizinhas e a disponibilidade de infraestrutura urbana.
- ☐ Apreciação dos condicionantes econômicos, considerando os recursos financeiros disponíveis para execução da obra e levando-se em conta, de forma cuidadosa, os custos de manutenção e operação da edificação.
- ☐ Análise dos materiais e técnicas construtivas disponíveis na região e de domínio da população local, considerando-se os impactos decorrentes da fabricação, transporte e durabilidade dos materiais, bem como suas características de manutenção e possibilidades de reciclagem. Nessa análise, procura-se identificar a existência de eventuais antagonismos entre os diversos aspectos envolvidos no conceito de sustentabilidade (econômicos, sociais, políticos, culturais e ambientais).
- ☐ Identificação dos condicionantes climáticos por meio da análise das características dos elementos: temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos dominantes, intensidade da radiação solar, nebulosidade e luminância da abóbada celeste. Essa ação tem como finalidade identificar as principais estratégias bioclimáticas recomendadas e seu reatamento na configuração tipológica do edifício. Por exemplo, a recomendação de edificações pesadas em forma de pátios para climas quente e seco (Fig. 1.13), ou de edificações sombreadas, com espaços fluidos e permeáveis ao vento, para climas quente e úmido (Fig. 1.14). O atendimento a essas recomendações determina tipologias arquitetônicas diferentes para diferentes climas, sendo responsável pelo grau de eficiência energética do edifício.

Além da tipologia, ou seja, da forma do edifício, diversos elementos e componentes arquitetônicos podem ser utilizados para adaptar a construção ao clima, como ocorre com o edifício do Núcleo de Pesquisa Multidisciplinar da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), projetado pelo arquiteto Leonardo Bittencourt. Nesse edifício, uma cobertura solta e dotada de amplos beirais proporciona sombreamento e leveza ao

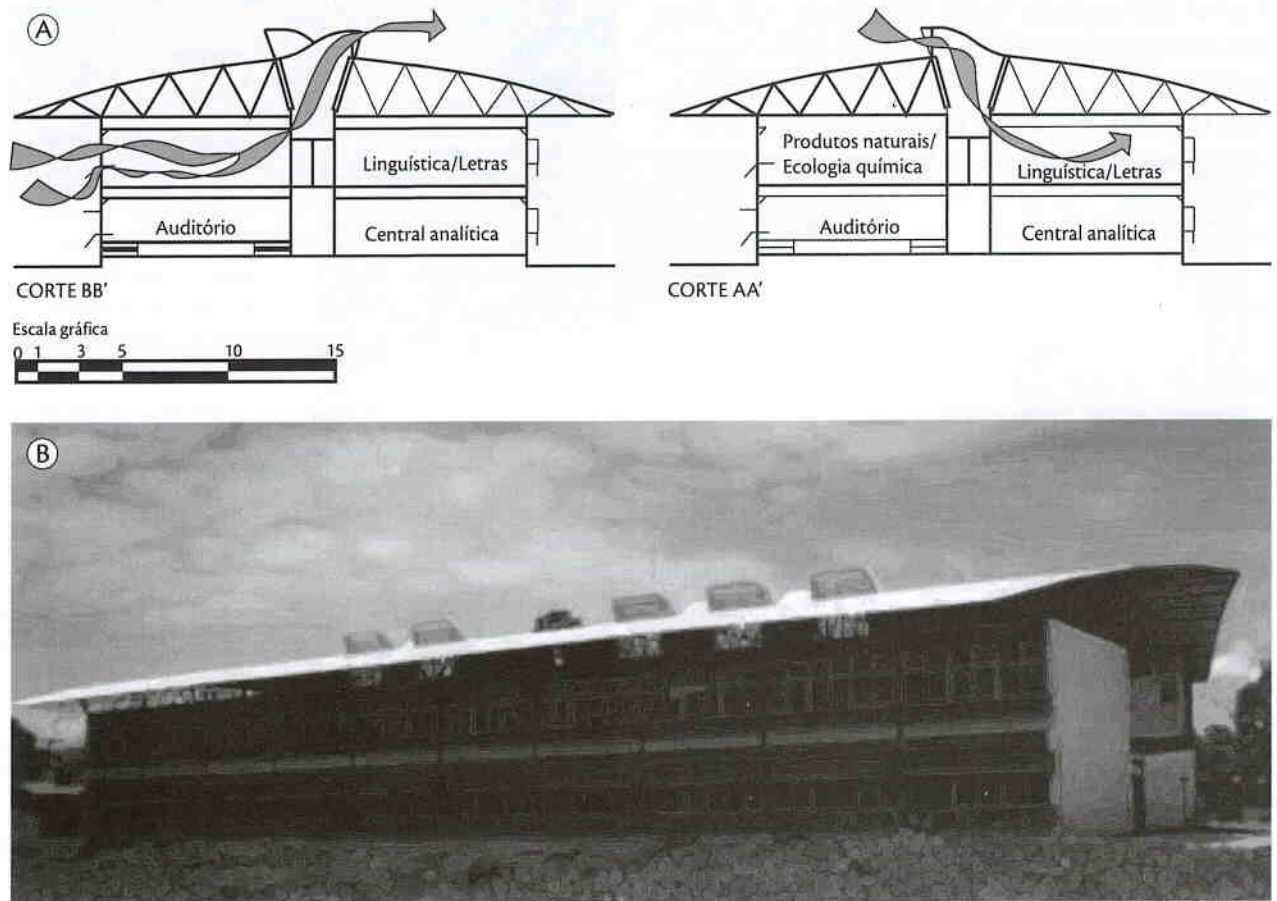


**Fig. 1.13** Construção com alta capacidade térmica. Estratégia típica de climas quente e seco, provendo estabilidade térmica ao ambiente interno, próxima às temperaturas médias do clima, evitando o superaquecimento  
Foto: Leonardo Bittencourt.



