

# RESILIÊNCIA DAS EDIFICAÇÕES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. PARTE 1: REVISÃO CRÍTICA E CONTEXTUALIZAÇÃO

**Carolina A. Alves (1); Denise H. S. Duarte (2); Fábio L. T. Gonçalves (3)**

(1) Doutoranda, carolina.alves@gmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo/SP, (011) 3091 4681

(2) Professora Doutora, dhduarte@terra.com.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo/SP, (011) 3091 4681

(3) Professor Assoc., fabio.goncalves@iag.usp.br, Inst. de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Univ. de São Paulo, Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, São Paulo/SP, (011) 3091 4681

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma contextualização dos efeitos das mudanças climáticas sobre os edifícios e cidades, assim como explora o papel dos mesmos na ocorrência do fenômeno e na sua exposição às alterações climáticas já verificadas e previstas para a cidade de São Paulo. O estudo surgiu da constatação de que não há material semelhante sistematizando o papel dos edifícios e das cidades nas mudanças climáticas, do ponto de vista da Arquitetura e do Urbanismo, e também em função da relevância do tema, que vem ganhando espaço e importância para os estudos de desempenho térmico, eficiência energética e conforto térmico. O método utilizado inclui uma revisão bibliográfica crítica utilizando-se referências nacionais e internacionais sobre os assuntos: mudanças climáticas, impactos no setor energético e o papel dos edifícios e cidades nesse contexto, e inclui a leitura dos dados climáticos medidos pelo IAG-USP em São Paulo e dos dados climáticos simulados nos cenários do IPCC AR5, com o objetivo de fornecer tanto um panorama teórico sobre o assunto, como também um panorama de como o clima e suas alterações têm sido observados na cidade de São Paulo. A contextualização apresentada indica que as mudanças climáticas podem ocasionar alterações no desempenho térmico dos edifícios construídos nos padrões atuais e/ou provocarem um aumento no consumo de energia, especialmente para resfriamento ativo. Se, por um lado, arquitetos e engenheiros, enquanto projetistas, podem contribuir para o melhor desempenho dos edifícios, por outro, há grandes desafios a serem transpostos para se chegar a esse objetivo.

Palavras-chave: mudanças climáticas, desempenho térmico, dados climáticos.

## ABSTRACT

This paper presents a background about the effects of climate change on buildings and cities, and explores their role in the climate change occurrence besides the climate change noticed and predicted for the city of São Paulo. The study emerged from the realization that there is no other similar product, systematizing the role of buildings and cities, from the point of view of Architecture and Urbanism, and also the relevance of the subject, which has been gaining space and importance for the thermal performance, energy efficiency and thermal comfort studies. The method includes a critical literature review using national and international references on the issues: climate change, influences in the energy sector and the role of buildings and cities in this context and includes the São Paulo São Paulo weather data measured by the IAG-USP and simulated in the IPCC AR 5 scenario exposition, aiming to provide both a theoretical overview of the subject, as well as an overview of how the climate and its changes have been observed in São Paulo. The presented contextualization indicates that climate change may cause changes in the thermal performance of buildings built in the current standards and / or cause an increase in energy consumption, especially for active cooling. If, on the one hand, architects and engineers, as designers, can contribute to the better performance of buildings, on the other, there are great challenges to overcome to achieve this goal.

Keywords: climate change, thermal performance, weather data.

## 1. INTRODUÇÃO

A comunidade científica tem verificado alterações nos padrões de clima nos últimos anos. Ainda que exista certo grau de incerteza quanto às projeções das alterações, grande parte dos pesquisadores aceita sua relação com o aumento de emissões de gases de efeito estufa, resultado do modelo humano de ocupação do planeta, especialmente a partir do século XVII, com a revolução industrial e suas consequências, e que evoluiu até os dias atuais.

O desempenho térmico dos edifícios depende do clima ao qual eles estão expostos e o setor possui uma peculiaridade: é formado por um número muito grande de pequenas unidades com características próprias, com uma vida útil longa e diversas partes interessadas, de modo que o conjunto se compõe como um setor expressivo, porém, difícil de ser tratado individualmente, tanto para o consumo de recursos como para impactos no ambiente urbano.

Novas condições climáticas impõem novos impactos aos edifícios e cidades, assim como aos seus usuários. Neste contexto, existe um importante trabalho de adaptação e mitigação a ser realizado e os setores da construção civil, da arquitetura e do urbanismo podem prestar grandes contribuições. O papel dos edifícios nesse contexto ainda é pouco explorado, tanto do ponto de vista das causas das mudanças climáticas urbanas como das consequências do fenômeno sobre o ambiente edificado. O estudo conjugado de mudanças climáticas e desempenho térmico é um campo ainda recente de estudos, porém, que se mostra de crescente relevância tendo em vista a progressão das mudanças climáticas e os novos desafios impostos ao desempenho térmico dos edifícios, à eficiência energética e ao conforto dos usuários<sup>1</sup>.

Este trabalho surgiu da constatação de que não há material semelhante sistematizando o papel dos edifícios e das cidades nas mudanças climáticas, do ponto de vista da Arquitetura e do Urbanismo, e também em função da relevância do tema, que vem ganhando espaço e importância para os estudos de desempenho térmico, eficiência energética e conforto térmico. Este artigo é o primeiro de dois. No próximo artigo “*Desempenho térmico do ambiente construído no contexto das mudanças climáticas na cidade de São Paulo. Parte 2: avaliação de edifícios residenciais de idosos é apresentado um estudo baseado em levantamento e simulação computacional*”, será apresentada uma avaliação do desempenho térmico de três unidades residenciais habitadas por pessoas idosas utilizando índices de conforto adaptativo em cenários progressivos de mudança climática.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo contextualizar os efeitos das mudanças climáticas sobre os edifícios e cidades, assim como explorar o papel dos mesmos na ocorrência do fenômeno e na sua exposição às alterações climáticas já verificadas e previstas para a cidade de São Paulo.

## 3. MÉTODO

O método utilizado inclui uma revisão bibliográfica crítica utilizando-se referências nacionais e internacionais sobre os assuntos: mudanças climáticas, impactos no setor energético e o papel dos edifícios e cidades nesse contexto, bem como a leitura dos dados climáticos medidos pelo IAG-USP em São Paulo e dos dados climáticos simulados nos cenários do IPCC AR5, com o objetivo de fornecer tanto um panorama teórico sobre o assunto, como também um panorama de como o clima e suas alterações têm sido observados na cidade de São Paulo. Foram levantados e tratados os dados climáticos medidos e simulados em escala global e regional nos cenários do IPCC AR5 pela pesquisadora do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) Marta P. Llopart, cedidos pela professora Rosmeri P. da Rocha a partir dos modelos: regional RegCM4 e global MPI (*Max-Planck Institute for Meteorology*) utilizando o cenário RCP (*Representative Concentration Pathways*) 8,5 do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5), cenário que representa o maior nível de emissões estimadas pelo Painel. Os dados climáticos têm o objetivo de fornecer tanto um panorama teórico sobre o assunto, como também um panorama de como o clima e suas alterações têm sido observados na cidade de São Paulo, além das perspectivas climáticas futuras. Os dados medidos pelo IAG se referem a médias mensais e anuais de janeiro de 1933 a abril de 2014 e os cenários simulados em escala global e

---

<sup>1</sup> Este trabalho se insere no projeto temático Biometeorologia humana: análise dos efeitos de variáveis ambientais (meteorológicas, conforto térmico e poluição atmosférica) e das mudanças climáticas na população geriátrica da cidade de São Paulo. Projeto temático FAPESP processo 2010/10189-5. Coordenador: Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves (IAGUSP). O projeto envolve IAGUSP, FMUSP, POLIUSP e FAUUSP, com a equipe do LABAUT – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. Vigência de 01/07/2011 a 30/06/2015.

regional são presente (1975 a 2005), futuro próximo (2015 a 2044), futuro intermediário (2045 a 2074) e futuro distante (2076 a 2096).

