

Gabriel Bonansea de
Alencar Novaes
Leonardo Marques
Monteiro

i

IMPACTOS DA MORFOLOGIA DA
CIDADE NAS CONDIÇÕES
MICROCLIMÁTICAS DE ÁREAS
URBANAS CONSOLIDADAS DE
SÃO PAULO EM DIAS QUENTES

pós- | I

RESUMO

Esta pesquisa realizou uma avaliação dos potenciais impactos que diferentes composições morfológicas de áreas urbanas consolidadas podem ocasionar sobre as condições microclimáticas locais em dias quentes percebidas na escala do pedestre, com base em simulações das condições térmicas de espaços urbanos abertos de exemplos de bairros da cidade de São Paulo, por meio do *software* ENVI-met, calibrado a partir de medições empíricas de variáveis microclimáticas em um ambiente existente da cidade. Os resultados das avaliações de cinco diferentes modelos, frente às suas diferentes características de ocupação, permitiram verificar que as condições morfológicas são capazes de contribuir para a alteração das principais variáveis térmicas do espaço urbano aberto e índices de conforto térmico dos pedestres. Nos modelos estudados, verificou-se que, quanto maior adensamento e a verticalização, mais amenas se mostraram as condições térmicas dos espaços urbanos abertos no período diurno, em função do sombreamento ocasionado pelos edifícios, e maiores os valores de temperatura do ar no período noturno, devido à maior emissão de radiação de onda longa pelo cânion urbano durante a noite.

PALAVRAS-CHAVE

Condições térmicas. Espaços urbanos abertos. Microclima urbano. Morfologia urbana.



[HTTP://DX.DOI.ORG/10.11606/ISSN.2317-2762.POSFAU.2020.168232](http://dx.doi.org/10.11606/ISSN.2317-2762.POSFAU.2020.168232)

Pós, Rev. Programa Pós-Grad. Arquit. Urban. FAUUSP. São Paulo, v. 27, n. 51, e168232, 2020.

IMPACTS OF CITY MORPHOLOGY
ON THE MICROCLIMATIC
CONDITIONS OF CONSOLIDATED
URBAN AREAS IN SÃO PAULO
DURING HOT DAYS

ABSTRACT

This research carried out an evaluation of the potential impacts that different morphological compositions of consolidated urban areas can cause on the local microclimate conditions during hot days perceived on the pedestrian scale, based on simulations of the thermal conditions of open urban spaces exemplifying neighborhoods in the city of São Paulo, using the ENVI-met software, calibrated from empirical measurements of microclimate variables collected in an existing city environment. The results of the evaluations of five different models, comparing their different occupation aspects, allowed verifying that the morphological conditions are capable of contributing to the alteration of the main thermal variables of the open urban space and pedestrian thermal comfort index. In the studied models, it was found that, the greater density and verticalization, the milder the thermal conditions of open urban spaces during the daytime, due to the shading caused by the buildings, and the air temperature values at night are higher, due to the higher emission of long-wave radiation by the urban canyon at night.

KEYWORDS

Thermal conditions. Open urban spaces. Urban microclimate. Urban morphology.

I. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Diferentes modelos de planejamento urbano podem manifestar como as cidades se adequam ao seu crescimento, por meio da expansão horizontal, do adensamento, ou ambos, sendo relevante, dentre outras razões, porque, quanto maiores e mais espalhadas as manchas de ocupação urbana, mais impactam o meio ambiente e mais intensificam os efeitos das mudanças climáticas e dos fenômenos de aquecimento urbano (GARTLAND, 2010).

Nesse cenário, recentes pesquisas passaram a buscar as correlações entre a formação dos microclimas urbanos e a morfologia urbana, definida pela volumetria do meio urbano e da sua transformação ao longo do tempo (LAMAS, 2004), resultado dos aspectos dos edifícios, das vias e dos espaços urbanos abertos (AMORIM e TANGARI, 2006).

Estudos já demonstraram que a morfologia urbana é determinante para as condições de insolação e ventilação dos ambientes urbanos e das edificações (MINELLA e KRÜGER, 2015). A morfologia pode influir no ganho, na reflexão e no acúmulo de calor pelas massas edificadas no espaço urbano durante o período diurno e na perda de calor durante o período noturno. Ao mesmo tempo, pode alterar as velocidades e direções dos ventos que permeiam os vazios de vias e entre edificações (TALEGHANI, KLEEREKOPER, *et al.*, 2015).

Assim, a concepção da morfologia urbana pode contribuir para aumentar ou diminuir os efeitos dos fenômenos de aquecimento urbano, ajudando a impactar nas condições de conforto térmico do pedestre e de climatização dos edifícios (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011), uma vez que os fatores associados à ambiência térmica do espaço urbano são muito sensíveis às mudanças volumétricas dos ambientes da cidade (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017).

Por exemplo, os cânions urbanos podem ter um desempenho térmico diurno melhor do que regiões com edificações mais baixas, uma vez que o sombreamento dos edifícios mais altos ajuda a reduzir o ganho de calor do espaço urbano por radiação direta e esses ajudam a aumentar a velocidade do vento no nível do pedestre (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017). No entanto, à noite, a morfologia urbana tem grande impacto nas ilhas de calor urbanas, pois a radiação é refletida de forma difusa em diversas direções pelas superfícies de edificações sobre outras e, assim, os cânions urbanos auxiliam o aprisionamento de radiação (OKE, 2002).

Em simulações de 60 diferentes situações urbanas em Israel – região de clima desértico com tempo quente e seco –, verificou-se que é significativo o impacto térmico devido às configurações de edifícios e que o espaçamento amplo tem um efeito de aquecimento, enquanto o aprofundamento do cânion tem um efeito de resfriamento (SHASHUA-BAR, TZAMIR e HOFFMAN, 2004). De maneira similar, um estudo em Colombo, Sri Lanka – região de clima tropical marcado pelos fortes ventos e frequentes precipitações em verões quentes –,

verificou que condições mais confortáveis foram encontradas em ruas estreitas com prédios altos. (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006).

Em outro exemplo, uma comparação entre 5 diferentes modelos de geometria urbana em áreas urbanas de Delft, Países Baixos – região de clima temperado úmido, com invernos frios e verões moderadamente quentes –, revelou que diferentes geometrias urbanas geraram diferentes situações microclimáticas, sendo a Temperatura Radiante Média (TRM) e a Velocidade do Vento (Var) as variáveis mais influenciadas (TALEGHANI, KLEEREKOPER, *et al.*, 2015). Além desse, estudos em Daca, Bangladesh – região de clima tropical com verão quente e úmido –, revelaram diferenças máximas de Temperatura do Ar (Tar) e de Temperatura Radiante Média (TRM) de até 6,2°C e 10,0°C, respectivamente, entre formas urbanas irregulares e áreas regulares (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017).

Nesse contexto, resultante de um mestrado, sob orientação do Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro, realizado no LABAUT, FAU USP, o objetivo desta pesquisa é investigar os impactos de diferentes soluções de composições morfológicas urbanas nas condições microclimáticas de áreas urbanas consolidadas em dias quentes.

2. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho se constitui na análise comparativa de simulações das condições térmicas percebidas na escala do pedestre de espaços urbanos abertos representativos de distritos de São Paulo, com uso do *software* ENVI-met 4.4.3 *Summer* 19, calibrado a partir de medições empíricas de variáveis microclimáticas realizadas no local de um dos modelos de simulação representando um ambiente real da cidade.

Os modelos urbanos simulados representam bairros com formação urbana consolidada no centro expandido de São Paulo com aspectos morfológicos diversos, submetidos aos mesmos dados microclimáticos de borda. A análise foi realizada comparando as principais variáveis microclimáticas (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade do vento, radiações direta, refletida e de onda longa, horas diárias de insolação) nos pontos centrais de cada modelo e dispersas em sua área, e suas variações ao longo do período de 24 horas analisado. Ainda para análise do conforto térmico, foram estudados, em cada modelo, os resultados obtidos para a TEP – Temperatura Equivalente Percebida (MONTEIRO, 2018) – índice de conforto térmico para espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo.

