



## **ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DESAFIOS PARA REQUALIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES EM SÃO PAULO**

**Suzana Seikoyume Tateoka (1); Denise Helena Duarte (2)**

(1) Arquiteta e Urbanista, [suzana.tateoka@usp.br](mailto:suzana.tateoka@usp.br), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo/SP, (011) 3091 4681

(2) Professora Associada, [dhduarte@me.com](mailto:dhduarte@me.com), Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo/SP, (011) 3091 4681

### **RESUMO**

As mudanças climáticas são evidentes quando observado o aumento da média de temperatura global do ar e do oceano, ocasionando a diminuição das geleiras e consequente aumento no nível do mar. Eventos climáticos extremos também têm sofrido mudanças em intensidade e/ou frequência, como o aumento na frequência das ondas de calor e precipitações acima da média, observadas nos últimos anos. A vida útil das edificações é longa o bastante para estarem submetidas a estas mudanças. Por isso a importância em se avaliar o desempenho térmico das edificações atuais, para que haja a possibilidade de adaptá-las aos parâmetros climáticos aos quais elas estarão submetidas, diminuir o consumo energético e manter as condições de conforto, principalmente nos edifícios residenciais, tradicionalmente condicionados de modo passivo em São Paulo. Este trabalho teve como objetivo propor um projeto de retrofit de um edifício residencial da década de 1970 em São Paulo, baseado em simulações energéticas do clima atual e do clima futuro referente ao cenário RCP8.5 do IPCC - AR5 (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Fifth Assessment Report*). Os resultados obtidos mostram o impacto das estratégias de projeto adotadas e a importância que deveria ser dada aos métodos passivos de climatização dos edifícios, tendo em vista o cenário de mudanças climáticas e a escassez de recursos naturais. A proposta adotada resultou numa redução de 43% e 45% dos graus-hora de desconforto para o dormitório e sala de estar, respectivamente.

Palavras-chave: mudanças climáticas, requalificação de edifícios, conforto térmico, simulação computacional.

### **ABSTRACT**

The climate changes are evident when observed the increases in global average air and ocean temperatures, leading to a decrease of glaciers and a consequent increase in global average sea level. Extreme weather events have also changed in intensity and/or frequency, such as the frequency of heat waves and precipitation that we have observed on the latest years. The life cycle of buildings is long enough to be affected by these changes. Therefore, it is very important to evaluate the thermal performance of the current buildings, so there will be the possibility of adaptation for the climatic parameters to which they will be subjected, to reduce the energy consumption and to maintain the comfort inside the residences, which is traditionally operated on passive conditioning mode in São Paulo. The objective of this work was to propose a refurbishment project for a residential building from the 1970's in São Paulo, based on energy simulations of the current climate and the future climate related to IPCC scenario RCP8.5 - AR5 (*Intergovernmental Panel on Climate Change - Fifth Assessment Report*). The results obtained in this work has shown the impact of the adopted project strategies and the relevance that should be given to the passive conditioning methods for buildings, considering the scenario of climate change and lack of natural resources. The project's strategies have resulted in a reduction of 43% and 45% of discomfort degrees-hour for the bedroom and living room, respectively.

Keywords: climate change, building refurbishment, thermal comfort, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

O *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* é responsável pela compilação das inúmeras pesquisas existentes relacionadas às mudanças climáticas e, apesar de reconhecer um grau de incerteza em todos seus documentos, o seu grau de confiança tem aumentado com a melhoria dos modelos devido ao avanço científico e tecnológico em relação aos relatórios anteriores. Atualmente no quinto relatório, AR5, os novos cenários futuros são os RCP (*Representative Concentration Pathways*), seguidos de um valor numérico que indica a forçante radiativa aproximada (em  $Wm^{-2}$ ) de interesse no ano de 2100, podendo corresponder a diversas possibilidades econômicas futuras e cenários de desenvolvimento tecnológico. Cada cenário é dividido em três períodos: futuro próximo (2015 a 2044), futuro intermediário (2045 a 2074) e futuro distante (2076 a 2096).

O cenário mais otimista, RCP 2.6, tem o pico da forçante radiativa de  $3Wm^{-2}$ , caindo para  $2,6Wm^{-2}$ , com a concentração de  $CO_2$  equivalente atingindo cerca de 450ppm, porém, declinando antes de 2100. O médio-baixo, RCP 4.5, e médio-alto, RCP 6.0, se estabilizarão com as forçantes  $4,5Wm^{-2}$  e  $6Wm^{-2}$ , sendo a concentração de  $CO_2$  equivalente em torno de 570ppm e 790ppm, respectivamente. O cenário mais pessimista, RCP 8.5 (*business as usual* – se nada for feito e as emissões atuais forem mantidas), adotado para este trabalho, tem forçante radiativa de  $8,5Wm^{-2}$  em 2100, mas tende a aumentar, assim como a concentração de  $CO_2$  equivalente, que chega a ultrapassar 1000ppm em 2100 e atinge quase 2000ppm em 2300.

Dentro desse contexto, há que se pensar no papel do setor de edificações no consumo energético e no conforto dos usuários nos cenários climáticos futuros. Os gastos energéticos das edificações ocorrem em todas as fases do seu ciclo de vida; porém, é durante a fase operacional que a maior parte do consumo ocorre, sendo considerável o gasto energético decorrente do resfriamento e aquecimento dos ambientes. Esse consumo em edifícios possui uma peculiaridade em relação aos grandes consumidores: é constituído por um grande número de unidades com longa vida útil e diferentes usos finais. A melhoria no desempenho energético dessas edificações tem potencial para a redução da demanda energética e consequentemente redução de parte das emissões de gases estufa (UNEP, 2007).

Considerando-se os estudos de ALVES (2014), ALVES, DUARTE e GONÇALVES (2015a, 2015b e 2016) para São Paulo, para o período 2075 a 2096 (cenário futuro distante), é previsto um aumento das horas de desconforto por calor, em média, de 182% no interior das residências monitoradas. Esse desconforto tende a se agravar quando se considera que a frequência de ondas de calor deve aumentar, e seu efeito conjugado pode potencializar o desconforto térmico por calor, sendo um risco à saúde dos usuários, levando-se em consideração as edificações que não estão adaptadas para este cenário climático.