### 3.1. Mudanças climáticas

Mudanças climáticas são alterações nos padrões do clima ao longo dos anos e ocorrem no planeta desde o início de sua existência (IPCC, 2007). Roaf *et al.* (2009) destacam que mudanças no clima têm marcado a história da humanidade e que todas as grandes civilizações foram afetadas por elas. Ainda que a ocorrência destes fenômenos climáticos seja uma constante na história do planeta e que tenha sido, ao longo da maior parte de sua história, ocasionada por fatores naturais, existem evidências de que, nas últimas décadas, está ocorrendo a aceleração deste processo que pode não ser causada exclusivamente por causas naturais. Durante o século XX verificou-se um aumento da média global das temperaturas na superfície do globo de aproximadamente 0,7°C (OLIVEIRA, 2008).

Há divergências quanto às causas destas mudanças recentes terem origem antrópica ou não. Correntes que defendem que o fenômeno ocorre por causas ambientais naturais afirmam que há evidências de que, em diversos outros momentos da história do planeta, ocorreram variações significativas de temperaturas médias globais sem intervenções humanas nos ecossistemas. Afirmam também que o intervalo de tempo do qual a humanidade tem registro de medições climáticas de temperatura, de aproximadamente 150 anos, é muito curto para se afirmar que as alterações que vivenciamos no presente são realmente um fato único na história e também que a contribuição humana para a emissão de gás carbônico, o principal gás de efeito estufa, é muito pequena, cerca de 3% do total, se comparada às emissões naturais, de modo que o peso da intervenção humana neste contexto seria muito pequeno para ocasionar mudanças desta magnitude (MOLION, 2008).

Por outro lado, muitos estudos indicam que o fenômeno ocorre, principalmente, em consequência das atividades humanas e é relacionado, sobretudo, ao aumento da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre, como a queima de combustíveis fósseis, o que altera a composição atmosférica e, com isso, potencializa o efeito estufa (GOLDEMBERG, 2010).

Existe, portanto, um dilema entre aceitar que o fenômeno esteja ocorrendo devido à ação da humanidade, com as consequentes previsões mais pessimistas ou assumir o risco de aceitar as previsões mais otimistas que, por um lado, não requerem ações ou custos, mas podem, por outro, acarretar riscos (COLEY *et al.*, 2012). Partindo-se da hipótese de que as previsões de alterações climáticas estão ocorrendo por ações humanas e devem se acentuar nos próximos anos, não só pela ampla aceitação de pesquisadores da área, como pela precaução, procurando antever riscos e buscar soluções, há, portanto, um trabalho de adaptação e mitigação a ser realizado, pois, ainda que as emissões cessassem hoje, o efeito dos gases acumulados na atmosfera perduraria por um longo período. Isso porque gases como o gás carbônico, o metano e o óxido nítrico, denominados gases de efeito estufa de longa vida, “permanecem por décadas na atmosfera, o que possibilita sua distribuição homogênea e sua influência de longo prazo no clima” (OLIVEIRA, 2008).

A principal organização mundial que se dedica ao fenômeno é o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, ou, da sigla em inglês, IPCC, uma instituição intergovernamental criada como resultado da Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, em Toronto, no ano de 1988, estabelecido pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas e a Organização Meteorológica Mundial. A função do painel é fornecer uma visão clara do estado atual do conhecimento científico referente às mudanças climáticas ocasionadas pelas atividades humanas e seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos através da compilação e avaliação das informações científicas disponíveis sobre o assunto. A organização publica relatórios periodicamente, o primeiro deles data do ano de 1990 (IPCC, 1990) e nele se concluiu que a crescente acumulação de gases antropogênicos na atmosfera aumentaria o efeito estufa, resultando em um aquecimento adicional da superfície terrestre (ROAF *et al.*, 2009). Os segundo e terceiro relatórios, publicados respectivamente nos anos de 1995 e 2001 (IPCC, 1995; 2001), tiveram grande importância pelo embasamento que forneceram às reuniões e conferências internacionais, sendo que o segundo embasou a proposição do protocolo de Kyoto. O quarto relatório, por sua vez, data de 2007 e constata que houve um aumento global de temperatura registrado no século XX e que é muito provável que sua origem seja antrópica (IPCC, 2007). O último trabalho do IPCC é o seu quinto relatório (AR5) (IPCC, 2014a; 2014b; 2015) e entre os principais avanços do relatório estão aqueles incorporados nos modelos de simulação climática, principalmente na influência humana sobre o clima e o aumento da resolução dos modelos; expõe que a situação é cada vez mais crítica e aponta aumento no grau de certeza da influência humana no aquecimento global, agora em 95%. A cada relatório do IPCC a importância do fator antrópico nas condições e previsões climáticas aumenta e as cidades e o processo de urbanização ganham cada vez mais espaço nas discussões, tendo em vista a crescente urbanização mundial e o fato de que nessas áreas os efeitos das mudanças serão mais sentidos.

Estabelecido nos moldes do IPCC, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, PBMC, foi criado pelos Ministérios da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente no ano de 2009 com o objetivo de reunir, sintetizar e avaliar a produção científica nos aspectos relevantes das mudanças climáticas no Brasil. O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional, o RAN 1 foi publicado em 2013. O PBMC se insere nas atividades de implementação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima. As principais conclusões do seu primeiro relatório são que a temperatura no Brasil pode aumentar de 3°C a 6°C até 2100, o que poderia afetar a produção de alimentos e de energia no país. Mas também revela que existem lacunas nas informações sobre impacto ambiental e mudanças climáticas no país (PBMC, 2013a; 2013b; 2013c).

### 3.1. O Sistema Climático, as Ações Humanas e as Mudanças Climáticas

A energia solar influencia fortemente o sistema climático. Existe um equilíbrio radiativo que pode ser alterado por: variação da radiação solar recebida na Terra pelo Sol, variação da reflexão pela superfície terrestre (albedo) e variação dos gases de efeito estufa. Segundo Oliveira (2008), a radiação recebida do Sol não sofreu grandes variações, restam, portanto, as outras duas opções, que serão discutidas a seguir: a amplificação do efeito estufa pela emissão de gases e as cidades como amplificadoras do aquecimento.