2.1. MEDIÇÕES *IN LOCO* DE DADOS MICROCLIMÁTICOS

As medições foram realizadas em um sobrado no Mirandópolis, Zona Sul de São Paulo, entre os dias 06/12/2018 e 14/01/2019. Ainda que, em São Paulo, o verão seja caracterizado por frequentes precipitações, esse período foi eleito como a época mais adequada para as medições, traduzindo maiores possibilidades de dias com altas temperaturas. O período de medições de 40 dias, acompanhado de um registro diário das condições meteorológicas, permitiu escolher um período de avaliação com alta temperaturas, baixa umidade, condições ensolaradas e tempo estável após 4 dias consecutivos.

EQUIPAMENTO, MARCA E MODELO	FAIXA DE MEDIÇÃO, RESOLUÇÃO E PRECISÃO
Câmera Fotográfica Nikon <i>Coolpix</i> 4500, 4,0 Mp com Lente Hemisférica "Olho de Peixe" Nikon Fisheye Converter FC-E8 0.21x Japan	-
Estação Científica <i>Campbell</i>	
Anemômetro 2D Ultrassônico do tipo <i>WindSonic4</i> da <i>Campbell Scientific, Inc.</i>	Faixa de medição da Direção do Vento de 0° a 359° com resolução de 1° e precisão de ±3°. Faixa de medição da Velocidade do Ar de 0 a 60 m/s com resolução de 0,01 m/s e precisão de ±2% para até 12 m/s.
<i>Data Logger</i> do tipo CR800 da <i>Campbell Scientific, Inc.</i>	Registros de dados com periodicidade programável de até 1 minuto.
Piranômetro com domo de proteção do tipo CMP3-L da <i>Campbell Scientific, Inc.</i>	Faixa de medição até 2000 W/m ² com de ±5% na faixa de 10°C a 40°C de Temperatura do Ar e imprecisão de ±2% a ±7% para 1000 W/m ² .
Termohigrômetro do tipo HMP45C <i>Temperature and Relative Humidity Probe</i> da <i>Campbell Scientific, Inc.</i> com Proteção para Termômetro contra a Radiação Solar do tipo 41003-5 10-Plate <i>Naturally-Aspirated Radiation Shield</i> da <i>Campbell Scientific, Inc.</i>	Faixa de medição da Temperatura do Ar de -39,2°C a +60°C com resolução de 0,1°C e, para a faixa de trabalho entre 0°C e 40°C, imprecisão de ±0,3°C. Faixa de medição da Umidade Relativa de 0,8% a 100% com resolução de 0,05% com precisão variável de ±2% entre 0%UR e 90%UR e de 3% na faixa de 90% a 100%.
Termômetro de Globo com globo negro de 15,2 cm de diâmetro do tipo <i>BlackGlobe Temperature Sensor for Heat Stress</i> da <i>Campbell Scientific, Inc.</i> com sensor de temperatura do tipo <i>BlackGlobe-L</i>	Faixa de medição da Temperatura de Globo de -5°C a +95°C com resolução de 0,1°C e precisão de ±0,2°C de 0°C a 70°C e de ±0,3°C até 95°C.
Hobos	
<i>Data Logger</i> do tipo HOB0 Pro v2 Loggers	Capacidade para 42.000 medições, com periodicidade programável de até 1 segundo.
Termohigrômetro U23-001 da <i>Onset Hobo Data Loggers</i> protegido por Proteção para Termômetro contra a Radiação Solar modelo RS1 <i>Solar Radiation Shield</i>	Faixa de registro de Temperatura do Ar de -40°C a +70°C com resolução de 0,02°C e precisão de ±0,21°C na faixa de 0°C a 50°C. Faixa de registro de medições de Umidade Relativa de 0% a 100% com resolução de 0,03% e precisão de ±2,5% na faixa de 10% a 90%.
Termômetro de Globo composto por termômetro de bulbo seco U23-004 da <i>Onset Hobo Data Loggers</i> inserido em globo de latão pintado na cor cinza claro com diâmetro de 17 cm	Faixa de registro de Temperatura do Ar de -40°C a +70°C com resolução de 0,02°C e precisão de ±0,21°C na faixa de 0°C a 50°C.

Tabela 1 - Equipamentos de medição utilizados e seus aspectos técnicos

Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

Para a coleta de dados de Velocidade (Var) e direção do vento, Radiação Solar Global (I_g), Temperatura de Globo (T_g), Temperatura do Ar (T_{ar}), Umidade Relativa (UR), em intervalos de 10 minutos, as medições comportaram o uso de dois *Hobos* e uma Estação Científica *Campbell*. A Tabela 1 resume os equipamentos utilizados e seus aspectos técnicos.

Houve dois subpontos de medição externos totalmente descobertos. Como mostra a Figura 1, um subponto, onde foram coletados dados de controle, se localizou na laje inferior de cobertura de uma edícula de 1 pavimento, enclausurada por paredes laterais e, portanto, protegida do vento e com visão de céu parcialmente obstruída. Nesse caso, os sensores se localizaram a aproximadamente 4,5 m do solo, com o corpo da Estação Científica *Campbell* e um *Hobo*, com 2 termohigrômetros, 2 termômetros de globo.

Como mostra a Figura 2, o outro subponto se localizou na laje de cobertura do sobrado de 2 pavimentos, acima da altura das demais casas do entorno, em local totalmente desobstruído vertical e lateralmente, praticamente sem nenhum mascaramento de céu entre dezembro e janeiro, exposto à insolação e



Figura 1 - Subponto inferior com o corpo da Estação Científica *Campbell* e um *Hobo*
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

Figura 2 - Subponto da laje de cobertura com equipamentos da Estação Científica *Campbell* e um *Hobo*
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.



ao vento. Com os sensores a aproximadamente 7,5 m do solo, onde foram coletados os dados utilizados para a calibração do modelo de simulação, foram instalados os equipamentos da Estação Científica *Campbell* e um *Hobo*, contendo 1 termohigrômetro, 1 termômetro de globo, 1 piranômetro (em local desobstruído adiante ao norte verdadeiro em relação aos demais equipamentos) e 1 anemômetro digital ultrassônico (em local desobstruído acima de todos os demais equipamentos).

Dentre os resultados obtidos nas medições da laje de cobertura, a Tar variou entre 13,4°C e 37,6°C, com a maioria dos dias ultrapassando 30°C. A UR variou entre 17,0% e 96,3%, com valores acima de 70% na maior parte das noites e abaixo dos 30% em diversos dias. A Var variou entre 0,0 m/s e 6,5 m/s, sendo que, em cerca de 80% do tempo, foi de até 2,0 m/s. Em concordância com o IAG/USP (2018), os ventos predominantes advêm da direção SE, representando 24% do tempo de medição.

Foi escolhido o dia 12/12/2018 como objeto de avaliação, pois foi o dia que apresentou condição meteorológica mais estável, sendo o quarto dia consecutivo sem precipitação, com altos valores máximos e mínimos de Tar, baixa UR ao longo do dia e da noite, céu limpo e ensolarado. Nesse dia, a Tar variou de 22°C a 35°C e a UR de 20% a 68%, caracterizando um dia seco com altas temperaturas. O vento predominante, determinado pela moda das aferições do anemômetro, adveio da direção sudeste, sendo verificada a direção 138,7° (sudeste) como predominante, e a velocidade média ponderada dos ventos foi de 1,5 m/s.

As medições aferidas pelos equipamentos na laje de cobertura foram utilizadas para a calibração do modelo climático do ENVI-met, enquanto que as medições da laje inferior foram utilizadas para análise comparativa, apresentando valores e curvas de medições de temperatura do ar e umidade relativa com baixa variação em relação à cobertura. Simultaneamente, foram obtidos os dados de medições climáticas para esse período das estações meteorológicas do IAG/USP, na Cidade Universitária (Zona Oeste de São Paulo) e Água Funda, no Parque do Estado (Zona Sul de São Paulo). De forma comparativa, as medições obtidas foram verificadas criticamente em relação aos dados climáticos das estações meteorológicas, aos quais as medições aferidas apresentaram adequada aderência.