As normas técnicas vigentes no país, as leis de uso e ocupação do solo e o código de edificações do município ainda são insuficientes para atender essa nova agenda, pois há poucas mudanças no sentido de menores emissões de gases estufa para minimizar as mudanças climáticas e/ou critérios mais exigentes para viabilizar o conforto térmico nas edificações, visto a movimentação de outras cidades neste sentido, como Londres e o *The London Plan*, elaborado pela Prefeitura da cidade, que possui o capítulo 5 dedicado a essa problemática, *London's Response to climate change* (LONDRES, 2016).

Tabela 1 – Resultados de horas médias de desconforto para as edificações estudadas por ALVES (2014) e ALVES, DUARTE, GONÇALVES (2015a, 2015b, 2016).

	Cenários climáticos simulados:	Presente para Futuro Distante	
		FRIO	CALOR
Modelo De Dear et al. (1997) / ASHRAE 55 (2013)	Horas em desconforto	-52%	184%
	Graus-hora fora da zona de conforto	-60%	325%
	Graus-hora acima e abaixo da linha neutra	-48%	137%
Modelo Humphreys et al. (2010)	Graus-hora acima e abaixo da linha neutra	-24%	83%
<b>Média:</b>		<b>-46%</b>	<b>182%</b>

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi propor um projeto de retrofit de um edifício residencial da década de 1970, na cidade de São Paulo, visando à melhoria no seu desempenho térmico mantendo o modo passivo de operação ou ainda a operação com o máximo de economia de energia em modo misto de climatização para atender o cenário RCP8.5, o mais pessimista das mudanças climáticas previstas para as próximas décadas, se mantidos os padrões das emissões atuais, segundo o IPCC - AR5 (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Fifth Assessment Report*). O objeto de estudo foi escolhido tendo em vista sua tipologia com características

comuns a muitos outros edifícios construídos no mesmo período em São Paulo.<sup>1</sup> Considerando-se o estoque de edifícios construídos, a solução proposta seria um exemplo de como poderiam ser estudados e tratados outros edifícios que enfrentarão os mesmos problemas de desconforto dentro desse mesmo contexto.

### 3. MÉTODO

O método utilizado foi indutivo por meio de levantamentos feitos em campo (dimensionais, construtivos e microclimáticos); dedutivo, por meio de comparações entre o resultado da medição em campo na unidade residencial estudada com as condições climáticas externas da estação meteorológica do IAGUSP/Água Funda. Foram feitas simulações computacionais com o *Thermal Analysis Software – TAS/EDSL* e posteriormente foi aplicado o índice de conforto térmico adaptativo em vigor na norma ASHRAE 55/2013 – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* – como critério de avaliação de conforto dos ocupantes em dois cenários climáticos, atual e futuro, previsto no IPCC/AR5. Deste modo seria possível analisar as causas dos prováveis aumentos de situações de desconforto para que o projeto de retrofit fosse enfim proposto para a adaptação aos efeitos da mudança climática, aumentando a resiliência do edifício. Por fim, após o projeto de retrofit, foi feita uma nova simulação para avaliar se estas propostas atingiriam um nível aceitável de conforto ao longo do ano.

Os arquivos climáticos futuros foram elaborados a partir de dados simulados pela pesquisadora Marta P. Llopert e cedido pela Professora Rosmeri P. da Rocha, ambas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, onde somente as variáveis mais significativas para a mudança climática, segundo ALVES (2014), variaram conforme o IPCC/AR5, sendo estas a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar, enquanto as demais foram utilizadas como base o arquivo climático representativo do presente.

O objeto de estudo localiza-se na área central e densa da cidade de São Paulo, na Rua da Consolação, a principal via da região, com 4 pistas em cada direção e ilha central, além de calçadas em ambos os lados (Figura 1). Há pouca vegetação nos arredores, sendo esta composta principalmente por poucas árvores localizadas na ilha central da Rua da Consolação e pela vegetação existente no Cemitério da Consolação que se localiza a aproximadamente 100 m do edifício.

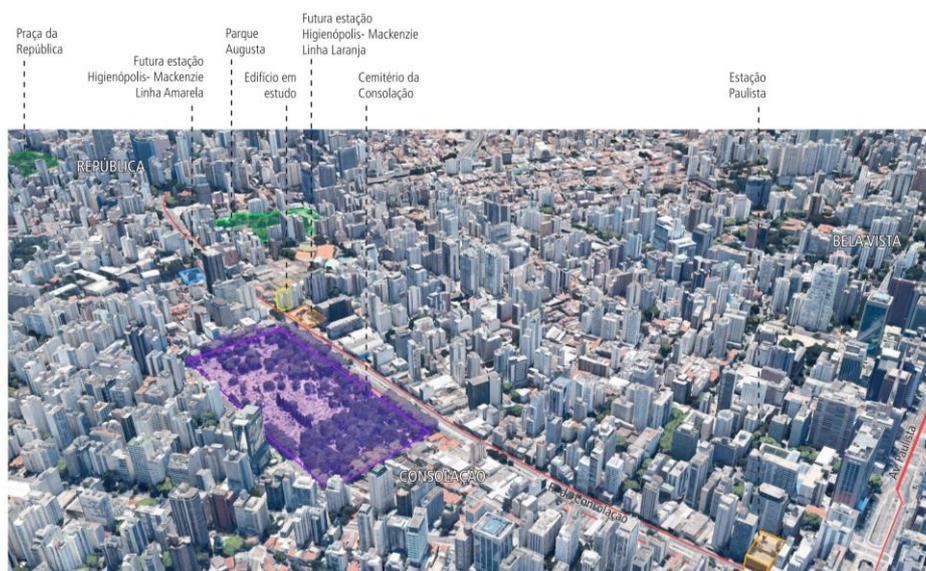


Figura 1 – Vista aérea do objeto de estudo e entorno urbanizado. Fonte: elaborado pela autora a partir do Google Earth.