**Fig. 1.14** Varanda: recurso arquitetônico típico de climas quente e úmido, permitindo o sombreamento e o acesso aos ventos  
Foto: Leonardo Bittencourt.

conjunto, enquanto protetores solares móveis produzem uma textura dinâmica na fachada oeste. Componentes como os peitoris ventilados e captadores de vento, além de desempenharem papel fundamental na ventilação dos ambientes internos, compõem, de forma marcante, a volumetria do edifício (Fig. 1.15).



**Fig. 1.15** Edifício do Núcleo de Pesquisa Multidisciplinar da UFAL, Maceió (AL). (A) Cortes mostrando o esquema da ventilação natural; (B) vista externa da fachada principal  
Fonte: Leonardo Bittencourt.

Elementos como esses constituem um amplo repertório arquitetônico, tanto volumétrico como espacial. Bons exemplos dessa abordagem podem ser encontrados na faixa equatorial do Brasil, onde o clima quente e úmido se caracteriza por pequenas oscilações da temperatura e da umidade do ar, que permanecem, em grande parte do tempo, nas proximidades da chamada *temperatura neutra de conforto*. Condição essa que favorece a integração entre os espaços internos e externos, permitindo a criação de ambientes sombreados e permeáveis à visão e aos ventos incidentes, com características peculiares a esse tipo de clima, como visto na Fig. 1.16. Por outro lado, vale destacar que, em climas frios, essa fluidez espacial dá lugar a uma compartimentação do edifício e à nítida separação entre espaços internos e externos.

No desenvolvimento do projeto arquitetônico, busca-se equacionar e resolver conflitos oriundos dos diversos condicionantes, em diferentes escalas. No que diz respeito ao edifício, os conflitos se apresentam não só entre os condicionantes ambientais e os demais (funcionais, econômicos, estéticos etc.), mas também entre os próprios condicionantes ambientais. Por exemplo, o excesso de sombreamento pode comprometer o aproveitamento da iluminação natural, ou ainda a provisão

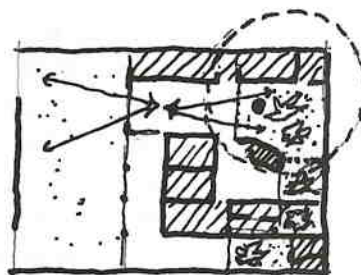
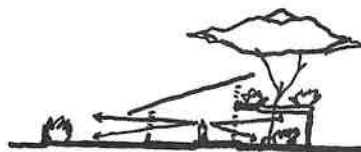
de amplas aberturas para captação da ventilação natural pode acarretar problemas acústicos.

Por essa razão, a definição do partido arquitetônico para um edifício ambiental depende do domínio de uma consistente base teórica que aborde as principais questões referentes ao controle exercido pela edificação sobre as diversas variáveis ambientais, minimizando seus efeitos negativos e potencializando os aspectos positivos.

A compreensão dos princípios biofísicos que governam a relação entre ambiente construído e ambiente natural constitui um suporte fundamental à adoção de tipologias construtivas adequadas às características climáticas locais. A apropriada compreensão desses fenômenos proporciona a escolha de tipologias construtivas e espaciais cujas propriedades apresentam maior potencial de adaptação ao ambiente climático, bem como sugerem a utilização de elementos construtivos peculiares às especificidades do clima local, gerando um vocabulário arquitetônico também próprio às diferentes regiões climáticas.

Na etapa do estudo preliminar, pode-se levantar questionamentos sobre a eficiência e a real contribuição do uso de ferramentas de simulação computacional para avaliação do desempenho ambiental da edificação, incluindo o acústico, o lumínico, o térmico e o energético. Ocorre que, para a validação (ou rejeição) de possíveis alternativas de partido, a maioria dos programas de simulação do desempenho ambiental de edifícios requer um nível de informações incompatível com as existentes nessa etapa.

Entretanto, para projetos em regiões onde a ventilação natural seja uma estratégia bioclimática fundamental, é importante examinar a influência exercida pelo entorno no escoamento dos ventos dominantes no local onde a edificação será implantada. Nesses casos, em particular, pode ser interessante a utilização de técnicas avançadas de simulação computacional, as quais são baseadas na mecânica dos fluidos computacional.



**Fig. 1.16** Residência em Maceió (1985), o clima como gerador de tipologias arquitetônicas. Destaque para a permeabilidade ao vento com a sequência de espaços abertos, sombreamento e paredes vazadas  
Fonte: Leonardo Bittencourt.



É consenso, no entanto, o caráter fundamental do conhecimento sobre os princípios físicos que regem as interações entre o homem, o ambiente construído e o ambiente natural. Para proporcionar o domínio desse conhecimento, a simples utilização de bons livros parece ser suficiente (Augenbroe, 2008).

#### *Síntese*

A quarta fase consiste na fusão das reflexões e análises anteriores, que resulta em uma síntese denominada *partido arquitetônico*, que deve satisfazer, da melhor forma possível, as demandas apresentadas pelas questões apreciadas na etapa anterior. Trata-se de um processo mental, que persegue a adequação das respostas arquitetônicas perante os diversos condicionantes, diferentemente da busca de uma proposta que atenda integralmente a cada uma daquelas demandas. Fundada na filosofia arquitetônica do projetista, bem como no caráter plástico-espacial da obra, a eleição de prioridades em razão das demandas oriundas dos diversos condicionantes facilita a escolha da melhor proposta entre as alternativas de partido apresentadas. É importante ressaltar que, como já disse Fitch (1976, p. 1), “a obra arquitetônica não pode nunca ser apreciada, sentida, vivenciada fora de sua multidimensional totalidade”.