2.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO CLIMÁTICO PARA AS SIMULAÇÕES

A calibração do *software* ENVI-met foi realizada por meio de sucessivas simulações de um recorte do bairro Mirandópolis, com o ajuste dos dados operacionais do *software* e dos dados de entrada, comparando os resultados obtidos nos modelos com os dados medidos para o mesmo ponto onde se realizaram as medições a 7,50 m de altura, com características volumétricas e espaciais modeladas como no local real onde foram realizadas as medições.

Encontrou-se, como configuração para o modelo climático calibrado, a inserção de dados de entrada do arquivo climático do Aeroporto de Congonhas para o ano todo sobrescritos entre 09/12 00h00 e 14/12 06h00 pelos dados: Tar e UR em intervalos de 30 minutos conforme medições empíricas; direção do vento 138,7° (Sudeste) e Var de 2,2 m/s na borda para obter 1,5 m/s no ponto de medições,

pós- | 7

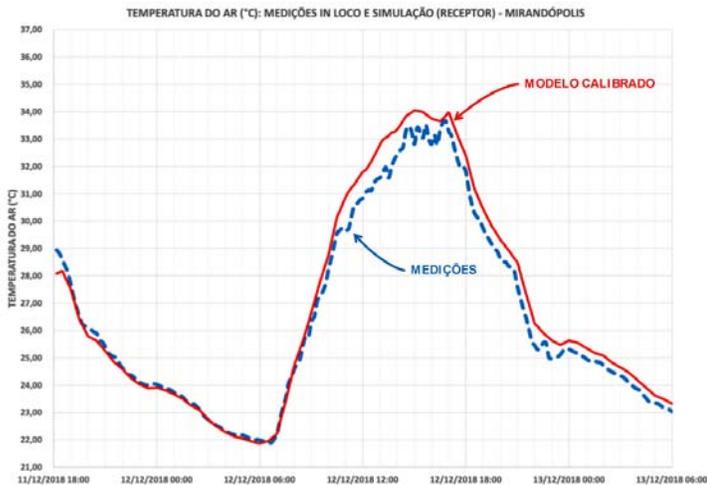


Gráfico 1 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Tar
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

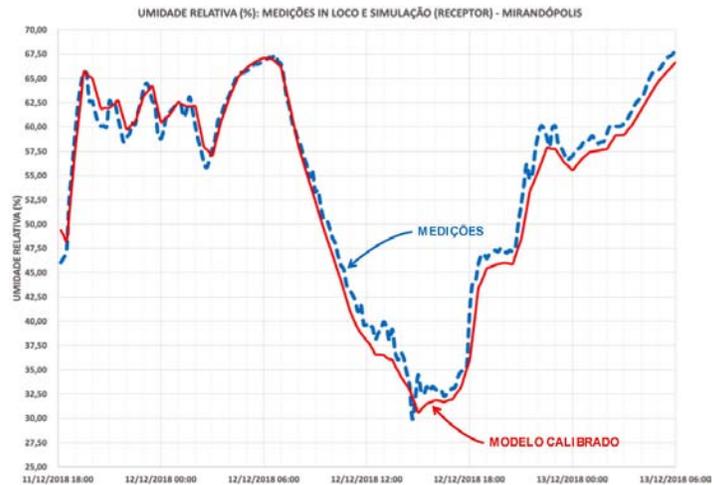


Gráfico 2 - Comparação entre modelo calibrado e medições: UR
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

TEMPERATURA DO AR (°C)	MEDIÇÃO	MODELO CALIBRADO	DIFERENÇA ABSOLUTA (MODELO - MEDIÇÃO)	DIFERENÇA RELATIVA (MODELO - MEDIÇÃO)
MÉDIA	26,47	26,86	0,40	1,39%
MÁXIMO	33,65	34,04	1,53	4,86%
MÍNIMO	21,89	21,87	-0,22	-0,91%
DESVIO PADRÃO	3,64	3,96	0,40	1,33%
UMIDADE RELATIVA (% UR)	MEDIÇÃO	MODELO CALIBRADO	DIFERENÇA ABSOLUTA (MODELO - MEDIÇÃO)	DIFERENÇA RELATIVA (MODELO - MEDIÇÃO)
MÉDIA	53,80	52,80	-1,06	-2,27%
MÁXIMO	67,94	67,11	2,59	7,36%
MÍNIMO	29,94	30,61	-5,42	-12,37%
DESVIO PADRÃO	10,92	11,47	1,26	2,75%
VELOCIDADE DO AR (m/s)	MEDIÇÃO	MODELO CALIBRADO	DIFERENÇA ABSOLUTA (MODELO - MEDIÇÃO)	DIFERENÇA RELATIVA (MODELO - MEDIÇÃO)
MÉDIA	1,47	1,47	0,00	0,29%
MÁXIMO	1,47	1,59	0,11	7,72%
MÍNIMO	1,47	1,40	-0,07	-4,55%
DESVIO PADRÃO	0,00	0,05	0,05	3,34%
DIREÇÃO DO VENTO (°)	MEDIÇÃO	MODELO CALIBRADO	DIFERENÇA ABSOLUTA (MODELO - MEDIÇÃO)	DIFERENÇA RELATIVA (MODELO - MEDIÇÃO)
MÉDIA	138,70	138,74	0,05	0,04%
MÁXIMO	138,70	138,96	0,26	0,19%
MÍNIMO	138,70	138,30	-0,37	-0,27%
DESVIO PADRÃO	0,00	0,19	0,18	0,13%

Tabela 2 - Registros nas medições e no modelo calibrado
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

conforme medições empíricas; e nebulosidade registrada com intervalos de 60 minutos pela Estação Meteorológica da Água Funda (Parque do Estado).

O período de análise de resultados é um ciclo de 24 horas entre 6h do dia 12/12/2018 e 6h do dia 13/12/2018 e, buscando maximizar o tempo de simulação antes do início do período analisado para a adequada estabilização dos modelos e não haver influências da inicialização do modelo, adotou-se o período de simulação de 36 horas com início às 18h00 do dia 11/12, isto é, com 12 horas de antecedência da inicialização da simulação com relação ao início do período estudado, evitando o período diurno para obter condição de atmosfera neutra.

O critério de aprovação do modelo calibrado foi de diferença máxima entre medições e simulação de 5% para a Temperatura do Ar e para a direção do vento e de 15% para a Umidade Relativa e para a Velocidade do Vento. O modelo final calibrado apresentou aderência às medições dentro do critério estabelecido, com diferenças máximas de 1,5°C (4,9%) para a Tar (Gráfico 1), de 5,4% (12,4%) para a UR (Gráfico 2), de 0,1 m/s (7,7%) para a Var, e de 0,4° (0,3%), para a direção do vento. A Tabela 2 resume os registros de Tar, UR, Vae e direção do vento nas medições e no modelo calibrado e suas respectivas diferenças.

Como pode ser visto no Gráfico 3, foi realizada uma comparação entre os registros de radiação (direta, difusa e de onda longa) entre o ponto de calibração no modelo de simulação e os dados registrados pela Estação Meteorológica do IAG para o mesmo período. Por não se tratar do mesmo ponto, a comparação das curvas de radiação foi feita somente de forma crítica. Tendo sido aprovado o modelo em função da apresentação de curvas de mesmo aspecto e pequenas diferenças de valores máximos e mínimos registrados, conforme Tabela 3.