A unidade residencial em estudo, o apartamento 22, faz parte de um edifício de 10 andares, com um pequeno comércio no térreo. O pavimento tipo possui quatro apartamentos por andar, com pé-direito de 2,7m e área total da unidade de 62m<sup>2</sup> (Figura 2). Localiza-se no 2º andar e tem a frente voltada para a Rua da Consolação. As paredes são de alvenaria de bloco cerâmico; as externas possuem espessura de 28cm, revestidas com argamassa e pintura de cor clara. As faces que recebem sombreamento dos edifícios adjacentes são as laterais, que são cegas. As paredes internas possuem espessura de 14cm e também são

<sup>1</sup> Este trabalho foi iniciado com uma pesquisa de Iniciação Científica, com bolsa PIBIC/CNPq, e vinculado ao projeto temático FAPESP Processo 2010/10189-5, *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*, que envolveu IAG, FM, FAU e POLI/MEC, na Universidade de São Paulo (ALVES, DUARTE, GONÇALVES, TATETOKA, 2014a, 2014b). Depois o tema foi retomado e concluído como Trabalho Final de Graduação.

revestidas com argamassa e pintura de cor clara. O apartamento em estudo demonstra um bom desempenho térmico, pois possui elevada inércia térmica e um sistema de ventilação natural suficiente para o parâmetro atual. As medições de temperatura, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura de globo realizadas foram feitas nos ambientes estar e dormitório 1. Apesar das medições serem feitas apenas em um apartamento, o projeto é proposto para o edifício como um todo, incluindo os apartamentos em diferentes orientações. Porém, as simulações e as análises a partir dos resultados só valem para o objeto em estudo, que está orientado na direção noroeste, a localização mais crítica termicamente entre os apartamentos do pavimento tipo.

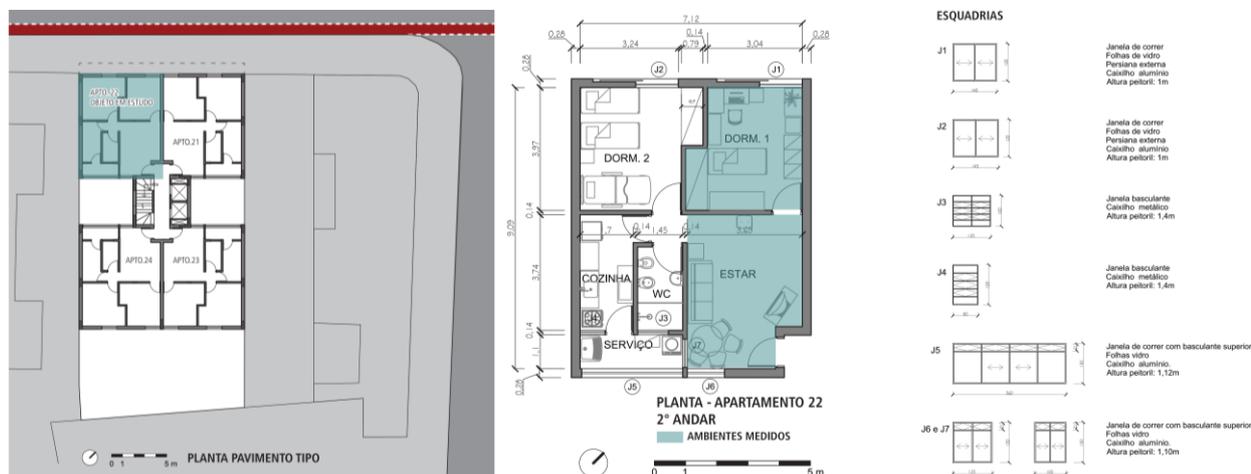


Figura 2 – Planta do pavimento tipo, à esquerda, e planta da unidade residencial 22, à direita.

Para a calibração prévia do modelo foi utilizado um arquivo climático de dados medidos no ano de 2013 na estação IAG/Água Funda, que coincide com o período de dados medidos no interior da unidade. Deste modo, seria possível fazer uma comparação entre o resultado da simulação com este arquivo climático e o medido in loco. Sabe-se que é impossível obter os mesmos valores, mas deveriam ser ao menos semelhantes e seguirem a mesma tendência comportamental termicamente.

O padrão de uso e ocupação das residências não é tão previsível como em edifícios comerciais ou industriais, por exemplo, portanto, os *schedules* diários de ocupação dos ambientes, ativação da iluminação artificial e dos equipamentos elétricos também não são tão rígidos na prática como computado pelo modelo, o que pode contribuir para as diferenças encontradas. Foi testado um modelo bem completo, atribuindo-se às diversas zonas todas as esquadrias e diferentes acabamentos, e outro mais simples onde somente aos ambientes em análise foram atribuídas esquadrias, acabamentos e cargas internas. Os resultados mostraram que o modelo simplificado resultou em melhores aproximações entre dados medidos e simulados, com ambas as curvas bastante próximas (Figura 3), além de serem arquivos mais leves, com simulações mais ágeis. Finalizada esta etapa de calibração, foi possível realizar a simulação com o clima futuro, baseados nas mudanças climáticas previstas, conforme cenários do IPCC.

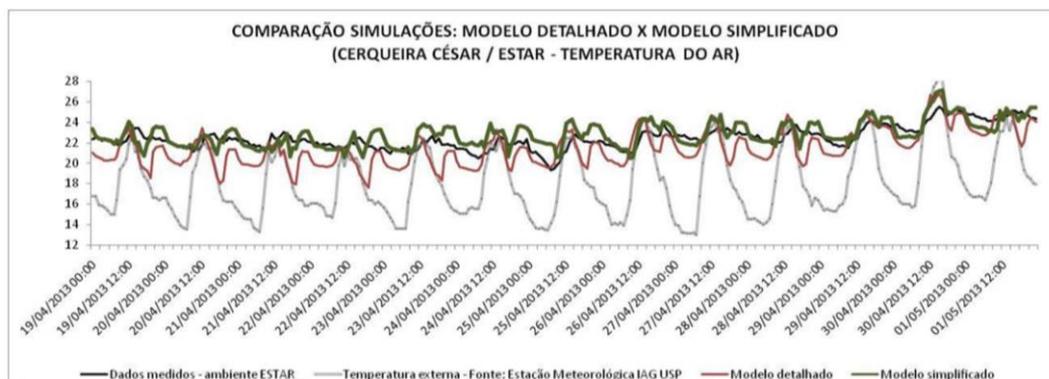


Figura 3 – Comparação entre os resultados da temperatura do ar dos dados medidos e simulados, com o modelo detalhado e simplificado (ALVES, 2013).