A partir desse ponto, o desenvolvimento do partido costuma ser realizado em três outras etapas: *anteprojeto*, *projeto executivo* e *detalhamento*, que serão sucintamente descritas a seguir.

### 1.2.3 Anteprojeto

Esta etapa caracteriza-se pelo desenvolvimento do partido arquitetônico e seus possíveis desdobramentos. Nela são testadas as viabilidades técnicas e econômicas, bem como são dimensionados as estruturas e os sistemas prediais e realizadas as compatibilizações preliminares entre os diversos anteprojetos envolvidos no empreendimento (arquitetônico e complementares). Além disso, são examinadas alternativas de configurações para os diversos elementos arquitetônicos, tais como paredes, cobertas, janelas, captadores de vento, materiais e cor dos revestimentos, protetores solares, assim como de outros componentes que afetam o desempenho da edificação nos aspectos ambientais (conforto ambiental, eficiência energética, durabilidade etc.).

Na etapa de anteprojeto, com uma definição mais precisa do projeto e suas especificações, os programas de simulação computacional são indubitavelmente de grande utilidade para avaliar o desempenho da edificação em diferentes cenários (Hensen, 2008). O impacto decorrente da utilização de diferentes configurações para cada um dos diversos elementos arquitetônicos pode ser avaliado de forma razoavelmente rápida e precisa, facilitando a realização de ajustes quando necessários. As ferramentas computacionais, cuja evolução as faz cada vez mais eficientes e acuradas, constituem um instrumento fundamental nos processos de avaliação do desempenho do edifício como um todo e dos ambientes internos em particular.

Ainda nessa etapa, verifica-se o atendimento aos diversos aspectos que formam indicadores de sustentabilidade. Nessa discussão, são considerados os de ordem ambiental e ecológica, econômica e social. Dentre esses indicadores, os principais são:

a) *Indicadores ambientais e ecológicos*

- ☐ energia embutida nos materiais de construção;



- produção e tratamento de dejetos/lixo;
  - gerenciamento do uso de água e energia;
  - energia renovável;
  - emissão de CO<sub>2</sub>;
  - uso de produtos à base de biomassa;
  - consumo de materiais tóxicos.
- b) *Indicadores econômicos*
- custos de operação e manutenção;
  - retorno do investimento;
  - investimento em energia renovável.
- c) *Indicadores sociais*
- geração de emprego;
  - bem-estar da mão de obra envolvida;
  - custo de degradação;
  - tecnologia apropriada.

No caso do interesse pelos conhecidos *selos verdes*, é nessa etapa que são realizadas avaliações preliminares do perfil ambiental da obra, de acordo com os critérios adotados por cada uma das certificações almeçadas (AQUA – *alta qualidade ambiental*–, HQE – *haute qualité environnementale*–, LEED – *leadership in energy and environmental design* – etc.).

#### 1.2.4 Projeto executivo

Uma vez implantados os ajustes necessários, são realizadas as compatibilizações finais entre os diversos projetos envolvidos e o projeto executivo, contemplando as particularidades de cada um. Nessa etapa, pode ocorrer o refinamento de soluções definidas na etapa anterior, que ainda requeiram aprimoramento. Aqui são também determinadas todas as especificações técnicas da obra, com repercussões na absorvância, transmitância e capacidade térmica dos pisos, paredes e coberturas, bem como no sistema de aquecimento de água e no consumo de água e energia.

#### 1.2.5 Detalhamento

No detalhamento é apresentado o processo de execução dos diversos componentes arquitetônicos da obra que não foram apresentados no projeto executivo em virtude da escala dos desenhos elaborados nessa etapa. Contém informações sobre dimensões, montagem e fixação, bem como sobre os revestimentos e materiais constitutivos desses componentes, de forma a garantir que eles sejam executados exatamente como foram concebidos.

No caso do edifício ambiental, destaca-se a importância do detalhamento das esquadrias, proteções solares, isolamentos e demais partes da construção que tenham um papel central na criação de condições ambientais de conforto. Especial atenção deve ser dada a componentes inovadores ou pouco difundidos, de maneira a garantir o seu correto funcionamento, por exemplo, no caso de captadores de vento e peitoris ventilados, estratégicos em edifícios de clima quente e úmido, como em parte do Sudeste e em todo o Norte e Nordeste do Brasil.

### 1.2.6 Por uma visão integrada no projeto arquitetônico

A elaboração do projeto arquitetônico pressupõe uma visão integrada das respostas às diversas demandas do conjunto de condicionantes. Deve-se evitar uma visão distorcida pelo olhar unilateral da obra ou pelo seu enquadramento em um estilo ou corrente arquitetônica. Um determinado condicionante não deve ser supervalorizado em detrimento dos demais, mesmo que se trate de um condicionante de cunho ambiental. Essa distorção pode ser observada em alguns exemplares da chamada *arquitetura bioclimática*. Uma boa arquitetura deve ser bioclimática e adequada aos demais aspectos ambientais, num plano de equilíbrio com os demais condicionantes socioeconômicos e também, quando for o caso, urbanos do contexto do projeto.

A ausência de conhecimentos sobre o impacto produzido pela construção civil no meio ambiente tem formado arquitetos com pouca consciência desse problema e da importância do setor para o meio ambiente global, de uma maneira geral.

O processo de projeto do edifício ambiental deve ser encarado de forma semelhante ao adotado no projeto de qualquer edifício, contemplando adequadamente as questões ambientais. No entanto, não se deve esquecer que as edificações têm como finalidade abrigar as diversas atividades desenvolvidas pelo homem. Abrigar tanto no que corresponde às necessidades físico-ambientais como no que se refere aos aspectos imaginários e simbólicos.