O efeito estufa é o responsável por permitir a vida humana na Terra, pois, sem ele, a temperatura média do planeta seria -18°C. Graças ao efeito estufa, essa média é, atualmente, 15°C (NOBRE *et al.*, 2012). Entre os gases que compõem a atmosfera terrestre, o principal gás de efeito estufa é o vapor d'água, que é responsável por aproximadamente 60% desse efeito. O CO<sub>2</sub>, por sua vez, é responsável por aproximadamente 20%, e outros gases de efeito estufa como metano e óxido nitroso têm participações ainda menores. Enquanto as concentrações de vapor d'água são controladas principalmente pela evaporação dos oceanos, sem controle humano, a concentração dos demais gases como CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso e CFCs está aumentando consideravelmente, influenciada pela atividade humana. Ainda que não haja incremento de vapor d'água ocasionado diretamente pela humanidade, o aumento da temperatura ocasionado pelo incremento de outros gases pode ter efeitos sobre a concentração de vapor d'água na medida em que proporciona maior evaporação, o que origina um efeito estufa adicional (NOBRE *et al.*, 2012).

O clima varia naturalmente, tanto temporal quanto espacialmente. O que caracteriza, porém, a mudança climática em curso e que a distingue das demais é a velocidade com que a temperatura está subindo, nos últimos 100 ou 150 anos que é muito maior que nos casos anteriores. Segundo Nobre *et al.* (2012) a melhor explicação existente no presente para o aumento da temperatura nos últimos 50 anos é o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera. Na Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 1 a curva acima representa a quantidade total de CO<sub>2</sub> na atmosfera versus a curva abaixo que representa a quantidade total de CO<sub>2</sub> emitida na atmosfera pelas atividades humanas. A Figura 2 expõe a comparação entre temperaturas médias globais (°C) observadas (preto) e simulações utilizando forçantes radiativas antropogênicas e naturais simultaneamente (vermelho) e forçantes radiativas naturais (azul) e nota-se que o modelo de simulação climática que não considera as emissões humanas se afasta da curva de temperatura medida: a melhor aproximação de dados medidos e simulados é obtida quando tanto as condições naturais quanto as emissões de origem antrópica são consideradas.

Além dos gases de efeito estufa, outro importante fator de alteração do clima são as alterações no uso da terra provocadas pelas ações humanas. Para sua compreensão são consideradas as características da superfície terrestre relacionadas a albedo e balanço energético. Quanto maior o albedo terrestre, maior quantidade de radiação recebida é refletida de volta, ambas em ondas curtas, de modo que não colaboram para o efeito estufa já que esta porção de radiação refletida, em sua maior parte, atravessa a atmosfera terrestre e volta para o espaço. O balanço energético superficial terrestre diz respeito aos mecanismos de reemissão de radiação na forma de ondas longas e sua absorção pelos gases de efeito estufa, assim como outros dois mecanismos que proporcionam o aquecimento da atmosfera terrestre e têm grande impacto em escala regional: os mecanismos de dissipação de calor sensível e de calor latente. O calor sensível se origina do aquecimento das superfícies que, então, aquecem o ar imediatamente sobre elas e, assim, por diferença de densidade, o ar sobe e distribui o calor pela atmosfera por meio da convecção.

As questões climáticas em qualquer ponto do planeta são fortemente influenciadas tanto por mecanismos globais quanto regionais, e ambos oferecem o potencial para acelerar ou desacelerar a tendência de aquecimento. Na grande maioria dos modelos climáticos, porém, pelo caráter predominantemente regional, as influências causadas pelos fenômenos relacionados como ocupação e uso da terra descritos não figuram, na maioria das vezes, por uma questão de escala. Sua importância, porém, está principalmente no fato de, ainda que de caráter regional, os fenômenos relacionados ao uso da terra ocorrem predominantemente nas regiões urbanas onde vive atualmente mais da metade da população terrestre. É na escala regional onde se encontram os principais agentes e também onde os principais efeitos são sentidos por

grande parte dos habitantes do planeta.

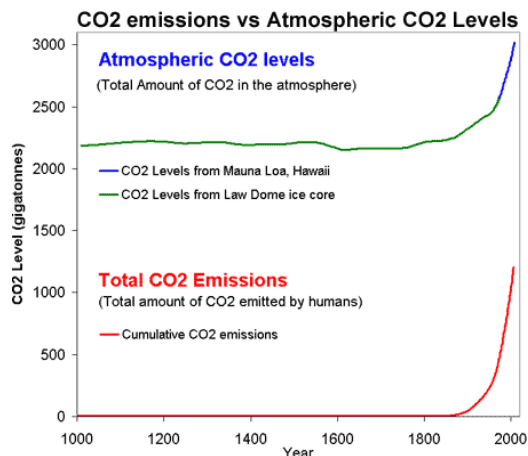


Figura 1. Níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Linha verde: medições em Law Dome, Antarctica e curva azul: medições em Mauna Loa, Hawaii) e medições cumulativas de CO<sub>2</sub> (curva vermelha – CDIAC) na atmosfera pelas atividades antrópicas. Fonte: COOK, 2011.

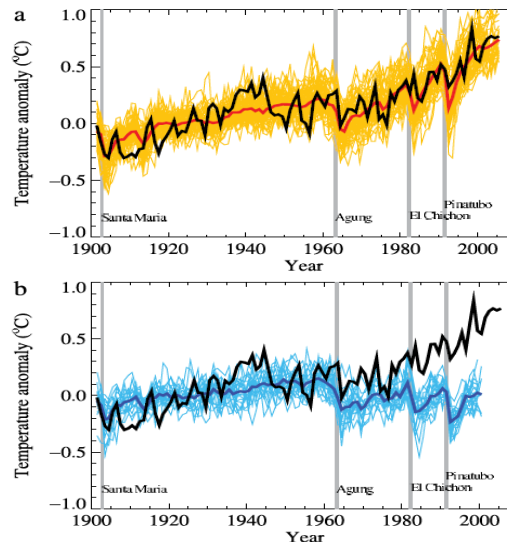


Figura 2. Comparação entre anomalias de temperatura média global (°C) de observações (preto) e simulações forçadas com (a) ambas forçantes radiativas antropogênicas e naturais e (b) forçantes radiativas naturais apenas. Fonte: NOBRE et al., 2012.

### 3.2. Mudanças Climáticas e a Questão Energética

A principal fonte de emissão antropogênica de gases de efeito estufa no mundo é a geração de energia (CBCS *et al.*, 2014), para as mais diversas funções. No cenário internacional, grande parte da geração de energia elétrica é feita a partir de matrizes fósseis, cuja queima libera gases de efeito estufa. Segundo o relatório anual de 2012 da Agência Internacional de Energia (IEA, 2012) aproximadamente 80% das emissões de CO<sub>2</sub> admissíveis em 2035 já estão irremediavelmente determinadas pelas emissões das centrais elétricas, das fábricas, dos edifícios existentes, entre outros. Ainda segundo a IEA (2013), será necessário reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do setor em 77% até 2050 para manter o aquecimento médio global abaixo de 2°C. Um importante meio para reverter este cenário é a aplicação rápida de tecnologias de maior eficiência energética, a fim de se atingir o tão necessário acordo mundial de redução das emissões de gases de efeito estufa.