Com os modelos calibrados, foram feitas todas as simulações com os arquivos climáticos do período presente (1972-2005) e três períodos futuros: futuro próximo (2015-2044), futuro intermediário (2045-2074) e futuro distante (2075-2096). Em seguida aplicou-se o índice de conforto térmico adaptativo da ASHRAE 55 (2013) e os resultados obtidos serão apresentados nas tabelas a seguir.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO EDIFÍCIO EXISTENTE

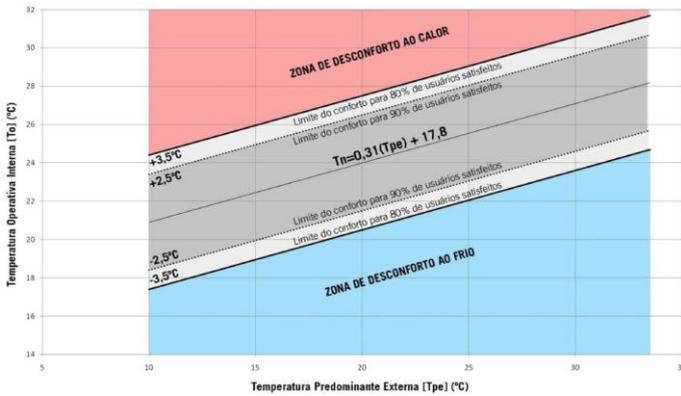


Figura 4 – Relação entre temperatura operativa interna e temperatura média mensal externa – Ashrae 55/2013 adaptada. Fonte: SILVEIRA, 2014.

relação linear com as temperaturas externas. Esta relação entre a temperatura de conforto e a temperatura externa formou a base do modelo adaptativo de conforto.

Tabela 2 – Resultado em porcentagem de aumento ou redução de conforto em **graus-hora**, com relação ao clima atual.

GRAUS-HORA		Presente pra Futuro próximo	Presente pra Futuro intermediário	Presente pra Futuro distante
DORMITÓRIO	Calor 80%	75%	323%	608%
	90%	53%	207%	383%
	Frio 80%	13%	-48%	-79%
	90%	-5%	-35%	-65%
SALA DE ESTAR	Calor 80%	81%	482%	947%
	90%	61%	261%	491%
	Frio 80%	94%	61%	41%
	90%	-4%	-19%	-54%

Tabela 3 – Resultado em porcentagem de aumento ou redução de **horas de desconforto**, com relação ao clima atual.

HORAS DE DESCONFORTO		Presente pra Futuro próximo	Presente pra Futuro intermediário	Presente pra Futuro distante
DORMITÓRIO	Calor 80%	45%	179%	336%
	90%	67%	130%	223%
	Frio 80%	-4%	-39%	-79%
	90%	-15%	-34%	-62%
SALA DE ESTAR	Calor 80%	71%	278%	481%
	90%	44%	139%	239%
	Frio 80%	37%	33%	-23%
	90%	-11%	-27%	-55%

Tabela 4: Resultado da simulação computacional com a aplicação do índice adaptativo da ASHRAE 55:2013.

	DORMITÓRIO								SALA DE ESTAR							
	80%				90%				80%				90%			
	Horas de desconforto		Graus-hora		Horas de desconforto		Graus-hora		Horas de desconforto		Graus-hora		Horas de desconforto		Graus-hora	
	Frio	Calor	Frio	Calor												
Presente	75	375	10,2	305,5	697	842	317,8	892,3	30	231	4,2	159,5	854	672	333,8	587,9
Futuro próximo	72	542	11,6	533,5	591	1172	3000,7	1361,0	41	395	8,1	289,2	763	966	319,8	949,4
Futuro intermediário	46	1046	5,3	1291,3	462	1953	206,0	2743,3	40	873	6,8	928,6	626	1606	270,6	2121,7
Futuro Distante	16	1635	2,1	2163,7	268	2718	111,7	4310,0	23	1341	5,9	1670,2	388	2281	152,7	3477,3

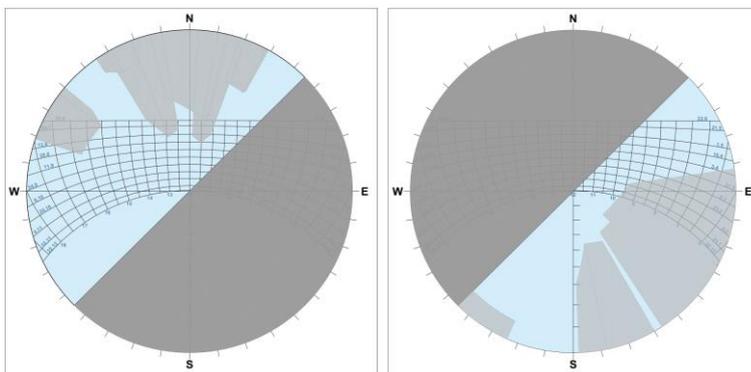


Figura 5 – Máscara de obstrução do dormitório na fachada noroeste do apartamento 22, à esquerda (unidade estudada); e do dormitório na fachada sudeste do apartamento 24, à direita.

insatisfação por frio com a progressão dos cenários, que se reduz somente no futuro distante, diferindo do padrão acima.