## 1.3 PESQUISA ARQUITETÔNICA PARA O PROJETO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL

Embora muitas pesquisas internacionais desde os anos 1970 tenham focado em eficiência energética e na engenharia de projetos ambientais, pouco desses estudos lidaram diretamente com arquitetura ou responderam as questões ambientais normalmente encontradas por alunos e profissionais da arquitetura. Como resultado, dúvidas, ignorância e preconceito ainda prevalecem e necessitam ser abordados tanto na formação como na prática arquitetônica. Para fornecer alternativas à arquitetura universal e à engenharia convencional, que continuam sendo referência para o projeto de edificações em muitos países, é necessário uma nova compreensão do que consiste um bom ambiente para os ocupantes de edifícios, e como a arquitetura pode contribuir para isso, resgatando e reforçando seu papel histórico de instrumento de projeto ambiental.

### 1.3.1 O ambiente urbano

Inseridos em meio a fluxos de energia já existentes, os edifícios alteram o equilíbrio energético das suas imediações, modificando as condições de admissão da radiação solar e direcionando os ventos para outras edificações. Isso gera mudanças microclimáticas nas vizinhanças e, entre outros impactos, afetam as atividades do pedestre. Ademais, sendo aquecidos ou resfriados, naturalmente ventilados ou mecanicamente controlados, os edifícios irão liberar no ambiente urbano ao seu redor a energia utilizada em sua operação, sob a forma de calor. Desse modo, as edificações vão aquecendo o ar das cidades constante e incansavelmente, agindo como aquecedores de grandes proporções.

Isto posto, entende-se que a morfologia urbana tem uma influência dramática no clima das cidades, podendo fragmentar a paisagem urbana no que parece ser uma composição aleatória de microclimas acidentais. As pessoas se deparam com esses microclimas ao caminhar pelas cidades entre os quarteirões e terraços, parques, praças e coberturas de edifícios. Em um determinado momento, assim como durante qualquer período de tempo, as condições ambientais do ar e das temperaturas das superfícies, do vento e da luz do sol, que podem ser percebidas durante essas caminhadas, estarão bem diferentes das condições para as quais os prédios foram concebidos. Mesmo que fossem projetados edifícios ambientalmente conscientes, eles ainda poderiam falhar, a menos que as mudanças climáticas do seu local de implantação fossem consideradas. Esta é a herança ambiental da cidade contemporânea, como resultado da arquitetura e do urbanismo do século passado.

### 1.3.2 Aprendendo a projetar o edifício ambiental

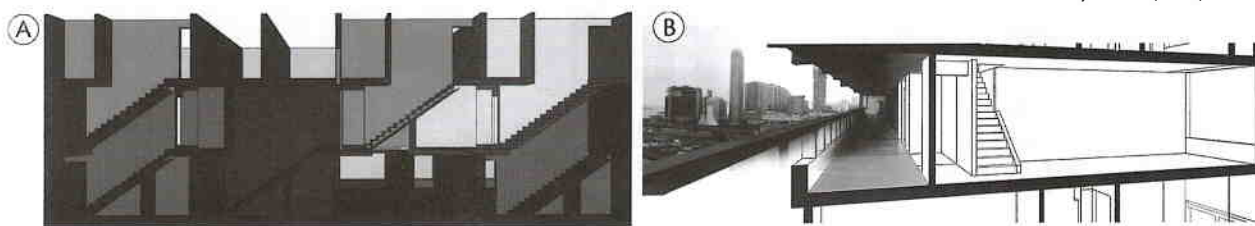
As condições para uma relação simbiótica entre os edifícios e os ambientes urbanos que eles formam e ocupam são o principal interesse de estudo do programa de mestrado em Sustainable Environmental Design na Architectural Association School of Architecture, em Londres. O conhecimento e a compreensão dos princípios físicos subjacentes a essa relação, aliados às ferramentas conceituais e computacionais que os traduzem em arquitetura e urbanismo de ordem ambiental, formam o núcleo desse programa. Os objetivos principais são a melhoria da qualidade ambiental das cidades, a independência de fontes não renováveis de energia e a promoção da arquitetura de projetos ambientais sustentáveis.

Desde o fim da primeira década de 2000, a agenda contínua de pesquisa em *requalificação (ou remodelação) da cidade* propiciou a execução de mais de 350 projetos acadêmicos em 70 cidades em cerca de 40 países, tanto ao norte como ao sul da linha do equador. Esses trabalhos abrangeram uma ampla gama de tipologias de edificações e climas, com propostas para prédios novos e existentes.

Os escopos dos projetos combinam pesquisas de campo, incluindo observações e medições, e pesquisas de projeto que utilizam ferramentas computacionais, calibradas com os dados provenientes das próprias medições. Para estudantes de arquitetura, a realização de estudos de caso em sítios reais e edifícios ocupados fornece informações valiosas a respeito das questões ambientais fundamentais que afetam o conforto e o bem-estar dos ocupantes, assim como o desempenho ambiental e o uso de energia em edifícios arquitetônicos (Fig. 1.17).

A combinação de estudos empíricos e trabalhos analíticos cria uma base sólida de conhecimento para a formulação e o teste de proposições teóricas, assim como apoia a pesquisa de projeto em seus processos geradores (Fig. 1.18). O trabalho empírico consiste em medições de curto tempo dos parâmetros ambientais,

**Fig. 1.17** Robin Hood Gardens, um complexo ícone do modernismo europeu, projetado por Alison e Peter Smithson no final dos anos 1960 e condenado à demolição no final da década de 2000. Medições e simulações realizadas para esse projeto revelaram tanto (A) as qualidades arquitetônicas do complexo de unidades residenciais justapostas, como (B) a fragilidade ambiental da forma e do envoltória de concreto, com as ruas elevadas (*streets in the sky*)  
Fonte: Calleja et al. (2011).





