UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

GABRIEL BONANSEA DE ALENCAR NOVAES

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

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

SÃO PAULO

2020

GABRIEL BONANSEA DE ALENCAR NOVAES

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

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

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, julgada e aprovada pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Linha de Pesquisa: Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Ergonomia na Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL,
SOB RESPONSABILIDADE DO(A) AUTOR(A) E ANUÊNCIA DO(A)
ORIENTADOR(A).

A versão original, em formato digital, ficará arquivada na Biblioteca da Faculdade. São Paulo, 10 de maio de 2020

SÃO PAULO

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Bonansea de Alencar Novaes, Gabriel
IMPACTOS DA MORFOLOGIA DA CIDADE NAS CONDIÇÕES
MICROCLIMÁTICAS DE ÁREAS URBANAS CONSOLIDADAS DE SÃO PAULO
EM DIAS QUENTES / Gabriel Bonansea de Alencar Novaes;
orientador Leonardo Marques Monteiro. – São Paulo, 2020.
332.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de
concentração: Tecnologia da Arquitetura.

1. Desempenho Térmico No Meio Urbano. 2. Desempenho
Térmico de Espaços Urbanos Abertos. 3. Conforto Térmico em
Espaços Urbanos Abertos. 4. Morfologia Urbana. I. Marques
Monteiro, Leonardo, orient. II. Título.

Autor: BONANSEA DE ALENCAR NOVAES, Gabriel

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

Contato: gabrielalencarnovaes@hotmail.com / gabriel.novaes@usp.br

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, julgada e aprovada pela Banca Examinadora definida abaixo.

Aprovado em 17 de março de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro (orientador e presidente da banca)

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Assinatura: _____

Prof. Dr. Manuel Carlos Reis Martins

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Fundação Carlos Alberto Vanzolini

Imperial College London - South Kensington Campus, Reino Unido

Assinatura: _____

Profa. Dra. Paula Shinzato

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Institut of Geoinformatics - Johannes Gutenberg University of Mainz, Alemanha

Assinatura: _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Débora e Ivo, pelo
tanto que se sacrificaram para eu chegar até aqui, e à
minha avó, Domênica, onde estiver

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), pelo crescimento e pelos ensinamentos proporcionados nos meios acadêmico, técnico e profissional.

Agradeço à Fundação Vanzolini, por todo o apoio e suporte ao longo da realização deste mestrado concomitantemente à atuação profissional.

Agradeço à minha irmã, Barbara, pelo amor, pelo apoio e pelo suporte.

Agradeço à Profa. Dra. Carolina Gusson, por compartilhar seus conhecimentos sobre o ENVI-met, tantas dicas, instruções e orientações.

Agradeço à Profa. Dra. Denise Duarte, por toda a costumeira atenção e por tantos ensinamentos que me trouxe ao longo da graduação e ao longo do mestrado.

Agradeço à Profa. Dra. Paula Shinzato, por todo o auxílio e por todos os ensinamentos, por todas as oportunidades de aprendizado nos usos do ENVI-met, por toda a paciência e atenção.

Agradeço à Rebeca, por me acompanhar nesse desafio.

Agradeço à Seção Técnica de Serviços Meteorológicos do IAG/USP, em especial ao Eng. Sérgio Torre Salum, pelo fornecimento de dados das medições meteorológicas da Estação Água Funda, do IAG USP, no Parque do Estado.

Agradeço ao CONECTICIDADE – Laboratório de Cidades, Tecnologia e Urbanismo do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP, pelo interesse e suporte ao trabalho.

Agradeço ao Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG/USP, em especial à Profa. Geórgia Codato, pelo fornecimento de dados das medições meteorológicas da Estação do IAG USP, na Cidade Universitária.

Agradeço ao LABAUT FAU USP – Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Ergonomia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pelas ferramentas e suporte.

Agradeço ao Prof. Dr. Leonardo Monteiro, pela orientação e pelo acompanhamento em tantos anos de graduação, de monitoria, de iniciação científica e de mestrado.

Agradeço ao Prof. Dr. Manuel Martins, por toda a orientação no trabalho e também por todas as dicas e comentários no desenvolvimento deste mestrado.