Se avaliarmos os resultados em relação à intensidade de desconforto sofrido pelos usuários, temos que num futuro distante o desconforto aumentará de 3 a 9 vezes mais (conforme observado na tabela 3) para

Os ambientes avaliados foram o dormitório e a sala de estar, locais de permanência da residência. As tabelas 2, 3 e 4 levam em consideração a faixa estabelecida pela norma ASHRAE 55 (2013) para a insatisfação por frio e a insatisfação por calor nas condições de conforto, com 80% e 90% de usuários satisfeitos. Esta norma baseia-se na corrente adaptativa de conforto térmico, onde os usuários não são passivos frente às condições térmicas aos quais estão inseridos e promovem mudanças para reestabelecer seu conforto. Segundo HUMPHREYS (1978), as temperaturas neutras obtidas em edifícios ventilados naturalmente (*free running building*) apresentavam uma

A porcentagem de aumento das horas de desconforto da tabela 3 se refere à quantidade de horas em que os usuários estão insatisfeitos por calor ou frio ao longo do ano, com o total de 8760 horas. Já a porcentagem de aumento em graus-hora da tabela 2 representa melhor a intensidade do desconforto sofrido pelos usuários. Pode-se observar nos resultados que há uma tendência do aumento da insatisfação por calor e uma redução da insatisfação pelo frio, pois o cenário de aquecimento é progressivo. Somente no ambiente da sala de estar, para a faixa de 80% de satisfeitos, há um aumento de

ambas as faixas, de 80% e 90% de satisfeitos. Este resultado se justifica, porque para o clima atual o apartamento em estudo ainda demonstra um bom desempenho térmico, pois possui elevada inércia térmica e um sistema de ventilação natural suficiente. No entanto, com o aquecimento progressivo, a zona de conforto, que já estava no limite, é extrapolada, gerando um intenso desconforto ao usuário. As temperaturas operativas de ambos os ambientes (dormitório e sala de estar) vão gradualmente aumentando com a progressão dos cenários climáticos futuros, ultrapassam o limite da zona de conforto ao calor cada vez mais e, ao frio, cada vez menos.

A unidade em estudo recebe radiação solar direta por todo o período da tarde e, na maior parte do ano, também por algumas horas da manhã, como pode ser visto na figura 5. O dormitório está localizado na fachada alinhada à Rua da Consolação, que é larga, possui um canteiro central de árvores baixas e pouca obstrução pelos edifícios do entorno (Figura 5 à esquerda), portanto com maior exposição à incidência de radiação solar direta, sem proteções solares, explicando as maiores temperaturas operativas em relação à sala de estar. Esta é voltada para dentro do “H” e, portanto, fica praticamente o ano todo sombreada. A fachada oposta, a sudeste, está cercada por alguns edifícios altos, que resultam no mascaramento da figura 5 à direita.

## 5. PROPOSTAS DE PROJETO PARA A MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO EDIFÍCIO

As melhores estratégias de projeto foram guiadas pela carta psicométrica, que é base das zonas bioclimáticas da NBR15220:2005, onde o objeto em estudo se encontra na zona bioclimática 3. Para esta zona, no verão é necessário que haja a possibilidade de remoção da carga térmica através da ventilação, combinada com o sombreamento das aberturas para evitar ganhos excessivos de calor. Além disso, a estratégia da massa térmica pode gerar um atraso térmico nos ambientes internos. No inverno, por outro lado, é necessária a retenção de calor. Tendo a massa térmica como aliada é possível que o aquecimento diurno dos elementos construtivos atrase o resfriamento do ambiente interno.

Para o projeto de retrofit foi proposta uma compensação ao Plano Diretor Estratégico (SÃO PAULO, 2014), que possibilitasse um pequeno avanço na projeção da fachada frontal, para a instalação de elementos externos de sombreamento adequados ao uso residencial. Em troca, seria proposta uma contrapartida ao uso público no térreo do edifício, que atualmente é todo ocupado pelo comércio. Assim, as ideias iniciais partiram das seguintes referências:

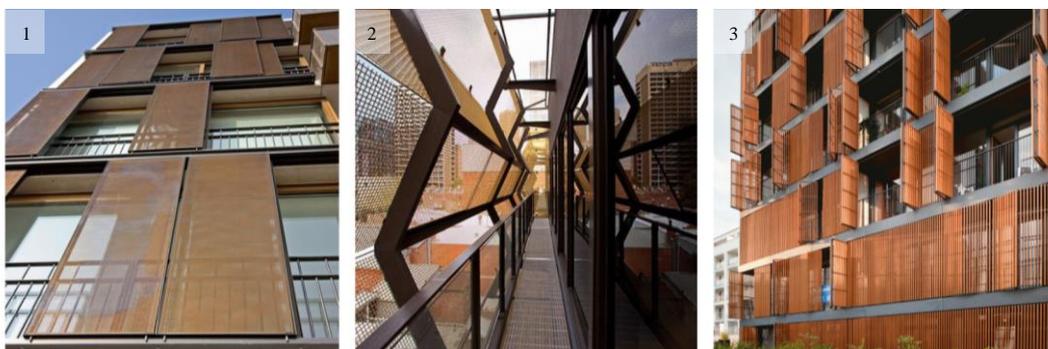


Figura 6 – À esquerda, a opção 1: Sliding shutter screen, da Hunter Douglas. Fonte: Archtonic.com; ao meio, opção 2: Edifício em Melbourne, por SJB Architects. Fonte: architectureau.com; à direita, opção 3: Wilanowska Housing Complex, por JEMS Architekci. Fonte: Archtonic.com

O edifício em estudo não possui varandas que, além de muito apreciadas em edifícios de uso residencial, poderiam ampliar as possibilidades de sombreamento e ventilação natural dos ambientes internos. A opção 1, seria utilizada para sombreamento da fachada, ainda que menos eficiente, sem avanço sobre a calçada. A opção 3, uma proposta mais eficiente para este caso, incluiria uma varanda generosa para maior sombreamento da fachada. Já a segunda opção é um meio termo entre as duas anteriores, com menor intervenção sobre a calçada, quando comparada à opção 3.

Caso fosse adotada a opção 3, uma estrutura independente da estrutura do edifício teria que ser projetada, sendo necessária a descida de pilares sobre a calçada. Pelo grau de intervenção que haveria no espaço de circulação do pedestre, esta acabou sendo descartada. Outro importante fator que guiou esta decisão também foi a dimensão da sacada comparada à dimensão da unidade residencial.

Foi escolhida, então, a opção 2, com 1m de varanda, porém com um sombreamento que tivesse um efeito próximo ao da terceira opção, com uma combinação de sombreamentos fixos (*woodbrise*) e móveis (*sliding screen*), apresentado na figura 7.