**Fig. 1.18** Processo generativo para o desenvolvimento de um complexo residencial, incluindo agricultura urbana e outras atividades. Caracteriza um programa de uso misto no bairro de Brixton, no sul de Londres, cidade de latitude 51° 30'N e longitude 00° 07'W, mostrando a evolução do projeto de implantação e da forma arquitetônica com base em estudos de desempenho ambiental, que avaliam o movimento do ar e as horas de radiação solar incidente nos espaços abertos entre os edifícios  
 Fonte: Guzman et al. (2013).



pesquisas e entrevistas (com moradores, arquitetos, engenheiros e gerentes de instalações). As medições fornecem indicações comparativas das condições ambientais alcançadas e como estas variaram ao longo do tempo, entre e através dos diferentes espaços. As pesquisas e entrevistas fornecem informações a questões-chave identificadas com as medições.

Os dados coletados referentes às condições ambientais, padrões de ocupação, utilização de eletrodomésticos e outras características operacionais formam um perfil ambiental dos edifícios de estudo. Eles também fornecem dados necessários para calibrar os modelos digitais. Não há como substituir o conhecimento adquirido dessa maneira para a pesquisa sobre o desempenho ambiental da arquitetura. Acredita-se que estudos de caso ensinam mais a respeito do desempenho ambiental da arquitetura do qualquer explanação teórica.

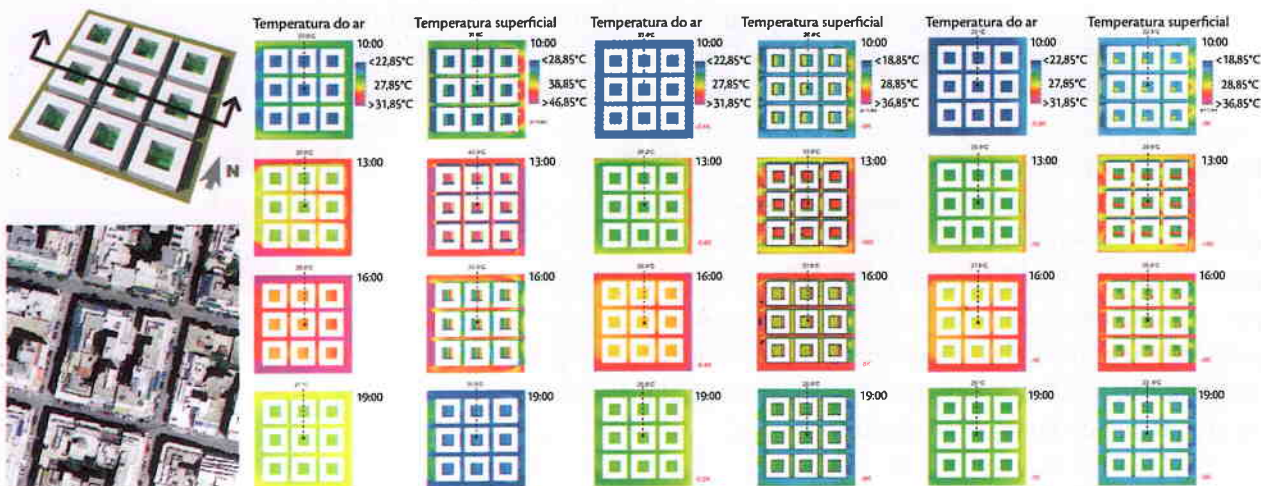
### 1.3.3 O papel das simulações computacionais

As ferramentas computacionais de simulação são introduzidas logo no início do curso Sustainable Environmental Design, da Architectural Association School of Architecture, de forma que os alunos possam aplicá-las aos projetos assim que obtiverem uma compreensão razoável dos princípios básicos. Essas ferramentas da simulação computacional têm se aperfeiçoado ao longo dos anos 2000, tornando-se mais visual em suas interfaces e proporcionando maior facilidade de operação, assim como maior agilidade na execução de tarefas. Por outro lado, essas ferramentas ainda são limitadas na capacidade de lidar com os principais fenômenos da física aplicada ao desempenho ambiental das construções de forma mais interativa. Embora as simulações sejam uma fonte de confusão e desapontamento para quem as utiliza, isso também é um sinal do valor do conhecimento e do julgamento do próprio usuário da ferramenta computacional, isto é, do projetista do edifício.

As experiências com o ensino de simulação computacional de desempenho ambiental a partir dos anos 1980 têm mostrado que o arquiteto pode dominar rapidamente a mecânica da computação de qualquer complexidade. A tarefa de criar modelos digitais de edifícios reais ou virtuais, com o propósito da simulação do seu desempenho ambiental, é semelhante a de projetar um edifício e comissioná-lo para suas funções pretendidas.

O processo de elaboração e execução de simulações é também semelhante às tarefas do processo de projeto arquitetônico. Assim, até esse estágio, arquitetos e estudantes de arquitetura são, de longe, os usuários mais capazes de operar tais ferramentas. Por outro lado, a interpretação dos resultados produzidos pelas simulações de desempenho é um campo novo para o entendimento do arquiteto. Os resultados requerem um conhecimento crítico sobre o desempenho ambiental de edifícios, que convencionalmente não está disponível para os arquitetos, e são esses resultados que caracterizam o projeto e seus constituintes em novas formas (Fig. 1.19).