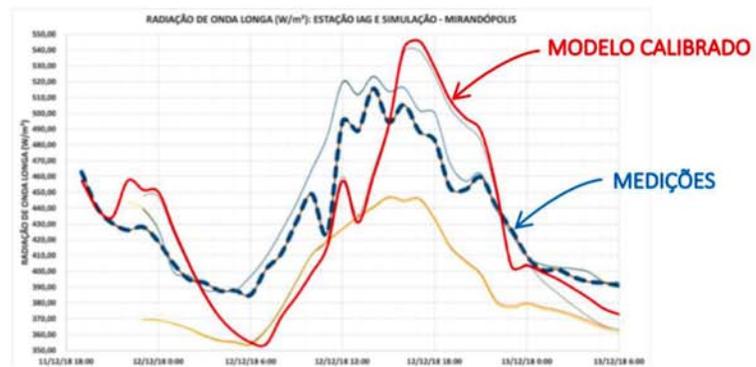
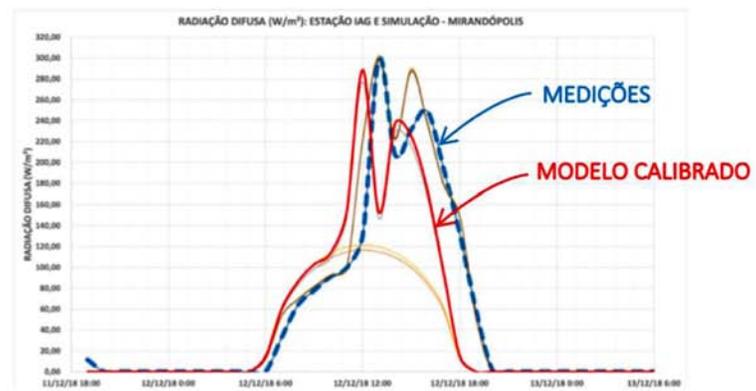
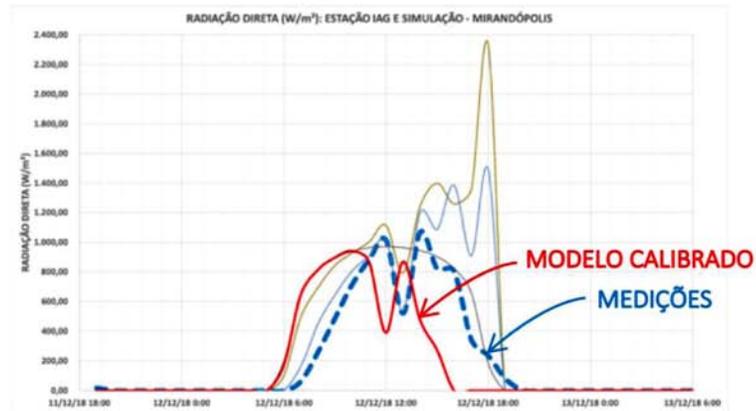
Assim, o modelo foi considerado adequado para a realização das simulações. Verificou-se uma leve tendência de supervalorizar o efeito de aquecimento diurno e queda de UR.

2.3. MODELOS URBANOS SIMULADOS

Com o modelo climático calibrado, foram executadas as simulações de cinco modelos representativos de bairros de São Paulo, objetos de simulações independentes adotando o mesmo arquivo climático, isto é, submetidos às mesmas condições microclimáticas em seus limites externos. Para assegurar a comparabilidade entre os modelos e que as diferenças de resultados decorressem exclusivamente das diferenças morfológicas, todos os modelos possuem as mesmas características, variando somente os aspectos morfológicos da tipologia urbana, adotando as seguintes premissas:

- Todos os modelos utilizaram os mesmos materiais para as superfícies de calçadas, de vias e de solo e para as fachadas de edifícios e coberturas
- Todos os modelos foram criados sem topografia e, para manter maior verossimilhança, foram selecionadas áreas aproximadamente planas
- Todos os modelos foram simulados georreferenciados à cidade de São Paulo

Gráfico 3 - Comparação entre modelo calibrado e medições, de cima para baixo: radiação direta, radiação difusa e radiação de onda longa
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.



	RADIÇÃO DIRETA		RADIÇÃO DIFUSA		RADIÇÃO DE ONDA LONGA	
	ESTAÇÃO IAG	MODELO CALIBRADO	ESTAÇÃO IAG	MODELO CALIBRADO	ESTAÇÃO IAG	MODELO CALIBRADO
MÁXIMO	1.068,15	939,31	299,13	288,54	515,57	545,57
MÍNIMO	0	0	0	0	385,08	353,95

Tabela 3 - Registros de incidência de radiação na Estação do IAG e no modelo calibrado
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

- Todos os modelos foram criados sem vegetação, evitando assim impactos microclimáticos ligados à permeabilidade do solo ou à vegetação
- Todos os modelos foram simulados com condições mínimas de nebulosidade, conforme o dia escolhido para análise, que apresentou céu limpo

As geometrias dos modelos, com área de edificações de 400x400m, envolta em uma área de superfície de 500x500m, e altura total pelo menos igual ao dobro da altura do edifício mais alto, foram desenvolvidas de forma a reproduzir o local com seu traçado viário e massas edificadas. As localizações dos edifícios e suas geometrias e os traçados de ruas e calçadas foram extraídos do Mapa Digital da Cidade (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2019) com uso do *software* QGIS e inseridos no ENVI-met. Os modelos seguiram exemplos de estudos similares em São Paulo, com a adoção do asfalto comum como superfície do leito carroçável das vias, o pavimento de concreto “sujo” para as áreas de calçadas e interior de quadras (GUSSON, 2014) e o solo argiloso-arenoso, melhor representativo da cidade de São Paulo (SHINZATO, 2014). Para todas as edificações, foram adotadas paredes de fachadas de alvenaria de blocos de concreto e coberturas de laje de concreto impermeabilizada, com valores normativos (ABNT, 2013) e de bibliografia (INMETRO, 2017) para as propriedades térmicas.

As áreas escolhidas são regiões no centro expandido de São Paulo (Ipiranga, Itaim Bibi, Mirandópolis, Moema e República), conforme Figura 3, com



Figura 3 - Da esquerda para a direita e de cima para baixo, fotos aéreas das regiões dos modelos de Mirandópolis, Ipiranga, Moema, Itaim Bibi e República
Fonte: Google Earth.



tipologias morfológicas diversas, selecionadas entre áreas urbanas consolidadas de ocupação regular densamente construídas, com uso misto, topografia aproximadamente plana, variando de baixa verticalização a grande verticalização e entre edifícios espaçados entre si e edifícios geminados, distantes de corpos d'água, sem significativas áreas vegetadas, e com relações similares de superfícies de piso (asfalto e concreto).

Foram utilizados, para caracterizar as geometrias dos modelos, a altura média das edificações e a distribuição estatística da área edificada por faixas de altura e área de projeção, o desvio padrão das alturas dos edifícios, Taxa de Ocupação (TO), volumetria construída e Coeficiente de Aproveitamento (CA) estimado. Utilizam-se o fator H/W (razão entre altura das edificações e largura das vias do cânion urbano) e o Fator de Visão de Céu (FVC) para caracterizar a geometria do espaço urbano, e o índice H/Aproj (razão entre altura e área de projeção da edificação) para caracterizar a ocupação em termos de edificações mais verticalizadas ou mais horizontais. Há ainda a verificação da orientação das vias, impactante na condução dos ventos, e o acesso à luz do sol nas vias à altura do pedestre.

O modelo de menor adensamento construtivo foi uma área no bairro Mirandópolis, com uso predominantemente residencial. Sem verticalização significativa, há poucas torres residenciais em meio às casas e sobrados geminados, formando um bairro com muitas edificações baixas e de pequenas dimensões. Trata-se de um trecho razoavelmente plano, com traçado viário irregular, formando quadras retangulares, trapezoidais e triangulares. As vias estão orientadas aproximadamente nas direções sudoeste-nordeste e sudeste-noroeste.

Com TO de 56,7%, os edifícios têm área de projeção de até 941,6 m², sendo, em sua maioria, entre 100 m² e 200 m². Suas alturas chegam a 52,6 m e, com média de 5,2 m e desvio padrão de 4,3 m, há pouca variabilidade. Trata-se, em sua maior parte, de casas, sobrados, pequenos estabelecimentos comerciais. Com CA estimado de 1,4, 63,3% da área ocupada corresponde a edificações com razão H/Aproj de até 0,05 (edificações baixas) e os valores de H/W variam entre 0,1 e 1,0 no sentido frontal e até 1,7 no sentido lateral, o que resulta em FVC entre 0,5 e 0,9 nas vias.

O segundo modelo, com adensamento construtivo leve e verticalização progressiva nas últimas décadas, é uma área do Ipiranga, com uso misto predominantemente residencial, marcado pelo comércio de bairro, com alguns poucos galpões de indústrias, mercados de atacado e lojas de fábrica. Nota-se um bairro com muitas edificações baixas, como casas e sobrados geminados, permeados por várias novas torres residenciais médias e altas com recuos laterais e frontais. Trata-se de uma região plana, com traçado viário reticulado e quadrangular, e vias orientadas nas direções norte-sul e leste-oeste.