O Brasil ocupa uma posição diferenciada no contexto energético mundial por possuir uma forte base hidráulica para produção energética, já que 70,6% da rede elétrica brasileira é baseada em hidroeletricidade (BRASIL, 2014). Essa matriz envolve questões ambientais e sociais polêmicas e sua emissão de gases de efeito estufa não é, ainda, completamente conhecida pela ciência (VIANNA *et al.*, 2009). Ainda assim, pode-se afirmar que suas emissões são bastante reduzidas se comparadas a outras fontes energéticas. De fato, o Brasil tem enorme potencial para fazer mudanças relativamente rápidas para uma economia de baixo carbono se comparado a outros países devido, principalmente, aos seus recursos naturais, possibilidades de acesso a fontes renováveis de energia e melhor gestão dos recursos, além de potenciais ganhos de eficiência energética e tratamento de resíduos. Ainda assim, algumas ações governamentais no campo energético, como a instalação de novas centrais de termelétricas, vão na contramão desta direção. Se até o ano de 2013 as centrais térmicas funcionavam apenas no período seco, com a escassez de chuvas verificada nos anos 2013 e 2014 somada à demanda crescente de energia, as térmicas estão funcionando por mais tempo, o que implica em importante aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> pelo setor elétrico (CBCS *et al.*, 2014).

Desse modo, mesmo a hidroeletricidade mantendo participação preponderante na produção de energia elétrica, outras matrizes, mais poluentes, vêm ganhando espaço nos últimos anos: entre os anos de 2012 e 2013 a participação hidráulica no montante de energia elétrica apresentou uma redução de 5,9% e a participação de matrizes não renováveis, em 2013 representou 20,7% do total nacional, contra 15,5% em 2012 (BRASIL, 2014). Tendo em vista que, a médio prazo, as tendências do setor apontam para aumento importante no consumo energético, reduções nas médias anuais de chuva além de participação crescente de centrais termelétricas, pode-se considerar que a energia elétrica no Brasil ficará mais cara e mais “suja” nos próximos anos (CBCS *et al.*, 2014).

No âmbito da arquitetura e do urbanismo, as ações possíveis não se localizam no campo da geração elétrica, mas da eficiência energética dos edifícios e cidades. Questões dessa ordem transcendem o problema das emissões: a IEA identifica 15 principais áreas afetadas pelas questões de eficiência energética: economia

de energia, emissões de GHGs, segurança energética, entrega de energia, preço de energia, impactos macroeconômicos, produtividade industrial, redução da pobreza, saúde e bem-estar, geração de empregos, poluição do ar, gerenciamento de recursos, orçamento público, renda disponível e valores de bens (IEA, 2014). A questão da segurança energética é especialmente relevante por ser responsável por garantir condições de funcionamento ou ocupação dos edifícios mesmo em caso de racionamento ou de falta de energia como o que ocorreu no ano de 2001, quando o Brasil enfrentou uma crise energética que ficou conhecida como “apagão”.

### 3.3. O clima de São Paulo

São Paulo, cidade mais populosa e centro financeiro do Brasil, é a maior cidade da maior região metropolitana do país e um dos maiores conglomerados do mundo. A cidade é caracterizada por clima subtropical com temperaturas amenas, sendo os verões mais quentes e úmidos e invernos amenos e mais secos. No entanto, ao longo do ano são registrados extremos de temperatura que chegam a valores inferiores a 10°C no inverno e superiores a 30°C no verão (Batista, 2012).

Segundo Nobre *et al.* (2010) as projeções para a cidade de São Paulo indicam aumento no número de dias e noites quentes e redução no número de dias e noites frios. Marengo (2006) que, através de simulações utilizando os cenários A2 e B2 do quarto relatório do IPCC indica uma anomalia nas temperaturas do sudeste brasileiro para um padrão tipicamente tropical. As mudanças também indicam que eventos que usualmente não acontecem em São Paulo passem a ocorrer, como ondas de calor.

A leitura dos dados medidos ao longo do tempo já revelam as mudanças que estão ocorrendo no clima, em específico na cidade de São Paulo, com tendência de elevação nos valores médios de temperatura nas últimas décadas e, conseqüentemente, umidade relativa mais baixa (a umidade específica não registrou tendência significativa de alteração). Os dados médios de temperatura e umidade relativa do ar registrados nas décadas de 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 e 2000 foram respectivamente: 17,7°C/85,1%, 18,0°C/85,5%, 18,3°C/82,5%, 18,7°C/81,9%, 19,0°C/81,3%, 19,4°C/80,7%, e 19,5°C/80,0% (Tabela 1, Tabela 2 e Figura 3)<sup>2</sup>. Portanto, já ocorreu aumento de aproximadamente 2°C de temperatura do ar e redução nos valores de umidade relativa de aproximadamente 5% desde o início das medições até o presente.

Sob o aspecto das temperaturas máximas e mínimas (absolutas e médias), observa-se que as alterações nas temperaturas máximas não são tão significativas quanto às das mínimas; estas estão mais altas no presente do que no passado, assim, as amplitudes mensais (diferença entre máxima e mínima absolutas) e a diferença entre os valores médios das temperaturas máximas e mínimas apresentam números gradativamente menores, indicando um achatamento das temperaturas diárias e mensais, tendência que se mantém para os dados futuros, conforme cenários simulados.

Para perspectivas de clima futuro, foram obtidos, junto ao IAG-USP, dados de temperatura e umidade relativa<sup>3</sup> simulados pela pesquisadora do IAG-USP Marta P. Llopart, cedidos pela professora Rosmeri P. da Rocha a partir dos modelos: regional RegCM4 e global MPI (*Max-Planck Institute for Meteorology*) utilizando o cenário RCP (*Representative Concentration Pathways*) 8,5 do IPCC AR5, cenário que representa o maior nível de emissões estimadas pelo Painel (IPCC 2013; 2014a, 2014b). Os cenários simulados são presente (1975 a 2005), futuro próximo (2015 a 2044), futuro intermediário (2045 a 2074) e futuro distante (2076 a 2096) e mantêm a mesma tendência que os dados medidos dos anos passados revelaram (Tabela 3, Tabela 4 e Figura 4).

### 3.4. Desempenho dos Edifícios Frente às Mudanças Climáticas

O setor de edificações é o maior consumidor final de energia no mundo (CBCS *et al.*, 2014). Segundo o PBMC (2013c) o setor está ganhando expressão no consumo de energia tanto no Brasil quanto no mundo de modo que pode responder por parcela significativa das emissões de dióxido de carbono. No caso brasileiro, seu consumo energético responde por aproximadamente 48,5% do consumo total do país (CBCS *et al.*, 2014). No Brasil, porém, devido à sua preponderante base hidráulica para a produção de energia elétrica, o efeito é atenuado.

<sup>2</sup> Dados obtidos da Estação Meteorológica do IAG-USP/Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Por se localizar em área de parque, os efeitos microclimáticos urbanos são reduzidos, de modo que a variação nos dados medidos revela, principalmente, o efeito das mudanças climáticas globais no local.