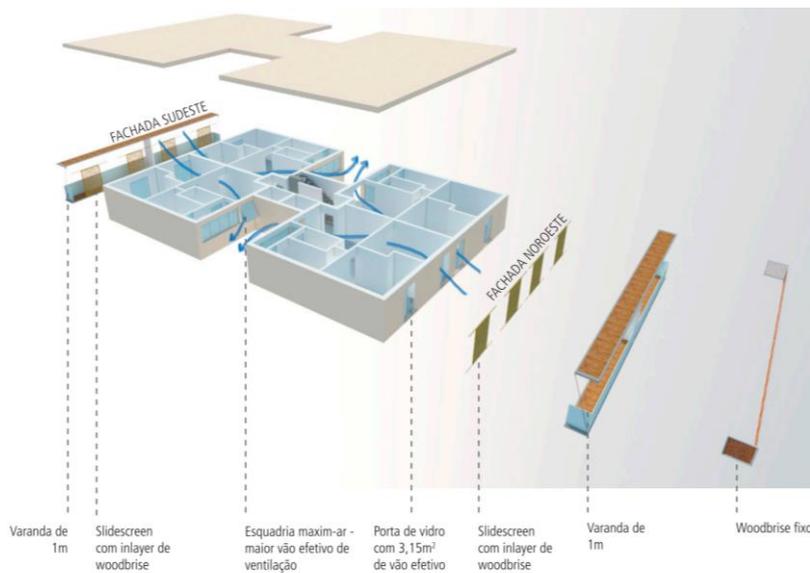
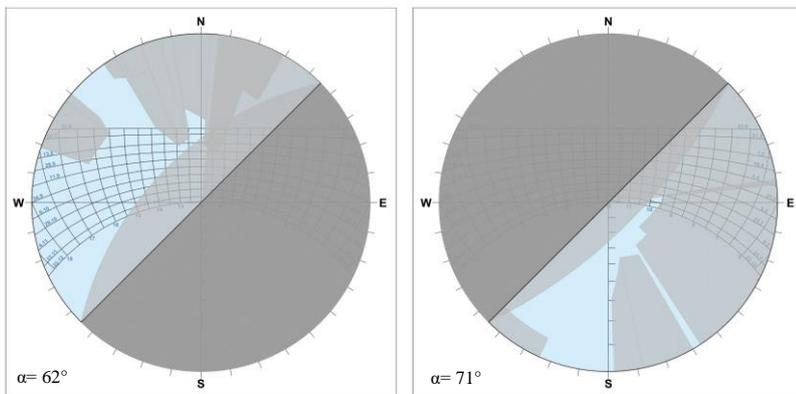


Figura 7 – Modelo do projeto com a aplicação das propostas para a melhoria do conforto térmico, com a adição de diferentes camadas à fachada frontal.



Figuras 8 – Máscaras de obstrução, incluindo as varandas com os brises propostos da fachada noroeste do apartamento 22, à esquerda; e da fachada sudeste do apartamento 24, à direita.

que os melhores resultados diários são alcançados quando se mantém as esquadrias fechadas nas horas mais quentes do dia, no período da tarde, quando a temperatura externa supera a interna.

Com a intervenção do usuário, a operação do sombreamento proposto deve variar com a incidência direta da radiação solar na fachada. A laje da varanda que funciona como um brise horizontal permite que o sombreamento da porta de vidro fique aberto por um tempo mais prolongado, principalmente durante o verão. O sombreamento da fachada evita que a massa receba radiação solar direta e se aqueça mais rapidamente, o que, por sua vez, seria transmitido ao ambiente interno.

Para a fachada sudeste, que recebe somente a radiação da manhã ao longo do ano e é sombreada pelos edifícios altos que a rodeiam, julgou-se desnecessário adotar todos os dispositivos de sombreamento propostos para a fachada oposta. Manteve-se a proposição da varanda sem o *woodbrise* fixo, mas com o *sliding screen*, para maior controle da entrada de radiação solar e, principalmente, por privacidade de uso dos dormitórios.



Figura 9 – Cronograma proposto de operação do sombreamento e do sistema de ventilação da unidade residencial, onde o laranja representa ligado e branco desligado.

computacional termodinâmica de permitir a inserção de um só cronograma anual para cada possibilidade de

Outra proposição importante para a melhoria das condições de conforto é promover a ventilação cruzada no edifício, nos momentos que o clima exterior é favorável. É essencial que haja aberturas em mais de uma fachada, como acontece neste caso, quando estão abertas a janela e a porta do dormitório (ainda que parcialmente por uma bandeira na parte superior, por exemplo) e a janela da sala de estar. Desse modo, somando-se a proposição da varanda à possibilidade da ventilação cruzada, foi necessária a troca da esquadria do dormitório por uma porta de correr, também favorável à ventilação. Além disso, foi proposta a troca da esquadria da sala de estar por outra onde há maior aproveitamento do vão, quando comparada à esquadria atual, aumentando as possibilidades de ventilação cruzada nos ambientes.

A combinação dessas duas estratégias melhora as condições de conforto térmico dos ambientes internos, desde que se mantenham as esquadrias abertas o máximo possível, nos momentos em que a temperatura externa é menor do que a interna, e que se aproveite a defasagem proporcionada pela massa térmica, permitindo que a ventilação cruzada ajude a retirar o calor acumulado. É também por causa da massa térmica

As estratégias descritas acima resultaram nos cronogramas de operação do sombreamento da porta de correr do dormitório e do sistema de ventilação como um todo, conforme na figura 9.

Com a limitação do modelo de simulação

operação, o sombreamento da porta de vidro que dá acesso à varanda foi baseado na máscara da figura 8, tentando englobar a maior parte das horas nas quais o sol incide na fachada do dormitório. Para o caso da ventilação, foram simulados 3 diferentes modos com o intuito de se quantificar qual sistema de operação é o mais eficiente para este caso específico:

- 1) Ventilação 24h: esquadrias sempre abertas com possibilidade de ventilação em todas as horas do ano.
- 2) *Function*: modo automatizado do modelo computacional para a ventilação natural, controlado pela temperatura de bulbo seco do ambiente, mas pouco viável para a operação da esquadria pelo usuário. O mesmo tipo de ventilação foi utilizado para o diagnóstico do edifício existente; mesmo sabendo-se que não é o modo de operação mais eficiente, esta função foi incluída desde as fases iniciais do trabalho para se ter um parâmetro de comparação.
- 3) Ventilação noturna combinada com o fechamento das esquadrias quando a temperatura externa é maior do que a interna (14h às 18h). Não existe no modelo nenhum modo de automação para esta operação, portanto, foi desligado o *schedule* no período da tarde de intenso calor.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO EDIFÍCIO REABILITADO

Mantendo-se a mesma estratégia de sombreamento, mas com diferentes modos de operação da ventilação, foram refeitas a modelagem, a parametrização e as simulações propriamente ditas, obtendo-se os seguintes resultados para o cenário futuro distante:

Tabela 5: Resultado das simulações para as três opções de operação do edifício analisadas, em graus-hora e horas de desconforto para 80% e 90% de usuários em conforto.