Com TO de 64,1%, as áreas de projeções dos edifícios chegam a 4.186,6 m² (galpões e grandes lojas) e as alturas chegam a 76 m, com uma altura média de 10 m e desvio padrão de 13,7 m, isto é, com mediana variabilidade das alturas das edificações. Há muitas edificações com alturas de até 10 m e áreas de projeção de até 200 m² (casas e sobrados), mas também diversas edificações com 30 m a 70 m de altura e área de projeção de até 300 m² (torres residenciais). Com CA estimado de 2,5, 69,6% da área ocupada tem

índice H/Aproj de até 0,05 (casas, sobrados, galpões), sendo que há uma parcela significativa de 11,4% com mais de 2000 m² de área de projeção (galpões e grandes lojas). A distância entre as edificações traz valores de H/W entre 0,1 e 5,1 no sentido frontal e a partir de 5,1 no sentido lateral. Essa geometria resulta em FVC entre 0,3 e 0,8 nas vias.

O terceiro modelo na escala de adensamento construtivo se trata de área em Moema, bairro marcado pelo uso misto, mesclando intensa verticalização com a presença ainda muito marcante de edificações mais baixas como casas, sobrados e estabelecimentos comerciais. Trata-se de uma região muito plana, com traçado viário regular, formando quadras retangulares, mas também, em função de algumas vias diagonais, algumas quadras são trapezoidais e triangulares. Nesse trecho do bairro, as vias estão, em sua maioria, orientadas aproximadamente nas direções sudoeste-nordeste e sudeste-noroeste.

Com TO de 66,7%, as áreas de projeções dos edifícios chegam a 2.853,6 m² (grandes edifícios, embasamentos das torres e estabelecimentos comerciais), com uma média de 356,7 m² (torre residencial), e as alturas chegam a 74 m, com uma média de 17 m e desvio padrão de 21 m, isto é, com grande variabilidade das alturas. Há uma concentração de edifícios de alturas de até 10 m com diversas áreas de projeção, como casas, sobrados, estabelecimentos comerciais, etc., e de edifícios entre 30 m e 60 m de altura com áreas de projeção entre 200 m² e 500 m², como torres de médio porte. Com CA estimado de 3,9, 66,2% da área de projeção tem até 6 m de altura e 26,4% entre 6 m e 70 m de altura. A distância frontal entre as edificações traz valores de H/W entre 0,1 e 3,7 no sentido frontal e entre 0,1 e 7,4 no sentido lateral, o que resulta em FVC variando entre 0,3 e 0,8 nas vias.

Como o segundo modelo mais adensado, o Itaim Bibi passou por um processo de intensa verticalização e adensamento nas últimas décadas. Trata-se de uma área de uso misto, verticalizada quase em sua totalidade, com torres marcadas por grande proximidade lateral e alinhamento frontal, formando cânions urbanos. Com muitas torres residenciais e comerciais altas dispostas de forma independente em seus terrenos, em sua maioria pequenos, permeados por algumas edificações mais baixas remanescentes e pelos embasamentos baixos e mais largos das torres. Há relativa padronização das alturas das torres. Além disso, trata-se de região com traçado viário reticulado, com quadras em sua maioria retangulares. Nesse trecho, as vias estão orientadas na direção sudoeste-nordeste.

Com TO de 54,3%, as áreas de projeções dos edifícios chegam a 1.589,8 m² (embasamentos de torres e estabelecimentos comerciais), com uma média de 313,5 m² (torre), e as edificações têm altura que chegam a 89 m, com uma altura média de 19 m e desvio padrão de 20,4 m, isto é, há uma relativa variabilidade das alturas marcada pelas diferenças entre as torres e seus embasamentos. Há diversos edifícios com até 10 m de alturas e até 500 m² de área de projeção (estabelecimentos comerciais, embasamentos das torres, etc.) e muitas edificações com 30 m a 70 m de altura com área de projeção de 200 m² a 800 m² (torres). Com CA estimado em 4, 52,9% da área de projeção de edifícios tem até 6 m de altura, mas 35,9% apresentam alturas maiores do que 30 m. 40,5% da área ocupada tem H/Aproj de 0,05 a 0,25 (maior parte das torres residenciais e comerciais). As distâncias entre as torres trazem valores de

H/W entre 0,1 e 5,0 no sentido frontal e entre 0,3 e 8,9 no sentido lateral, o que resulta em valores de FVC entre 0,2 e 0,6 nas vias, sendo entre 0,2 e 0,3 na via central do modelo.

O modelo mais adensado construtivamente se trata de área no bairro República, região de urbanização antiga, com adensamento da primeira metade do século XX. Trata-se de uma área predominantemente comercial, com uso misto, muito verticalizada, com diversos edifícios altos geminados e sem recuos frontais ou laterais, criando cânions urbanos. Ao longo do tempo, surgiram alguns edifícios e torres residenciais e comerciais de grande altura, como o Edifício Copan e o Edifício Itália. Além disso, trata-se de uma região muito plana, com traçado viário bastante irregular, formando quadras de formatos variados com vias de diversos portes, orientadas aproximadamente nas direções sudoeste-nordeste e sudeste-noroeste.

Com TO de 59,8%, as áreas de projeção dos edifícios chegam a 2.709,7 m² (edificações maiores e estabelecimentos comerciais), com uma média de 213,7 m², e as edificações têm altura que chegam a 125 m, com uma altura média de 37 m e desvio padrão de 18,4 m, isto é, há razoável variabilidade das alturas das massas edificadas. Há muitos edifícios com alturas de até 20 m e áreas de projeção de até 200 m² e vários entre 30 m e 60 m de altura com áreas de projeção de até 200 m², correspondendo ao perfil típico da região de edifícios de média altura com pequenas dimensões em planta. Com CA estimado de 7,7, 88,0% da área ocupada é marcada por edifícios de pequeno, médio e grande porte com mais de 12 m de altura. 56,8% da área ocupada apresenta H/Aproj de 0,05 a 0,25 (marcante presença de edifícios de média altura) e 16,2% acima de 0,25 (torres). As distâncias frontais entre as edificações e as distâncias laterais nulas (edifícios geminados) trazem valores de H/W entre 0,1 e 4,7 no sentido frontal, o que resulta em FVC variando entre 0,1 e 0,6, sendo entre 0,1 e 0,3 na maior parte das vias.

A Figura 4 apresenta os modelos geométricos construídos para as simulações das regiões estudadas.

A Taxa de Ocupação é muito similar entre os modelos, variando de 54% (Itaim Bibi) a 67% (Moema), assim como a relação de área de vias de asfalto e pavimentos de concreto (calçadas e interior das quadras), sendo aproximadamente 15% de superfície de asfalto e 85% de superfície de pavimento de concreto em todos os modelos. A altura média das edificações e a análise estatística das alturas permitem averiguar a verticalização e a variabilidade das alturas de edificações de uma mesma região. A altura média das edificações expôs a gradação de volumetria construída: República > Itaim Bibi > Moema > Ipiranga > Mirandópolis. E o desvio padrão das alturas expressou a variabilidade das alturas dos edifícios: quanto maior o desvio padrão, maior a variabilidade de alturas, com a seguinte gradação: Moema > Itaim Bibi > República > Ipiranga > Mirandópolis.

Ficou nítido que é necessário analisar criticamente o efeito da morfologia urbana caracterizando-a por um conjunto de diferentes aspectos. Por exemplo, os modelos se assemelham entre si em termos de TO e área de vias, mas diferem essencialmente em volumetria construída, quantidades, tipologias, dimensões e distribuições de edifícios.