<sup>3</sup> A variável mais significativa para a mudança climática é a temperatura do ar e a umidade relativa do ar varia em função dela. Deste modo, essas duas variáveis foram alteradas nos arquivos climáticos e as demais ficaram fixas e o efeito da mudança climática pôde ser observado com maior clareza.

Tabela 1. Variação da temperatura média mensal na cidade de São Paulo ao longo dos anos. Dados de 1933 a 2014 medidos pela Estação Meteorológica do IAG-USP Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Elaboração da autora.

Temperaturas (°C): médias mensais													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1933	19,9	21,1	19,0	17,0	15,6	13,3	13,3	15,1	16,2	16,9	16,8	18,4	16,9
1934	20,6	21,1	20,3	18,7	16,5	15,6	13,7	15,2	16,2	16,3	18,8	19,5	17,7
1935	20,2	20,7	20,6	17,3	14,4	15,9	15,7	14,9	16,2	17,2	18,4	20,8	17,7
1936	21,4	19,7	19,5	18,5	18,8	17,0	14,9	14,0	15,4	17,6	18,0	19,9	17,9
1937	19,0	21,1	20,4	17,9	15,0	14,9	15,3	16,3	15,8	16,7	17,6	18,3	17,4
1938	22,5	20,7	21,2	18,4	15,8	14,7	14,2	14,9	16,4	17,3	18,5	19,6	17,9
1939	20,8	21,4	21,3	18,5	17,5	15,4	12,9	16,2	15,6	17,6	19,1	19,8	18,0
1940	21,4	19,8	20,9	20,1	17,7	15,9	16,4	16,4	16,2	17,3	18,3	22,6	18,6
1941	21,8	22,0	19,9	20,8	17,4	14,5	14,0	17,0	13,8	16,7	18,6	19,7	18,0
1942	20,7	21,5	20,7	18,3	15,9	14,5	11,6	14,8	15,3	17,1	18,4	18,3	17,3
1943	19,8	20,3	20,3	16,3	16,5	15,6	14,0	13,4	15,0	17,1	18,3	18,4	17,1
1944	21,2	20,2	20,7	17,0	15,3	15,0	12,9	15,9	17,1	19,7	17,6	19,2	17,6
1945	20,2	21,5	19,8	18,0	14,5	13,4	14,4	17,1	15,7	17,7	18,3	18,6	17,4
1946	20,8	22,6	19,9	17,3	17,8	14,8	13,8	16,6	17,8	18,4	18,9	18,8	18,2
1947	21,2	22,0	19,2	18,0	17,8	16,2	13,4	14,8	16,1	15,2	16,9	18,6	17,5
1948	22,0	21,4	19,0	18,4	16,3	15,2	16,2	14,1	16,7	16,7	18,7	19,4	17,8
1949	20,6	19,9	22,0	17,7	15,7	16,0	14,5	15,6	16,1	16,6	17,6	19,7	17,7
1950	20,5	20,8	20,6	18,8	17,5	16,1	14,8	17,0	17,1	16,9	17,8	20,0	18,2
1951	20,3	20,8	19,8	15,9	15,7	14,4	13,1	13,9	16,3	17,5	19,0	18,5	17,1
1952	20,2	20,0	20,5	17,1	16,7	15,2	14,9	16,7	16,0	18,0	19,0	19,8	17,9
1953	21,8	20,6	20,8	18,1	16,9	15,5	13,3	15,7	17,7	18,3	18,6	19,4	18,0
1954	22,1	21,6	20,8	18,2	16,6	16,3	15,6	16,4	17,7	17,8	18,6	19,6	18,4
1955	20,9	21,9	20,7	18,5	15,8	15,0	14,8	15,3	16,6	16,4	16,9	20,2	17,7
1956	23,4	21,2	20,2	18,2	15,0	13,4	13,9	13,7	17,7	17,1	16,8	19,1	17,5
1957	21,1	20,3	20,3	18,1	16,0	15,0	14,4	15,8	15,8	19,1	18,7	20,7	18,0
1958	21,5	22,1	20,0	17,8	16,1	15,4	16,0	17,9	16,8	18,3	20,5	21,5	18,7
1959	21,7	22,0	20,0	21,4	17,7	15,0	16,5	16,1	18,3	18,8	19,1	20,2	18,9
1960	20,1	20,3	20,1	18,4	14,8	15,0	15,1	17,0	17,2	19,7	19,2	20,5	18,1
1961	21,4	21,8	20,5	19,8	16,9	16,4	15,7	17,3	19,7	20,1	20,4	20,2	19,2
1962	20,2	20,5	20,7	18,2	15,4	13,6	13,2	15,2	17,1	16,7	18,6	19,4	17,4
1963	22,2	21,1	21,9	18,6	16,1	14,3	15,4	16,7	19,7	18,9	20,6	20,2	18,8
1964	20,3	20,8	20,4	19,4	15,9	14,2	12,7	16,3	17,3	17,0	17,6	19,2	17,6
1965	19,6	21,0	19,3	19,2	16,5	16,8	15,3	16,9	18,8	18,3	19,6	21,6	18,6
1966	22,0	23,0	20,9	19,0	17,0	16,6	16,5	15,6	16,0	18,1	18,8	20,8	18,7
1967	20,7	21,6	20,6	19,9	18,0	16,1	15,6	17,9	17,7	20,2	18,8	18,8	18,7
1968	20,8	19,9	20,4	16,8	14,2	14,5	14,2	14,5	16,2	17,7	19,9	21,4	17,5
1969	22,4	22,2	21,4	18,3	17,1	16,2	15,3	16,6	17,9	16,4	19,7	18,9	18,5
1970	20,8	21,4	21,5	19,2	18,7	17,3	15,1	15,5	16,3	17,4	17,7	22,0	18,6
1971	22,9	22,3	21,8	18,5	16,3	14,9	15,0	16,4	16,9	17,1	17,8	20,3	18,4
1972	21,7	21,1	21,7	17,6	17,7	17,7	15,4	17,0	17,5	18,7	19,8	21,2	18,9
1973	22,9	23,2	20,6	21,8	17,1	17,4	16,4	15,2	16,3	17,5	17,9	20,9	18,9
1974	21,5	22,3	21,0	18,1	17,2	14,8	15,8	16,6	16,8	17,2	19,4	19,7	18,4
1975	21,0	22,1	21,6	18,1	16,2	15,5	13,7	18,4	17,6	18,0	19,5	21,2	18,6
1976	22,3	20,7	20,8	18,9	16,5	15,3	14,8	15,8	16,1	17,4	19,5	21,1	18,3
1977	21,9	23,6	22,1	18,8	17,3	16,8	18,3	18,0	18,2	19,8	20,2	19,7	19,6
1978	22,2	21,9	21,7	18,1	15,8	15,2	16,5	15,5	17,1	19,2	19,8	20,7	18,6
1979	19,2	21,6	19,9	18,5	17,3	14,9	14,6	17,3	16,7	19,8	19,2	21,3	18,4
1980	20,7	21,7	22,9	19,9	18,7	15,4	16,3	16,9	15,7	19,3	19,5	22,5	19,1
1981	21,8	23,0	21,3	18,8	18,1	15,2	13,7	16,2	18,3	17,1	20,4	20,7	18,7
1982	19,8	22,5	20,4	17,9	16,3	17,7	16,5	17,4	17,4	18,9	21,3	20,2	18,9
1983	22,2	22,5	20,9	19,7	18,7	16,2	17,1	16,4	15,4	18,2	20,9	21,3	19,1
1984	23,5	24,0	21,1	19,1	19,5	17,3	16,6	15,3	16,4	19,6	20,3	20,3	19,4
1985	20,2	22,5	22,1	20,7	17,0	14,7	14,7	17,4	17,0	19,0	20,3	21,0	18,9
1986	23,0	22,4	21,6	20,6	19,1	16,2	15,1	17,3	16,9	18,6	21,2	21,3	19,4
1987	22,9	22,2	21,0	20,8	17,0	15,0	17,8	15,7	16,4	18,9	20,2	21,6	19,1
1988	23,4	20,9	21,7	19,6	17,1	14,6	12,9	16,5	18,6	17,8	18,9	21,0	18,6
1989	21,9	22,5	21,6	20,6	16,8	15,8	14,2	16,1	17,0	16,8	19,2	20,4	18,6
1990	23,0	22,4	22,6	21,9	16,8	15,6	14,1	15,2	16,2	20,0	21,9	21,0	19,2
1991	21,2	21,3	20,7	19,5	17,9	16,9	15,7	16,7	16,4	19,2	20,6	22,3	19,0
1992	21,8	22,5	21,9	20,2	19,0	18,0	15,4	15,3	16,8	19,1	19,7	20,6	19,2
1993	22,9	21,7	22,1	20,9	17,9	16,0	16,8	15,4	16,9	20,2	22,3	21,8	19,6
1994	21,6	24,0	21,2	20,0	19,0	15,9	16,5	16,2	18,8	20,3	20,9	22,7	19,8
1995	23,5	22,4	21,6	19,8	17,7	16,5	17,8	17,7	17,6	18,1	20,5	21,2	19,6
1996	23,2	22,6	21,7	20,3	16,8	16,0	13,9	15,5	16,8	19,2	19,7	22,1	19,0
1997	22,1	22,6	20,8	19,4	17,2	15,9	17,1	17,1	18,4	19,6	21,5	23,1	19,6
1998	23,9	23,6	22,5	20,6	17,1	15,6	16,0	18,4	18,1	18,2	19,2	22,0	19,6
1999	23,1	22,9	22,4	19,3	16,5	15,7	16,3	16,4	17,7	17,2	18,4	21,7	19,0
2000	22,0	21,6	20,9	19,8	17,3	17,3	14,6	16,2	17,4	20,9	20,5	21,9	19,2
2001	23,4	23,6	22,7	21,8	17,5	16,9	16,5	17,8	17,7	19,3	20,8	21,3	19,9
2002	22,3	21,4	23,6	22,2	18,9	18,6	15,7	19,2	17,1	22,0	21,4	22,6	20,4
2003	22,2	24,2	21,8	20,3	17,3	18,1	16,7	15,1	17,4	19,1	20,3	21,9	19,5
2004	20,7	20,8	20,3	20,6	16,7	16,0	15,3	16,3	19,9	18,6	20,2	20,6	18,8
2005	22,0	21,4	21,7	21,4	18,7	18,0	16,0	18,2	17,1	20,0	19,6	20,4	19,5
2006	22,6	22,8	22,4	19,7	16,1	16,2	16,9	17,4	17,4	19,1	20,1	22,0	19,4
2007	22,2	22,8	23,0	21,2	16,9	17,3	15,3	17,0	19,1	20,1	19,8	21,7	19,7
2008	21,1	22,1	21,5	20,2	16,8	16,4	16,1	17,6	17,0	19,8	19,6	20,3	19,0
2009	21,6	22,9	22,4	19,5	18,4	14,8	15,8	17,3	18,9	19,0	23,3	21,8	19,6
2010	22,9	23,8	22,2	19,7	17,8	15,6	17,4	16,0	18,5	17,7	20,1	22,0	19,5
2011	23,2	23,3	21,0	20,7	16,7	14,8	16,4	17,2	17,1	19,3	18,9	21,0	19,1
2012	20,7	23,4	21,6	20,5	17,4	17,0	16,4	17,8	18,9	21,1	20,0	23,7	19,9
2013	21,2	22,7	21,4	19,3	17,8	17,5	15,4	16,5	18,0	18,9	20,7	22,3	19,3
2014	24,2	24,3	22,3	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3. Variação das temperaturas médias mensais nos cenários simulados pelo IAG-USP. Elaboração da autora.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
Presente	21,2	20,9	19,9	18,1	16,3	14,8	13,7	14,3	16,1	17,8	18,6	19,8	17,6
Futuro Próximo	21,8	21,9	20,8	19,0	17,3	15,5	14,8	15,4	17,5	19,0	19,4	20,5	18,6
Futuro Médio	22,8	22,7	21,9	20,2	18,4	16,8	15,9	16,8	19,4	20,3	21,2	21,9	19,9
Futuro Distante	24,4	23,6	22,8	21,1	19,7	18,0	16,6	18,3	20,5	22,4	22,3	23,1	21,1