A primeira rodada de modelagem e simulação é normalmente simplificada de forma a recriar as condições existentes dos edifícios em estudo. Na sequência, são realizados estudos paramétricos destinados a responder questões que surgiram a partir das visitas aos edifícios, comentários dos ocupantes e, ainda, a partir da apresentação de outros edifícios que compõem a literatura arquitetônica. As simulações subsequentes podem então identificar o efeito das diferentes características



**Fig. 1.19** Simulação de temperaturas superficiais e temperatura do ar em quadras urbanas, explorando o potencial de melhoria microclimática associada à inserção de vegetação no vazio das quadras, em Atenas, na Grécia, cidade de latitude 37° 58'N e longitude 23° 43'E  
Fonte: Kapsali (2012).

de projeto no conforto térmico e visual do ocupante, assim como na demanda de energia.

Nesse processo, considera-se: a geometria e a exposição dos espaços individuais; a posição, forma, orientação e área das aberturas; as propriedades térmicas e luminosas das áreas envidraçadas e outros elementos externos da edificação; padrões de ocupação, atividade dos habitantes e uso de equipamentos e/ou eletrodomésticos. Algum entendimento dos princípios do projeto de melhor desempenho ambiental, chamado aqui de sustentável, é essencial nesse estágio do trabalho, em prol de um uso eficiente das ferramentas de simulação. Tendo uma prática guiada de estudos, o aprendizado com o uso das ferramentas de simulação computacional pode ser produtivo, com resultados úteis e rapidamente alcançados.

A simulação de modelos simplificados de edifícios reais ou virtuais pode ser executada em segundos, fornecendo resultados expressados em unidade de hora para determinados períodos do ano. Assim, as simulações de desempenho ambiental tornam-se uma extensão natural do processo de projeto (Fig. 1.20). Com o tempo, a prática da simulação dá ao arquiteto a capacidade de antecipar resultados de avaliações de desempenho, fazendo das simulações um recurso posterior ao processo de projeto, para uma investigação mais detalhada de questões de desempenho. Essa experiência reduz a dependência de ferramentas de simulação computacional para a definição da arquitetura.

### 1.3.4 Arquitetura adaptativa

Os trabalhos de campo em edifícios existentes, bem como as simulações de desempenho dos fenômenos térmicos, fluxo de ar e luz natural têm demonstrado que projetar edifícios condicionados naturalmente e com emissão praticamente zero de carbono é atualmente possível, na maior parte das regiões climáticas do globo. Esse conhecimento, conforme os arquitetos sempre afirmam, mostra o quanto importante é o papel do projeto arquitetônico na concepção de ambientes de qualidade. As medições e simulações auxiliam a objetivar tal afirmação. Um projeto arquitetônico deve ser também um projeto ambiental, no entanto, a arquitetura necessita do conhecimento específico de critérios claros e objetivos de desempenho para alcançar os requisitos de um projeto ambiental sustentável.



Para conseguir edifícios que não dependam de sistemas mecânicos de condicionamento ambiental, os projetos das edificações precisam ser capazes de combinar variações diárias e sazonais de ocupação e clima. Isso só será possível se forem incorporados ao projeto componentes ajustáveis e propriedades variáveis, como isolamento móvel. Tem-se referido a esse estudo como *arquitetura adaptativa*. Trata-se de um processo generativo pelo qual se proporcionam meios de adequação da forma e da envoltória dos edifícios e de suas propriedades às atividades dos ocupantes nos espaços internos e também em espaços abertos (Yannas, 2013).

Os projetos realizados no programa de mestrado em Sustainable Environmental Design na Architectural Association têm demonstrado que esses conceitos são aplicáveis a todos os tipos e formas de edifícios, em todos os locais e climas habitáveis. Esses trabalhos destacaram também uma série de tópicos de pesquisas de interesse global, assim como questões locais, decorrentes de determinados contextos urbanos e escopos de projeto.

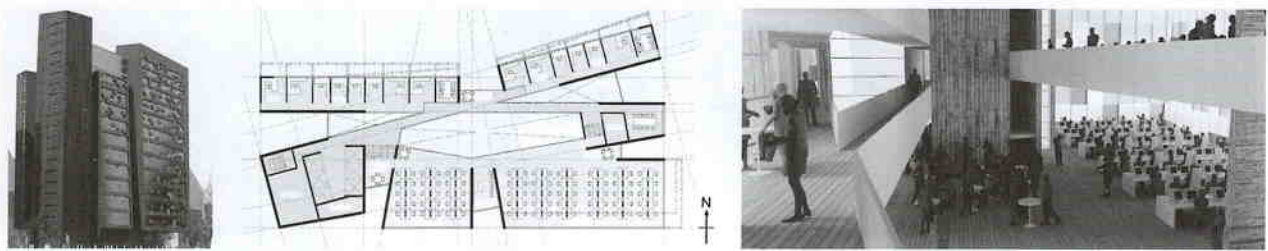
Nesses projetos, alguns aspectos de importância primordial se sobressaem, tais como: a profundidade da planta; a geometria dos ambientes; a relação entre os espaços em planta e corte; a admissão e controle da radiação solar; a luz natural; os fluxos de ar; e mecanismos adaptativos disponíveis, que podem proporcionar aos habitantes um maior nível de conforto térmico, visual e qualidade do ar (Fig. 1.21).

A ocupação dos espaços, assim como a natureza e a intensidade de energia das atividades de ocupação, tem uma forte influência nessas questões, introduzindo ainda novas indagações que surgem em função das tendências de estilo de vida e desenvolvimento tecnológico (Fig. 1.22). Apesar de todos os aspectos supracitados terem objetivos e serem de interesse semelhante, suas implicações no desempenho energético e no conforto do usuário podem ser muito diferentes, variando de acordo com a função do prédio e com sua localização (Figs. 1.23 e 1.24).