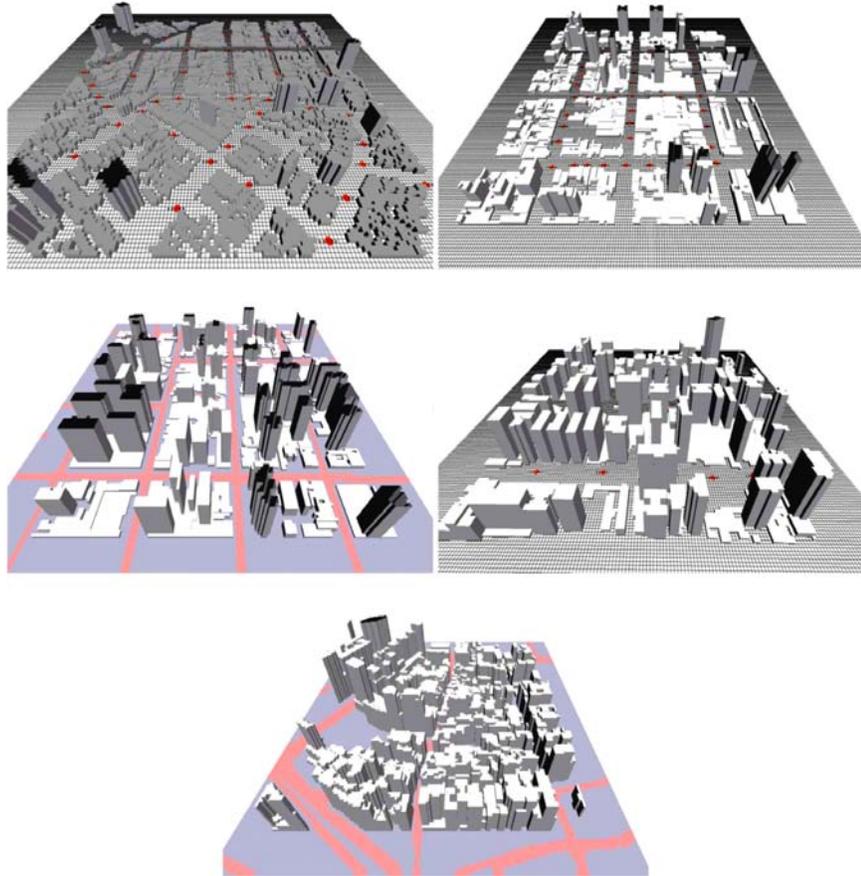


Figura 4 - Da esquerda para a direita e de cima para baixo, vistas tridimensionais dos modelos de Mirandópolis, Ipiranga, Moema, Itaim Bibi e República

Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

Nesse sentido, o estudo dos fatores H/W, H/Aproj e do FVC permite caracterizar os modelos de forma qualitativa e quanto à exposição ao céu e acesso à luz solar. O H/W marcou de forma muito evidente o modelo de Mirandópolis por sua baixa verticalização, enquanto o FVC denotou como os modelos de Mirandópolis e Ipiranga oferecem muito maior exposição ao céu em seus diversos pontos, enquanto que o modelo da República oferece grande obstrução e mascaramento de céu e, de forma mediana, Itaim Bibi e Moema apresentam grande variabilidade entre trechos expostos e trechos mascarados nas vias.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram extraídos mapas com a distribuição espacial a 1,50 m de altura (escala do pedestre) de dados de Temperatura do Ar (Tar), Umidade Relativa (UR), Velocidade do Vento (Var), direção do vento, radiação (direta, difusa e de onda longa) e Temperatura Radiante Média (TRM). Também foram extraídos gráficos de resultados no ponto central de cada modelo, sempre no cruzamento mais central de vias, também a 1,50 m de altura para as mesmas variáveis e também para a Temperatura Equivalente Percebida (TEP). Os resultados foram analisados comparando os modelos entre si frente às suas diferentes características morfológicas.

Assim, em concordância com os resultados dos estudos apresentados, as simulações permitiram verificar que a morfologia urbana é capaz de alterar o balanço térmico dos espaços urbanos abertos e a quantidade de radiação recebida pelos diferentes pontos do espaço, inclusive no período noturno, alterando também a velocidade de passagem dos ventos e, por consequência, altera as variáveis térmicas e, junto, os índices de conforto térmico.

Conforme Gráfico 3, durante o dia, houve uma diferença máxima de Tar de aproximadamente 1,5°C entre os pontos centrais dos modelos menos e mais adensados. Os modelos com menor verticalização, menor volume construído e maiores valores de FVC (Mirandópolis e Ipiranga) foram os que apresentaram os maiores valores de Tar do período diurno, pois os espaços abertos são mais expostos à insolação direta, permitindo o maior aquecimento de superfícies.

Ao mesmo tempo, o modelo mais adensado (República) foi o que apresentou a menor Tar durante o dia, por sua configuração de cânion urbano, ocasionando maior sombreamento dos espaços urbanos abertos. À noite, os modelos mais verticalizados e com maior volumetria construtiva (Itaim Bibi e República) apresentaram os maiores valores de Tar, o que se deve principalmente ao maior acúmulo de calor nas massas construídas e ao aprisionamento de calor pela reflexão de radiação no cânion urbano.

Quanto menos adensados os modelos (Mirandópolis e Ipiranga), mais responsivos se mostraram às variações diurnas e noturnas de Tar, com maior e

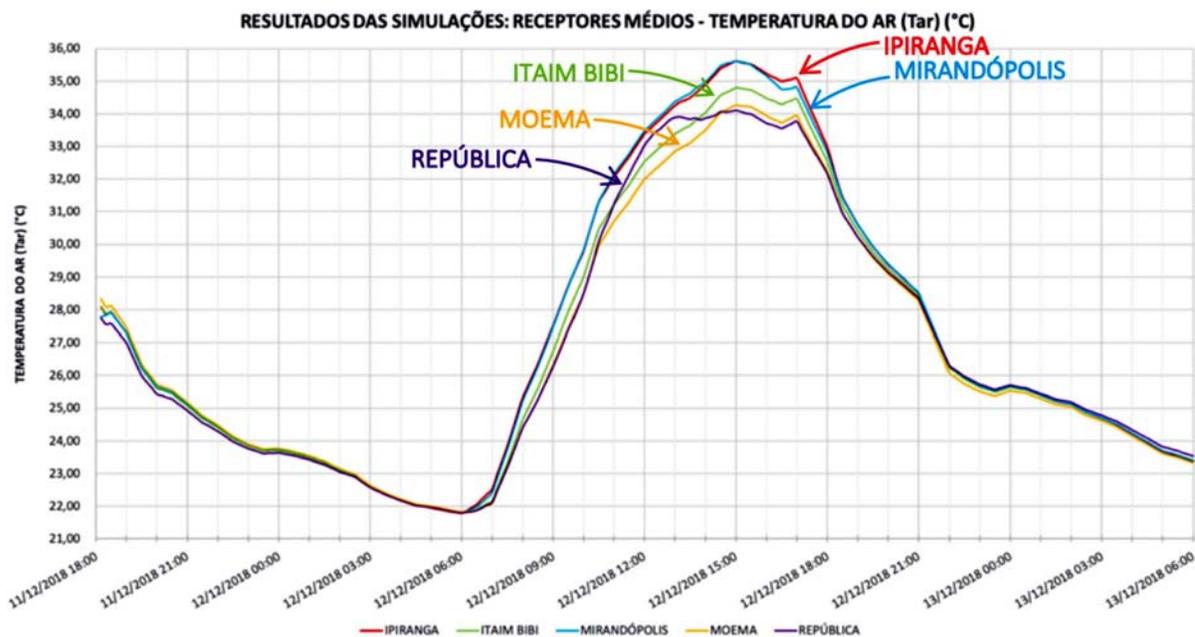


Gráfico 4 – Resultados de Tar nos pontos médios dos modelos de simulação
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020

mais rápido aumento de Tar durante o dia, devido à maior exposição à radiação direta, e também, durante a noite, com maior e mais rápida perda de Tar, devido à menor emissão de radiação de onda longa pela menor quantidade de calor acumulado pelas massas construídas. Com isso, as diferenças de resposta entre os modelos também dizem respeito às diferentes condições de exposição à insolação, do sombreamento e da radiação emitida pelas edificações, analisadas sob a ótica da TRM, cuja diferença máxima chega a 2,2°C entre os modelos.