Tabela 2. Variação da umidade relativa média mensal na cidade de São Paulo ao longo dos anos. Dados de 1933 a 2014 medidos pela Estação Meteorológica do IAG-USP/Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Elaboração da autora.

Umidade relativa (%): médias mensais													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1933													
1934													
1935													
1936	82,0	86,4	88,7	85,9	85,2	83,1	80,0	83,7	85,0	84,3	87,0	87,3	84,9
1937	90,5	87,5	85,6										

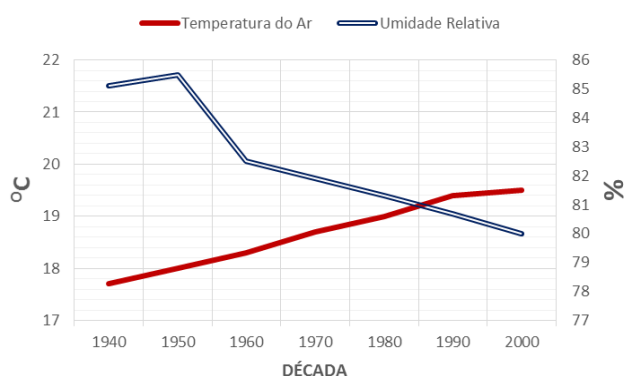


Figura 3. Variação dos dados médios medidos de temperatura e umidade relativa do ar ao longo das décadas de 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 e 2000. Elaboração dos autores.

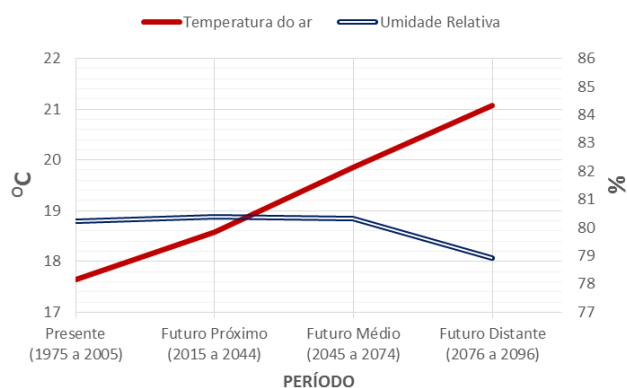


Figura 4. Variação de temperatura e umidade relativa do ar médias anuais dos cenários climáticos simulados pelo IAG-USP. Elaboração dos autores.