	DORMITÓRIO								SALA DE ESTAR							
	80%				90%				80%				90%			
	Horas de desconforto		Graus-hora		Horas de desconforto		Graus-hora		Horas de desconforto		Graus-hora		Horas de desconforto		Graus-hora	
	Frio	Calor	Frio	Calor												
Futuro Distante	16	1635	2,1	2163,7	268	2718	111,7	4310,0	23	1341	5,9	1670,2	388	2281	152,7	3477,3
24h de Ventilação	1632	854	2848,1	1404,4	2492	2492	4908,9	2508,8	1658	1341	2765,9	1074,5	2536	1339	4861,1	2107,5
Function	769	860	373,4	1346,2	1908	1908	1688,2	2459,5	594	762	284,2	915,0	1731	1295	1405,5	1896,3
Noturna + fechamento nas horas de maior ganho	1563	755	2687,8	1016,2	2426	2426	4669,8	2031,1	1557	707	1583,9	835,5	2435	1342	4505,5	1851,1

Tabela 6: Redução das horas de desconforto e graus-hora de desconforto de cada intervenção proposta, para 80% e 90% de usuários em desconforto por calor, em relação ao edifício da forma como está, sem nenhuma intervenção, no cenário futuro distante.

Redução em relação ao cenário futuro distante sem intervenções (%) CALOR	DORMITÓRIO				SALA DE ESTAR			
	80%		90%		80%		90%	
	Horas de desconforto	Graus-hora						
24h de Ventilação	-48%	-35%	-49%	-42%	-43%	-36%	-41%	-39%
Function	-47%	-38%	-48%	-43%	-47%	-45%	-43%	-45%
Noturna + fechamento nas horas de maior ganho	-54%	-53%	-52%	-53%	-46%	-50%	-41%	-47%

A proposta 2 (Figuras 10 e 11), com varanda de 1m combinada aos dispositivos de sombreamento trouxe bons resultados, reduzindo 43% e 45% dos graus-hora de desconforto para o dormitório e sala de estar, respectivamente, utilizando o modo automatizado de ventilação natural do modelo (denominado *function* na tabela 5 e 6 e descrito anteriormente) usado no diagnóstico para o cenário de futuro distante. No caso do dormitório, o ambiente é afetado pela incidência da radiação solar direta, que explica o efeito positivo do sombreamento da fachada; a melhoria da ventilação acontece pela troca da esquadria com aumento da área efetiva de ventilação. Na sala de estar ocorre uma redução de carga por esta receber menos calor do ambiente adjacente, o próprio dormitório, e pela melhoria na ventilação cruzada.

Quanto ao desconforto ao frio, observa-se um aumento muito significativo, à primeira vista, com os resultados numéricos, pelo seguinte motivo: como não é possível mudar o *schedule* de ventilação ao longo do ano na mesma simulação, o modelo entende que as esquadrias estarão abertas, mesmo durante o inverno, nos horários inicialmente previstos. Porém, no uso esperado dessa residência durante o inverno, os usuários teriam a possibilidade de controle da ventilação natural, simplesmente fechando as esquadrias, total ou parcialmente, nos períodos mais frios.

Além da proposta para a unidade residencial, no térreo foram sugeridas uma série de modificações (Figuras 12 e 13) que incluem a cessão de parte do pavimento térreo para o uso público, propondo-se uma praça com um *bike* café, combinado a um espaço de descanso sombreado para ciclistas e/ou pedestres que

circulam pela Rua da Consolação. O *bike café* é um espaço multifuncional que tem o intuito de trazer facilidades ao ciclista como vestiário, bicicletário, oficina, loja e café em um único local. Além de oferecer apoio ao ciclista, promove a mobilidade urbana, e provendo um ponto de apoio até o momento inexistente próxima à ciclovia já implantada na Rua da Consolação.

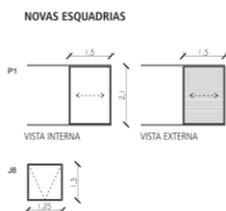


Figura 10 – Planta do apartamento proposto e suas novas esquadrias.

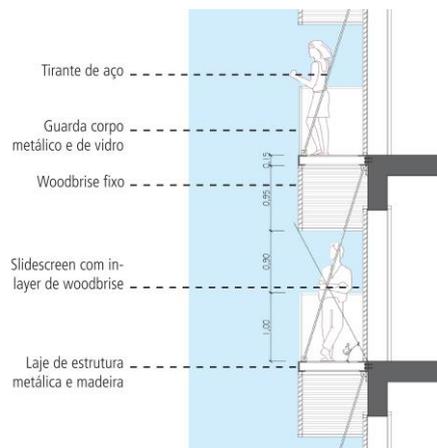


Figura 11 – Corte esquemático da varanda.