Mesmo dentro dos modelos houve grandes variações entre os diferentes espaços, pois a maior variabilidade de alturas (Moema e Itaim Bibi) também ocasionou condições diferenciais de sombreamento e exposição ao sol em diferentes horários nos diferentes espaços. No modelo de Moema, com maior variabilidade de alturas, em alguns horários, a diferença de Tar entre diferentes trechos chegou a 3,3°C (Moema), conforme Figura 5.

É natural ainda que o posicionamento e a geometria das edificações alterem as direções e as velocidades de circulação dos ventos e, nesse caso, os modelos com maiores espaçamentos entre edificações e maiores variabilidades de

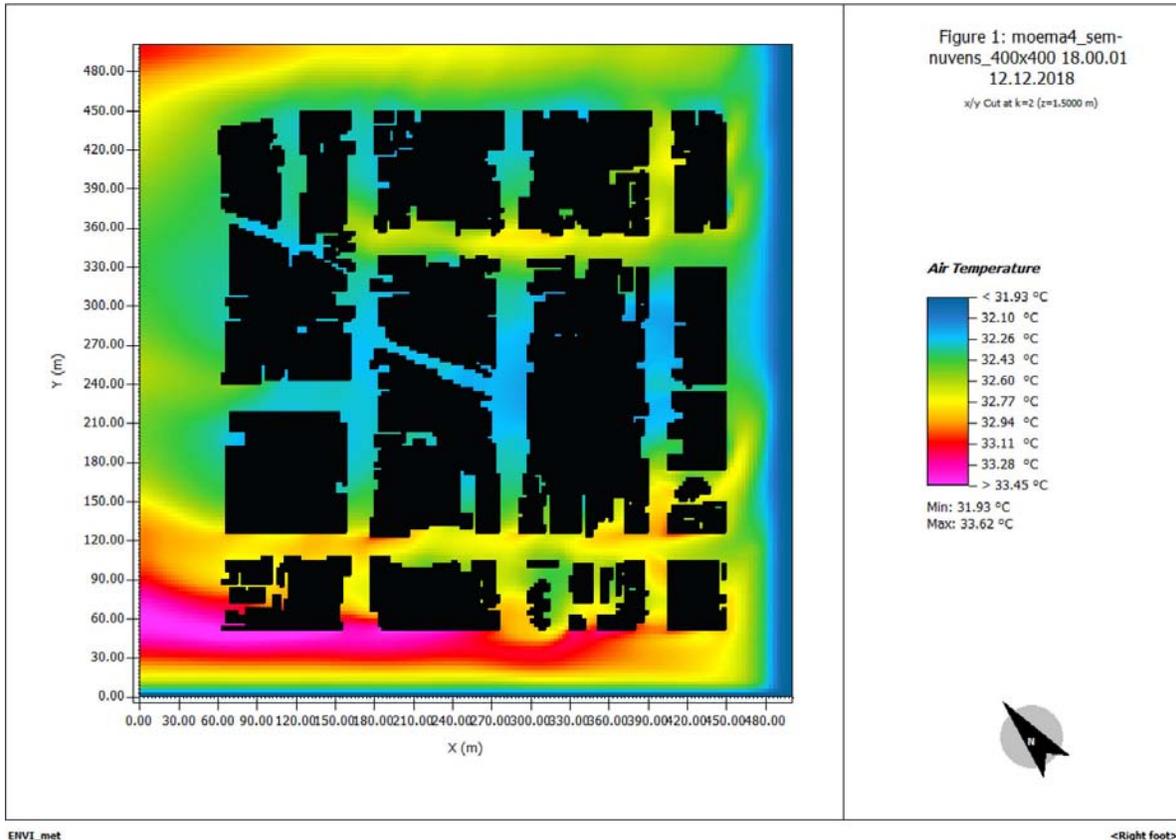


Figura 5 – Resultado de Tar da simulação de Moema no dia 12/12/2018 às 18h
Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

Tabela 4 - Resumo de aspectos morfológicos urbanos e seus efeitos microclimáticos
 Fonte: NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.

ASPECTO MORFOLÓGICO	AUMENTO OU REDUÇÃO	PARÂMETROS URBANÍSTICOS ASSOCIADOS	EFEITOS IDENTIFICADOS
VOLUMETRIA E DENSIDADE CONSTRUÍDA	↑	Área Construída (↑) CA (↑) TO (↑) Volume Construído (↑) FVC (↓) Fator H/W (↓)	Menor suscetibilidade às variações térmicas diárias, menor amplitude térmica
			Menor quantidade de espaços sombreados, menor quantidade de radiação solar direta nos espaços
			Menor quantidade de radiação emitida pelas superfícies e edificações (onda longa) no período noturno, maior acúmulo de calor pelas massas construídas.
			Menor permeabilidade à passagem dos ventos, menores velocidades
			Menores valores de Tar, TRM, radiação e TEP no período diurno
	↓	FVC (↑) Fator H/W (↑) Área Construída (↓) CA (↓) TO (↓) Volume Construído (↓)	Maiores valores Tar, TRM, radiação e TEP no período noturno
			Menor suscetibilidade às variações térmicas diárias, com maior amplitude térmica
			Menor quantidade de espaços expostos ao céu e ao sol, com maior quantidade de radiação solar direta nos espaços
			Menor quantidade de radiação emitida pelas superfícies e edificações (onda longa) no período noturno
			Menor permeabilidade à passagem dos ventos, com maiores velocidades
VERTICALIZAÇÃO	↑	Altura máxima dos edifícios (↑) Altura média dos edifícios (↑) Fator H/Aproj (↑) Fator H/W (↑) Perfil de áreas de projeção (↓)	Aumento do sombreamento sobre os espaços urbanos abertos
			Menor heterogeneidade de condições de Tar, insolação e radiação
			Menor efeito de cânion urbano, com efeitos de canalização de ventos, aprisionamento de calor, etc.
			Criação de zonas de alta e baixa pressão que beneficiam a circulação diferencial de ventos entre os espaços, que auxilia a retirada de calor
			Sombreamento dos edifícios uns sobre os outros
	↓	Perfil de áreas de projeção (↑) Altura máxima dos edifícios (↓) Altura média dos edifícios (↓) Fator H/Aproj (↓) Fator H/W (↓)	Aumento das áreas com acesso desobstruído ao sol e ao céu
			Menor homogeneidade de condições de Tar, insolação e radiação
			Menores velocidades de ventos a menores alturas
			Menos obstáculos à passagem dos ventos e ao acesso ao sol
			Menor insolação generalizada dos espaços abertos, das coberturas e fachadas das edificações
VARIABILIDADE DE ALTURAS DAS EDIFICAÇÕES	↑	Desvio padrão das alturas (↑) Perfil de alturas dos edifícios (-)	Criação de áreas de insolação e áreas de sombreamento nos diferentes espaços urbanos
			Menor heterogeneidade de condições de Tar, insolação e radiação
			Redução dos efeitos de cânion urbano, reduzindo efeitos de canalização de ventos, aprisionamento de calor, etc.
	↓	Perfil de alturas dos edifícios (-) Desvio padrão das alturas (↓)	Criação de zonas de alta e baixa pressão que beneficiam a circulação diferencial de ventos entre os espaços, que auxilia a retirada de calor
			Padronização da condição de insolação e sombreamento dos espaços, seja para a insolação, seja para o sombreamento
			Menor homogeneidade de condições de Tar, insolação e radiação
LARGURAS DAS VIAS E AFASTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES	↑	FVC (↑) Recuos (↑) Fator H/W (↓) Alinhamento frontal (↓)	Em caso de edificações altas, maximização dos efeitos de cânions urbanos
			Circulação mais rápida dos ventos, que pouco variam de direção, altura e velocidade, passando sobre as edificações ou entre as mesmas, reduzindo a capacidade de retirada de carga térmica
			Criação de áreas de insolação e áreas de sombreamento nos diferentes espaços urbanos
	↓	Fator H/W (↑) Alinhamento frontal (↑) FVC (↓) Recuos (↓)	Menor heterogeneidade de condições de Tar, insolação e radiação, majoritariamente maiores no período diurno e menores no período noturno
			Redução dos efeitos de cânion urbano, reduzindo efeitos de canalização de ventos, aprisionamento de calor, etc.
			Menor permissividade à circulação dos ventos advindos de quaisquer direções, maximizando a retirada de carga térmica
			Criação de zonas de alta e baixa pressão que beneficiam a circulação diferencial de ventos entre os espaços, que auxilia a retirada de calor
			Menor sombreamento dos espaços urbanos abertos
			Menor homogeneidade de condições de Tar, insolação e radiação, majoritariamente mais baixas no período diurno e mais altas no período noturno
			Em caso de edificações altas, maximização dos efeitos de cânions urbanos
			Circulação mais rápida dos ventos, que pouco variam de direção, canalizados nos cânions urbanos, com maior probabilidade de gerar velocidades de ventos que causem desconforto