Os gastos energéticos das edificações ocorrem em todas as fases do seu ciclo de vida. A Figura 5 expõe os gastos energéticos relativos a cada uma das fases do ciclo de vida de um edifício e, como pode ser observado, na fase de operação ocorre a maior parte do consumo (UNEP, 2007; VIANNA *et al.*, 2009), principalmente o gasto energético decorrente das funções de resfriamento e aquecimento dos ambientes. O consumo energético em edifícios tem uma peculiaridade em relação aos outros grandes consumidores: é formado por um número muito grande de pequenas unidades com uma vida útil longa e diversas partes interessadas (UNEP, 2007), de modo que seu consumo energético somado resulta em um gráfico de cauda longa, conforme Figura 6. Este é, provavelmente, um dos grandes obstáculos para a contabilização da contribuição deste setor tanto na emissão de gases de efeito estufa quanto nos ganhos com maior eficiência energética, o que é reforçado pelo fato do setor não figurar nos principais acordos internacionais para a diminuição das emissões de carbono, a exemplo do protocolo de Kyoto. No cenário mundial, a eficiência energética dos edifícios tem potencial para reduzir a demanda energética e, conseqüentemente, parte das emissões de gases de efeito estufa e, deste modo, contribuir para a mitigação das mudanças climáticas ocasionadas por razões antrópicas (DE WILDE, TIAN, 2011).

Historicamente, o Brasil representa um contraponto neste cenário, pois a maior parte da energia elétrica do país é gerada a partir de fontes hídricas e o consumo energético para a função de resfriamento em edifícios residenciais era relativamente baixo, respondendo por percentual de aproximadamente 20% do total em edifícios residenciais enquanto, em edifícios comerciais, esse valor era de cerca de 47% (LAMBERTS *et al.*, 2007).

Existem, porém, evidências de tendência de aumento da demanda por resfriamento, não só no Brasil como no exterior. Segundo Isaac e Van Vuuren (2009) mesmo em países de clima mais frio, com as mudanças climáticas previstas, espera-se que a demanda energética para resfriamento seja maior que a redução da demanda para aquecimento. Nas ocorrências de onda de calor, essa demanda tende a ser ainda maior, a exemplo do episódio nos meses de janeiro e fevereiro de 2014, em São Paulo, quando foi registrado aumento no consumo de energia de 4,9% em janeiro e 8,6% em fevereiro em comparação com os mesmos meses de 2013, sendo grande parte desse incremento devido ao aumento do consumo de ar-condicionado no período e o maior crescimento ocorreu na parcela doméstica (BRASIL, 2014a; 2014b).

Portanto, estratégias de mitigação devem envolver a melhoria da eficiência energética em edifícios, especialmente enfrentando o processo de transição brasileira para melhores patamares de consumo energético, visando as questões de segurança energética e um aumento gradual das temperaturas causadas pela mudança climática em andamento e conseqüente aumento da demanda por resfriamento.

O desempenho térmico e energético dos edifícios está relacionado ao clima do local onde se implantam e os edifícios possuem vida longa: a norma brasileira “NBR 15575 (2013): Edificações habitacionais – Desempenho”, estabelece que sua estrutura deva durar por no mínimo 50 anos. Assim, tanto edifícios já existentes quanto aqueles sendo construídos agora ou nos próximos anos sofrerão os efeitos das mudanças climáticas. Colocam-se, pois, novos desafios para as construções e seu desempenho em cenários climáticos mais severos do que os atuais.

O trabalho de adaptação e mitigação é crucial nas áreas urbanizadas e nos edifícios. Por um lado, o ritmo acelerado da urbanização aumenta a vulnerabilidade dos habitantes aos impactos das mudanças climáticas. Por outro lado, as megacidades, a exemplo de São Paulo, funcionam como amplificadores dessas alterações. Independentemente das mudanças climáticas globais, as cidades tendem a ter temperaturas do ar e de superfície mais altas do que os ambientes rurais (UN-HABITAT, 2011; STONE, 2012). Um exemplo é o



fenômeno da ilha de calor urbana em suas diferentes manifestações; originalmente esse fenômeno era caracterizado por um aumento da temperatura mínima noturna em ambientes urbanos (OKE, 1973), mas há estudos recentes em áreas urbanas tropicais e subtropicais trazendo novas contribuições, inclusive no Brasil. Esse fenômeno, restrito às áreas urbanas, já foi considerado pouco significativo em escala global (OLIVEIRA, 2008), mas muito ainda há que se investigar a respeito. Ainda assim, fenômenos deste tipo, quando intensificados por um aumento de médias globais de temperatura, tendem a se tornar mais prementes (STONE, 2012).

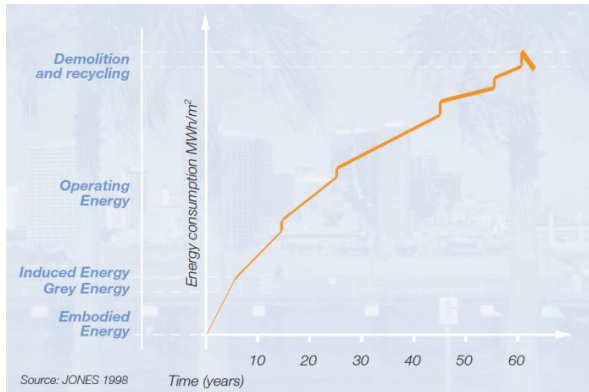


Figura 5. Energia consumida durante a vida de um edifício. Tempo de vida estimado: 60 anos. (JONES, 1998, in UNEP, 2007).

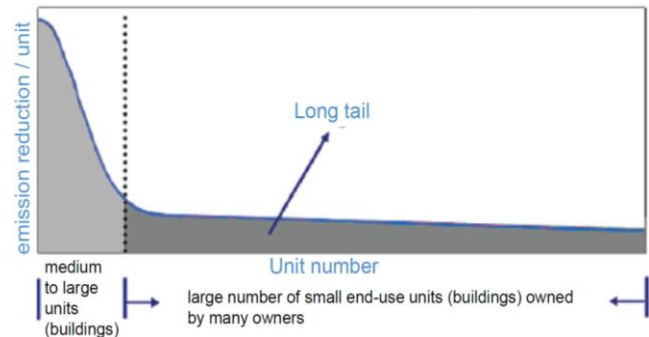


Figura 6. Pequenas economias de grandes números de unidades de uso final constituem a distribuição em 'cauda longa' de projetos do setor de construção. Fonte: UNEP, 2009. Adaptado de Hinojosa *et al.*, 2007, in UNEP, 2009.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas podem ocasionar alterações no desempenho térmico dos edifícios construídos nos padrões atuais e/ou provocarem um aumento no consumo de energia, especialmente para resfriamento ativo. Existe grande aceitação internacional de que a ocorrência de mudanças climáticas e consequente aumento da ocorrência de temperaturas extremas podem ocasionar superaquecimento em edifícios não climatizados artificialmente até mesmo em países europeus de climas mais frios. A ocorrência das temperaturas extremas, especialmente as mais altas, pode ser tratada com a utilização de sistemas de condicionamento ativos. Porém, além do alto custo da medida, tendo em vista o desenho das matrizes energéticas atuais e o caráter acelerador da emissão de gases de efeito estufa nas mudanças climáticas, estas ações intensificariam o processo (LOMAS, GIRIDHARAN, 2012) indo, portanto, em oposição à mitigação de seus efeitos. Neste sentido, adaptação com condicionamento ativo e mitigação passam a ser conflitantes.