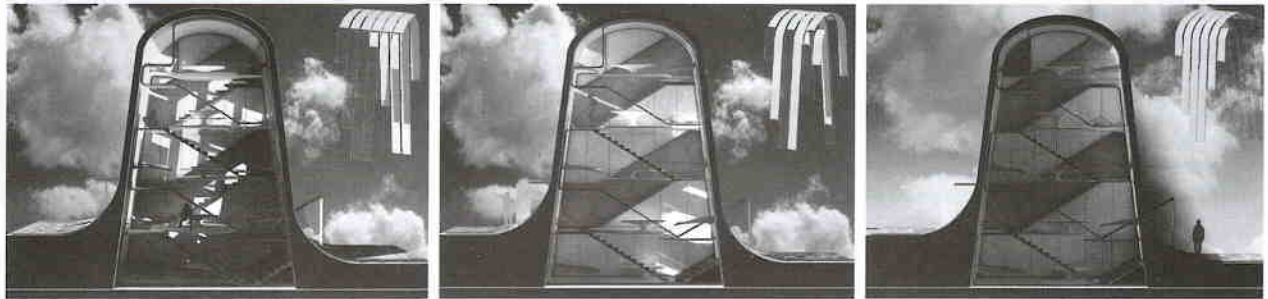
À medida que o interesse em projeto ambiental sustentável cresce entre os estudantes de arquitetura e jovens arquitetos, é importante que as pesquisas de desempenho ambiental tenham cada vez mais foco em questões da arquitetura, de

**Fig. 1.20** Pesquisa de campo e simulações computacionais foram realizadas para avaliar o potencial de técnicas passivas e espaços de transição protegidos do Sol, como alternativas ao edifício climatizado por todo o ano, no clima quente e seco de Kuwait, de latitude 29° 22'N e longitude 47° 58'E  
Fonte: Dib (2013).





**Fig. 1.21** Proposta de projeto para a tipologia do edifício alto de escritórios na cidade de Santiago, no Chile, de latitude  $33^{\circ} 26'S$  e longitude  $70^{\circ} 39'W$ . A figura mostra a proposição para a forma arquitetônica resultante de considerações sobre a função e os requisitos ambientais, no contexto de novas relações de trabalho. O posicionamento e o tamanho das janelas foram otimizados parametricamente  
Fonte: Swett (2013).



Dia ameno de inverno

Dia quente de inverno

Dia de verão

**Fig. 1.22** Projeto residencial para um complexo nos arredores de Florença, na Itália, cidade de latitude  $43^{\circ} 47'N$  e longitude  $11^{\circ} 15'E$ . O conceito arquitetônico contemplou um cenário futuro de equipamentos móveis e múltiplas estratégias de adaptação do usuário, na busca de uma diversidade ambiental alcançada em várias épocas do ano e horas do dia, em diferentes espaços da habitação  
Fonte: Weber (2013).

forma a explorar o seu potencial adaptativo em relação aos usuários dos edifícios e também alcançar uma relação simbiótica com a cidade.

### 1.3.5 Medidas fundamentais para o projeto do edifício ambiental

No projeto de edifício ambiental, é imprescindível considerar os seguintes itens:

- ☐ *Aprendizado a partir de precedentes*, utilizando edifícios existentes em estudos de casos e combinando trabalhos de campo com simulações computacionais. O que torna um espaço em um bom ambiente para os seus usuários? Quais soluções foram bem-sucedidas? Quais soluções não funcionaram como esperado?
- ☐ *Entendimento dos princípios fundamentais de desempenho ambiental*, incluindo o uso de ferramentas de simulação computacional.
- ☐ *Aprendizado de ferramentas computacionais* como o meio mais rápido e mais eficaz de contextualizar o conhecimento e checar o resultado de referências e precedentes. No entanto, a aplicação desse conhecimento técnico de forma significativa está atrelado a uma orientação crítica, de profissionais experientes. Métodos computacionais e analíticos devem ser introduzidos logo no início dos estudos sobre o tema.
- ☐ *O entendimento de uma aritmética básica é essencial*, de forma a precaver contra erros e a desenvolver um senso de direção no campo de estudo.
- ☐ *Um senso crítico do processo de análise e projeto é necessário* para evitar desperdício de tempo.
- ☐ *O entendimento da diferença entre princípios globais e aplicabilidade local* mostra que algo que funciona bem em um contexto pode não funcionar da mesma forma em outros lugares ou no futuro.





**Fig. 1.23** A maioria dos arquitetos e engenheiros de climatização tendem a desistir das estratégias passivas na elaboração de projetos em Dubai, nos Emirados Árabes, de latitude 25° 15'N e longitude 55° 18'E. No entanto, uma análise crítica do clima indica uma condição amena em metade do ano, enquanto o período mais extremo coloca desafios para o projeto, como visto nessa proposta para edifício educacional, em que uma sequência de sucessivos espaços e componentes construtivos amenizam a transição entre clima exterior e interior  
Fonte: Mogali (2012).



- ☐ *A compreensão das condições climáticas do ambiente urbano* mostra que inúmeros edifícios e quarteirões ao redor das cidades europeias e em outras partes do mundo necessitam de atenção urgente.
- ☐ *Iluminação natural e controle solar*, ao contrário do que possa parecer, são tópicos geralmente mal compreendidos pelos alunos de arquitetura e profissionais da área, exigindo um esforço especial por parte dos especialistas e profissionais do ensino.
- ☐ *Compreensão de limiares, espaços de transição, condições de contorno e propriedades variáveis*. Nesses quesitos, o arquitetônico e o ambiental se tornam um.
- ☐ *Tendências de comportamento, estilo de vida, desenvolvimento tecnológico e mudança climática* são bons tópicos para imaginação especulativa e utopias arquitetônicas futuristas.