alturas foram os mais suscetíveis e permissivos à circulação dos ventos, sendo que a orientação de vias nos sentidos norte-sul e leste-oeste formando quadras regulares (Ipiranga) foi a que apresentou melhor desempenho do ponto de vista de permeabilidade à circulação dos ventos advindos do sudeste, permitindo melhor distribuição e maior velocidade dos ventos nas vias. A variabilidade de alturas também cria condições diferenciais de ventos entre os modelos, portanto, os modelos com maiores espaçamentos entre edificações e com maiores variabilidades de alturas foram os mais permissivos à circulação dos ventos entre os espaços (Ipiranga e Moema).

A boa circulação dos ventos tornou o ambiente mais suscetível às variações térmicas, o que auxilia na retirada de calor e, por consequência, no período noturno, traz condições mais amenas. Assim, quando há valores amenos de Tar, a circulação do vento impacta de forma positiva na TEP, reduzindo os seus valores. A variabilidade de alturas e a formação de cânions urbanos também mostrou uma tendência de impacto benéfico de redução da TEP no período diurno, o que se associa aos sombreamentos ocasionados pelos edifícios.

Há uma diferença de até 2,5°C nos valores de TEP entre os pontos centrais dos modelos, sendo que, com exceção da República (na maior parte do tempo com as vias sombreadas), o Ipiranga foi o modelo que apresentou melhor desempenho quanto à TEP, o que se entende que se associa principalmente à distribuição das edificações e razoável variabilidade de alturas, que permitiram uma alternância nas condições de insolação e sombreamento, e ao traçado regular de vias norte-sul e leste-oeste permitindo melhor circulação dos ventos advindos do sudeste para a retirada de calor.

A Tabela 4 resume de forma qualitativa os resultados encontrados, com uma síntese de aspectos morfológicos urbanos estudados e seus efeitos microclimáticos evidenciados pelas simulações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos deste trabalho corroboram resultados encontrados em pesquisas da área, visto que, assim como identificado por TALEGHANI, KLEEREKOPER, *et al.* (2015), KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011) e SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS (2017), verificou-se que diferentes modelos morfológicos da cidade podem impactar de formas diversas nas condições térmicas dos espaços urbanos abertos.

As condições morfológicas do espaço urbano podem alterar as quantidades de radiação direta, difusa e refletida recebidas pelos espaços, a velocidade de passagem dos ventos nos espaços e, por consequência, a Temperatura do Ar, a Temperatura Radiante Média, a Umidade Relativa e, consequentemente, os índices de conforto térmico e a demanda sobre os sistemas de climatização artificial dos edifícios.

Os modelos com menor verticalização, menor volume construído e maiores valores de FVC apresentaram maiores valores de Temperatura do Ar no período diurno, com um aquecimento que ocorre de forma mais rápida pois os espaços abertos são mais expostos à insolação e, no período noturno, os modelos mais verticalizados e adensados apresentaram as maiores temperaturas, devido ao

maior acúmulo de calor nas massas construídas e ao aprisionamento de calor pela reflexão de radiação no cânion urbano.

Com a continuação dos trabalhos, analisando mais modelos de tipologias urbanas e estudando de forma aprofundada os impactos da variabilidade de alturas e formas dos edifícios e verticalização do meio urbano, as conclusões encontradas podem auxiliar na composição de diretrizes de planejamento urbano (parâmetros urbanísticos, códigos de edificações e regulamentações), embasando medidas que possam contribuir para cidades com melhores condições térmicas para os espaços abertos e edifícios, e mais resilientes aos cenários de agravamento dos fenômenos de aquecimento urbano e mudança climática global.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT. *NBR 15.220-2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- AMORIM, F. P.; TANGARI, V. *Estudo Tipológico sobre a Forma Urbana - Conceitos e Aplicações. Paisagem Ambiente - Ensaios*, São Paulo, n. 22, 2006. 61-73.
- ASSIS, E. S. *Abordagem do Clima Urbano e Aplicações no Planejamento - Reflexões sobre uma trajetória*. Anais do VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC/ELACAC). Maceió: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. 2005.
- GARTLAND, L. *Ilhas de Calor - Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. Tradução de Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. ISBN 978-85-86238-99-4.
- GUSSON, C. D. S. *Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano - construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP*. São Paulo: Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2014.
- IAG/USP. *Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP - 2017*. São Paulo: Seção Técnica de Serviços Meteorológicos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 2018.
- INMETRO. *Anexo Geral V - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros - Anexo da Portaria do Inmetro No. 50/ 2013 - Atualizado em 27/11/2017*. Brasília: Inmetro, 2017.
- IPCC. *IPCC 2014 - Alterações Climáticas 2014 - Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas*. Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., 2014.
- IPCC. *The science we need for the cities we want. Working together to implement the global research agenda on cities and climate change*. Edmonton: IPCC Cities, 2018.
- JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. *The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka*. *International Journal of Biometeorology*, Colombo, 51, 2006. 119-133.
- KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. *Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil*. *Elsevier - Building and Environment*, 46, 2011. 621-634.
- LAMAS, J. *Morfologia Urbana e Desenho da Cidade*. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian e Fundação para a Ciência e a Tecnologia, 2004.
- MINELLA, F. C. O.; HONJO, S.; KRÜGER, E. L. *Estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno em situação de verão de uma fração urbana da cidade de São Paulo*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 4, outubro / dezembro 2012. 139-158.

- MINELLA, F. O.; KRUGER, E. L. *Impactos na Geometria Urbana no Microclima*. ReserchGate, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265750178_IMPACTOS_DA_GEOMETRIA_URBANA_NO_MICROCLIMA>. Acesso em: 24 agosto 2019.
- MONTEIRO, L. M. *Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos - Verificações Modelares como Aportes à Exploração de Abordagens*. São Paulo: Tese de Livre-Docência. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2018.
- NOVAES, G. B. A. *Impactos da Morfologia da Cidade nas Condições Microclimáticas de Áreas Urbanas Consolidadas de São Paulo em Dias Quentes*. São Paulo: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2020.
- OKE, T. *Urban heat islands - an overview of the research and its implications*. North American Heat Islands Summit. [S.l.]: North American Heat Islands Summit. 2002.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *GeoSampa Mapa - Sistema de Consulta do Mapa Digital da Cidade de São Paulo*, 2019. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx>. Acesso em: 19 agosto 2019.
- SHARMIN, T.; STEEMERS, K.; MATZARAKIS, A. *Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment*. Elsevier - Sustainable Cities and Society, 34, 2017. 293-308.
- SHASHUA-BAR, L.; TZAMIR, Y.; HOFFMAN, M. E. *Thermal Effects of Building Geometry and Spacing on the Urban Canopy Layer Microclimate in a Hot-Humid Climate in Summer*. International Journal of Climatology, 24, 2004. 1729-1742.
- SHINZATO, P. *Impacto da Vegetação nos Microclimas Urbanos em Função das Interações Solo-Vegetação-Atmosfera*. São Paulo: Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2014. 204 p.
- TALEGHANI, M. et al. *Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands*. Elsevier - Building and Environment, Delft, 83, 2015. 65-78.

Nota do Editor

Data de submissão: 30/03/2020

Aprovação: 01/11/2020

Revisão: RMO

Gabriel Bonansea de Alencar Novaes

Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Rua do Lago, 876 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-080

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9327-4198>

gabrielalencarnovaes@hotmail.com

Leonardo Marques Monteiro

Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Rua do Lago, 876 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-080

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1163-8136>

leo4mm@gmail.com