É importante destacar a capacidade de adaptação das pessoas a alterações nas condições ambientais. No limite, porém, problemas de conforto podem se transformar em problemas de saúde se as condições se tornarem mais variáveis e as pessoas não puderem ou não souberem como lidar com os efeitos adversos (NICOL *et al.*, 2012), daí a importância de os edifícios responderem de maneira adequada nos cenários futuros.

Se, por um lado, arquitetos e engenheiros, enquanto projetistas, podem contribuir para o melhor desempenho dos edifícios, por outro, há grandes desafios a serem transpostos para se chegar a esse objetivo. Tem-se, como certo, que o clima está em transição, porém, a compreensão do fenômeno e as projeções do futuro climático não são de fácil acesso para essas áreas. A multidisciplinaridade do assunto acarreta em desafios de compatibilização, por exemplo, entre o campo da meteorologia e o das simulações de desempenho térmico em edifícios, por diferenças em escalas de trabalho, intervalos temporais e variáveis consideradas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Carolina Abrahão. **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana de São Paulo**. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos. 2014. (Dissertação de mestrado em Arquitetura) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2014.
- ALVES, Carolina Abrahão, DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Residential Buildings' Thermal Performance and Comfort for the Elderly under Climate Changes Context in the city of São Paulo, Brazil. *Energy and Buildings* (Submetido). 2015.
- ALVES, Carolina Abrahão, TATEOKA, Suzana S.; DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Thermal performance and comfort in traditional residential buildings for the elderly under climate changes context. In: **Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, October 13-15, 2014, Proceedings** Venice, 2014.
- ALVES, Carolina Abrahão, TATEOKA, Suzana S.; DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Thermal Comfort in Residential Buildings for the Elderly under Climate Changes Context. In: **30th International PLEA Conference:**

**Sustainable Habitat for Developing Societies Choosing the way forward December 16 -18, 2014 Proceedings**, Ahmedabad, 2014.

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575**: Edifícios habitacionais - Desempenho. Fevereiro, 2013.
- BATISTA, Rafael J. R. Climatologia e previsão climatológica, via modelo RegCM3, de índices de conforto térmico para a região metropolitana de São Paulo. 2012. (Dissertação de mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, 2014.
- CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável); BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA); Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas. Subsídios para a Promoção da Construção Civil sustentável**. Versão 1: Novembro, 2014.
- COLEY, David; KERSHAW, Tristan; EAMES, Matt. **A comparison of structural and behavioural adaptations to future proofing buildings against higher temperatures**. *Building and Environment*, v. 55, p. 159-166, set. 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004276>>. Acesso em: 20 mar. 2013.
- de WILDE, Peter; TIAN, Wei. **Towards probabilistic performance metrics for climate change impact studies**. *Energy and Buildings* v. 43, p. 3013-3018, 2011.
- GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Blucher, 2010.
- IEA (International Energy Agency). **World Energy Outlook 2012**. IEA/OECD: Paris, 2012.
- \_\_\_\_\_. **Capturing the multiple benefits of energy efficiency**. IEA/OECD: Paris, 2013.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. IPCC Working Group III Contribution to AR5. 2014.
- \_\_\_\_\_. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. IPCC Working Group II Contribution to AR5. 2014
- \_\_\_\_\_. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. IPCC Working Group I Contribution to AR5. 2013.
- \_\_\_\_\_. **Climate change 2007: synthesis report**. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Pachauri RK, Reisinger A, editors. Core writing team. Geneva: IPCC; 2007.
- \_\_\_\_\_. **Climate Change 2001: Synthesis Report 2001**- Contribution of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001.
- \_\_\_\_\_. **Climate Change 1995: Synthesis Report 1995** - Contribution of Working Group I, II, and III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995.
- \_\_\_\_\_. **Climate Change: The IPCC Scientific Assessment**. 1990.
- ISAAC, M., VAN VUUREN, D. P. **Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change**. *Energy Policy*, v. 37(2), p. 507-521, 2009.
- LAMBERTS, R., PEREIRA, F., DUTRA, L. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. 2007.
- LOMAS, K.J.; GIRIDHARAN, R. **Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings**: A case-study of hospital wards. In: *Building and Environment*, v. 55, p. 57-72, set. 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004227>>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal, Brasil. 2006.
- MOLION, Luis Carlos Baldicero. **Aquecimento global: uma visão crítica**. In: VEIGA, José Eli (org). **Aquecimento Global: frias contendas científicas**. São Paulo: Senac, 2008.
- NICOL, Fergus; HUMPHREYS, Michael; ROAF, Susan. **Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice**. Oxon: Routledge, 2012
- NOBRE, Carlos A. et al. **Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças climáticas: Região metropolitana de São Paulo**. Sumário executivo. 2010.
- NOBRE, Carlos A. et al. **Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas**. São José dos Campos: INPE, 2012.
- OLIVEIRA, Sonia Maria Barros de. Base científica para a compreensão do aquecimento global. In: VEIGA, José Eli (org). **Aquecimento Global: frias contendas científicas**. São Paulo: Senac, 2008.
- PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo GT1. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- \_\_\_\_\_. **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT2. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- \_\_\_\_\_. **Contribuição do Grupo de Trabalho 3 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT3. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- ROAF, Sue, CRICHTON, David; NICOL, Fergus. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: Um guia de sobrevivência para o século XXI**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- STONE, Bryan. **The City and the Coming Climate: Climate Change and the Places We Live**. Cambridge University Press, 2012.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Buildings and Climate Change: Status, challenges and opportunities**. 2007
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers**. 2009
- UN-HABITAT. **Cities and climate change: global report on human settlements**. Earthscan, 2011
- da VEIGA, José Eli. **Mundo em transe: do aquecimento global ao ecodesenvolvimento**. Campinas: Armazém do Ipê, 2009.
- VIANNA, Sérgio Besserman; da VEIGA, José Eli; ABRANCHES, Sérgio. **A Sustentabilidade do Brasil**. In: GIAMBIAGI, BARROS (orgs) **Brasil Pós-Crise: Agenda para a próxima década**. Campus, p. 305-324, 2009.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro para esta pesquisa, à Prof. Dra. Rosmeri P. da Rocha (IAG-USP) pela disponibilização de dados climáticos futuros simulados e aos professores Maurício Roriz (em memória), Arlindo Tribess e Joana Gonçalves pelas valiosas contribuições ao trabalho