**Fig. 1.24** Esta proposta para um complexo habitacional sustentável (ambientalmente e quanto à produção de alimentos), em Bangkok, na Tailândia, de latitude 13° 45'N e longitude 100° 29'E, é inspirado nas tradições culturais e na arquitetura vernacular. O projeto elimina o uso do vidro nas fachadas externas, que é substituído por telas permeáveis ao ar e à luz, enquanto oferecem proteção contra a radiação solar direta  
Fonte: Tedkajorn (2013).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *Standard 55-1992*. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 1992.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *Standard 55-2004*. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *Handbook of fundamentals*. Atlanta, 2009.

- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *Standard 55-2013*. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.
- AUGENBROE, G. The role of simulation in early design support. In: BUILDING PERFORMANCE SIMULATION FOR DESIGN AND OPERATION. *Proceedings...* Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2008.
- BACHELARD, G. *A poética do espaço*. Rio de Janeiro: Abril Cultural, 1974.
- BITTENCOURT, L. Meu, dele ou de outros? Especulações sobre o desejo no projeto arquitetônico. In: LEITÃO, L.; AMORIM, L. (Org.). *A casa nossa de cada dia*. Recife: UFPE, 2007.
- CALLEJA, H.; CZECH, N.; HEPNER, A.; TZIASTOUDI, A. *Robin Hood Gardens*. Term 1 Building Study (M.Sc./M.Arch.) - SED, AA School, London, 2011.
- CARO, J. de; BRAGER, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *Transactions of the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)*, v. 104, p.145-167, 1998.
- CENA, K.; CLARK, J. A. *Bioengineering, thermal physiology and comfort*. Amsterdam: Elsevier, 1981.
- COLE, R. J.; ROBINSON, J.; BROWN, Z.; O'SHEA, M. Re-contextualizing the notion of comfort. *Building Research & Information*, v. 36, n. 4, p. 323-336, 2008.
- DEAR, R. de; BRAGER, G. Thermal comfort in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, v. 34, n. 1, p. 549-561, 2002.
- DEAR, R. de; BRAGER, G.; COOPER, D. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. Final Report, ASHRAE RP-884. Macquire University, 1997.
- DIB, D. *From monotony to diversity: residential development in Kuwait City*. 2013. Dissertation (M.Arch.) - SED, AA School, London, 2013.
- FANGER, P. O. *Thermal comfort: analysis and application in environment engineering*. New York: McGraw Hill, 1972.
- FITCH, J. M. *American building: the environmental forces that shapes it*. 2. ed. New York: Shoken Books, 1976.
- GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A. J.; NISHI, Y. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, v. 77, 1971.
- GUZMAN, J.; NATANIAN, J.; VALLEJO, J. *Mixed-use development in Southwyck, Brixton*. Term 2 Design Project (M.Sc./M.Arch.) - SED, AA School, London, 2013.
- HAGAN, S. Taking risks: environmentally sustainable architecture and the new. In: Nutau 2006. São Paulo, *Anais...* São Paulo: Nutau/Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2006. CD-ROM.
- HENSEN, J. Building performance simulation in a changing environment. In: BUILDING PERFORMANCE SIMULATION FOR DESIGN AND OPERATION, 2008, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2008.
- HOUGHTEN, F. C.; YAGLOU, C. P. Determining lines of equal comfort. *Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE)*, v. 29, p.163-169, 1923.
- HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. *Building Services Engineer*, v. 44, p. 5-27, 1976.

HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. *Building Research and Practice*, v. 6, p. 92-105, 1978.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Technical Data Bulletin*, v. 14, n. 1, p. 1-14, 1998.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION. *ISO 7730*. Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève, 2005.

KAPSALI, M. *Refurbishing the urban blocks in central Athens*. 2012. Dissertation (M.Sc.) - SED, AA School, London, 2012.

LACAN, J. *O seminário*. Trad. Antônio Quinet. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997. (Livro 7: a ética da psicanálise.)

LAWSON, B. *How designers think: the design process demystified*. Oxford: Butterworth Architecture, 1990.

NICOL, J. F. Adaptive comfort. *Special issue of building research information journal*, v. 39, n. 2, Routledge, 2011.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Thermal comfort as part of a self regulating system. *Building research and practice*, v. 6, n. 3, p. 191-197, 1973.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and buildings*, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002.

MARCONDES, M. P.; MUELLER, C. M.; BRANDÃO, R. S. et al. Conforto e desempenho térmico nas edificações do novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro. *Ambiente construído* (on-line), Porto Alegre, v. 10, p. 7-29, 2010. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/7794/7432>>. Acesso em: 9 maio 2014.

MOGALI, P. *Optimising building form and wind towers in Dubai*. 2012. Dissertation (M.Arch.) - SED, AA School, London, 2012.

SWETT, T. *Passive strategies for office buildings in Santiago de Chile*. 2013. Dissertation (M.Arch.) - SED, AA School, London, 2013.

TEDKAJORN, A. *Self-sufficient social housing in Bangkok*. 2013. Dissertation (M.Arch.) - SED, AA School, London, 2013.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Buildings. In: UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. *Towards a green economy: pathways to a sustainable development and poverty eradication*. Kenya, 2011. Disponível em: <<http://www.unep.org/greeneconomy/>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

WEBER, F. *Contemporary passive shelters: environmental diversity and contemporary lifestyles*. 2013. Dissertation (M.Arch.) - SED, AA School, London, 2013.

WINSLOW, C. E. A.; HERRINGTON, L. P.; GAGGE, A. P. Relations between atmospheric conditions, physiological reactions and sensations of pleasantness. *American Journal of Hygiene*, v. 26, n. 1, p.103-115, 1937.

YANNAS, S. Adaptive architecturing. In: BRAHAM, W.; WILLIS, D. (Ed.). *Architecture & energy: performance and style*. New York: Routledge, 2013.