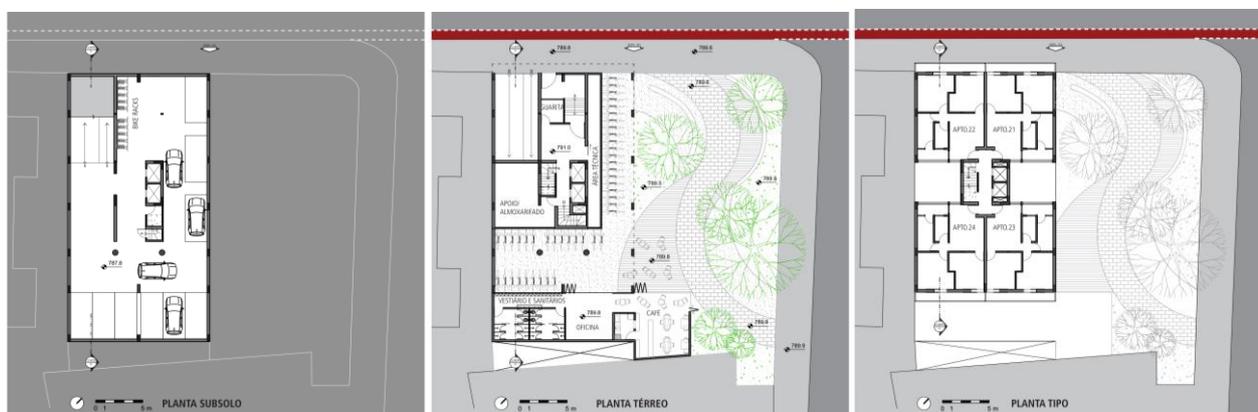


Figura 12 – Planta do subsolo, do térreo e do pavimento tipo.



Figura 13 – Perspectivas do projeto proposto.

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho mostram a importância que deveria ser dada aos métodos passivos de climatização dos edifícios, tendo em vista o cenário de mudanças climáticas e a escassez de recursos naturais que estamos enfrentando e ainda iremos enfrentar no futuro. A vida útil das edificações é longa o bastante para estarem submetidas a estas mudanças, e é essencial que haja a possibilidade de adaptação e o aumento da resiliência dos edifícios, fator que poderia ser considerado como princípio em qualquer concepção de projeto. Foi alcançada até 45% de redução dos graus-hora de desconforto com princípios básicos de térmica e que melhoraram esteticamente o edifício, trazendo mais dinamismo e diferentes texturas para fachada.

Os edifícios residenciais construídos até as últimas décadas do século XX são termicamente mais robustos (com maior massa térmica e maiores possibilidades de ventilação) e, assim, apesar do aumento expressivo das horas em desconforto nos cenários climáticos futuros estudados, ainda demonstram uma resiliência razoável às mudanças climáticas previstas. Até o momento, não se sabe qual será o desempenho

dos edifícios residenciais do estoque edificado mais recente; porém, como os edifícios são menos robustos termicamente, com apartamentos menores e com sistemas de ventilação natural menos elaborados, muitas vezes insuficientes (janelas menores, com menos opções de operação e posicionamento que nem sempre permitem uma ventilação cruzada), acredita-se que eles sejam menos resilientes às mudanças do clima.

Vivemos num cenário onde o construir rápido e pelo menor custo está, muitas vezes, acima de um bom projeto. Isto é também produto de normas técnicas pouco exigentes e de um código de edificações que não estabelece parâmetros de desempenho ambiental; ambos são insuficientes visto o cenário que vivemos e o cenário futuro que tende a se agravar, pois vemos poucas mudanças no sentido de menores emissões de gases estufa para minimizar as mudanças climáticas, e menos ainda de medidas de adaptação dos edifícios, que ficam totalmente à margem dos planos governamentais.

Internacionalmente, muitos códigos de edificações, normas técnicas e recomendações do setor da construção (como por exemplo o *The London Plan – Chapter Five: London’s Response to Climate Change*; LONDRES, 2016) estão cada vez mais exigentes e restritivos, caminhado em direção à adaptação dos edifícios às mudanças climáticas, ao contrário do que acontece em São Paulo. Ao final, quem sofre as consequências é a população que adquire ou aluga o imóvel, e que mesmo percebendo a gravidade da situação, não tem poder aquisitivo suficiente para adquirir os poucos imóveis diferenciados, com um bom projeto de arquitetura, disponíveis no mercado a preços inacessíveis à maioria da população.

## 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**. Dissertação de mestrado – FAU/USP. São Paulo, 2014.
- ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE, Denise H.S.; GONÇALVES, Fábio L.T. **Resiliência das Edificações às mudanças climáticas na Região metropolitana de São Paulo. Parte 1: Revisão crítica e contextualização**. Artigo ENCAC, 2015.
- ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE, Denise H.S.; GONÇALVES, Fábio L.T. **Resiliência das Edificações às mudanças climáticas na Região metropolitana de São Paulo. Parte 2: Estudo de caso – Desempenho térmico de edifícios residenciais de idosos**. Artigo ENCAC, 2015.
- ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE, Denise H.S.; GONÇALVES, Fábio L.T. Residential buildings’ thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, 2015.
- ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE, Denise H.S.; GONÇALVES, Fábio L.T.; TATEOKA, Suzana S. **Thermal Comfort in Residential Buildings for the Elderly under Climate Changes Context**. 30th International PLEA Conference, 2014.
- ALVES, Carolina A.; DUARTE, Denise; GONÇALVES, Fabio L. T.; TATEOKA, Suzana. **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, 2014, Venice. p. 476-487.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3. Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Janeiro, 2003.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **ASHRAE 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013.
- GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. **Edifício ambiental**. Oficina de textos. São Paulo, 2015.
- HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Research and Practice**, 6:2, 5-102, 1978.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. IPCC Working Group III Contribution to AR5. 2014.
- LONDON. **The London Plan. Chapter five - London’s Response to Climate Change**. 2016. Disponível em: <[https://www.london.gov.uk/sites/default/files/the\\_london\\_plan\\_malp\\_march\\_2016\\_-\\_chapter\\_5\\_-\\_londons\\_response\\_to\\_climate\\_change.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/the_london_plan_malp_march_2016_-_chapter_5_-_londons_response_to_climate_change.pdf)>. Acesso em: Mar. 2017.
- \_\_\_\_\_. **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.
- SÃO PAULO. **Plano Diretor Estratégico**. Lei nº16.050 de 31 de Julho de 2014.
- SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo UNICAMP. Campinas - SP, 2014.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Buildings and Climate Change: Status, challenges and opportunities**. 2007.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq, pela bolsa PIBIC para esta pesquisa e à FAPESP, pelo financiamento do projeto temático 2010/10189-5. À Carolina Abrahão Alves pelo conhecimento compartilhado e pela contribuição valiosa a este trabalho. Ao técnico de laboratório Ranieri Carvalho Higa, pelo apoio nas medições de campo. E a estação meteorológica IAG-USP/Água Funda pela disponibilização dos dados climáticos medidos.