Agradeço ao Ranieri Higa, técnico do LABAUT, pelos cuidados, auxílios e acompanhamentos no empréstimo, transporte, uso e manuseio dos equipamentos de medição utilizados.

Agradeço ao Simon Helge, da ENVI-met GmbH e da Johannes Gutenberg-Universität Mainz, pelas orientações e pelos esclarecimentos de dúvidas no uso do ENVI-met e avaliação dos resultados das simulações.

Agradeço aos meus pais, Débora e Ivo, a quem dedico este trabalho, pelo amor sem igual e por todo o esforço e sacrifício para que eu pudesse ter todas as oportunidades que tive.

“Estudos em clima urbano podem e devem servir de subsídio para o planejamento urbano. A expectativa é que, com o agravamento das condições climáticas (alagamentos, ondas de calor, etc.), estudos relacionados ao clima urbano e, mais especificamente, que visem à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas por meio de medidas adequadas de planejamento urbano, ganhem maior importância, tornando-se uma necessidade” (MINELLA e KRÜGER, 2015)

RESUMO

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

O ponto central deste trabalho é a investigação dos potenciais impactos que diferentes composições morfológicas urbanas – isto é, diferentes formas, distribuições espaciais e geometrias do espaço urbano – presentes em assentamentos de áreas urbanas consolidadas de São Paulo podem ocasionar sobre as condições microclimáticas locais ao longo de dias quentes, ou seja, nas condições térmicas compreendidas por meio das variáveis microclimáticas no ambiente e condições de conforto térmico percebidas na escala do pedestre. A avaliação se baseia em simulações computacionais das condições térmicas de ambientes urbanos abertos de exemplos representativos de distritos da cidade de São Paulo, por meio do *software* ENVI-met, calibrado a partir de medições empíricas de campo de variáveis microclimáticas em um ambiente existente da cidade. Os resultados das avaliações dos diferentes modelos permitem a análise comparativa das variáveis microclimáticas encontradas ao longo do período de análise em cada local frente às características da ocupação urbana dos diferentes modelos, o que possibilita investigar de que forma as diferentes morfologias urbanas respondem às mesmas condições climáticas de calor. Esta pesquisa permitiu, portanto, verificar os principais impactos que a distribuição, a forma, o porte e a relação dos conjuntos de edifícios podem ocasionar no microclima de nossas cidades, tomando como exemplo alguns bairros representativos de São Paulo, em termos de concentrações de edificações de diferentes tipologias e alturas, e correlacionando diferentes aspectos da morfologia urbana com variações decorrentes na ambiência térmica do espaço urbano aberto.

Palavras-chave: térmica urbana, térmica em espaços abertos, conforto térmico urbano, conforto térmico em espaços abertos, microclima urbano, morfologia urbana.

ABSTRACT

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

The central point of this project is the investigation of potential impacts that different urban morphological compositions - that is, different forms, spatial distributions and geometries of the urban space - present in settlements of consolidated urban areas of São Paulo can cause on local microclimate conditions over hot days, that is, in the thermal conditions understood through the microclimate variables in the environment and thermal comfort conditions perceived in the pedestrian scale. The evaluation is based on computer simulations of the thermal conditions of open urban environments of representative examples of districts in the city of São Paulo, using the ENVI-met *software*, calibrated from empirical field measurements of microclimate variables in an existing city environment. The results of the evaluations of the different models allow the comparative analysis of the microclimate variables found during the period of analysis in each location in view of the aspects of the urban occupation in the different models, which makes it possible to investigate how the different urban morphologies respond to the same climatic conditions of heat. Therefore, this research allowed to verify the main impacts that the distribution, shape, size and relationship of the sets of buildings can cause in the microclimate of our cities, taking as an example some representative neighborhoods of São Paulo, in terms of concentrations of buildings of different typologies and heights, and correlating different aspects of urban morphology with variations arising in the thermal ambience of the open urban space.

Keywords: urban thermal conditions, open space thermal conditions, urban thermal comfort, thermal comfort in open spaces, urban microclimate, urban morphology.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA / HQE	Certificação AQUA-HQE – Alta Qualidade Ambiental (<i>Haute Qualité Environnementale</i>)
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
FAU USP	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
FCAV / FV	Fundação Carlos Alberto Vanzolini (Fundação Vanzolini)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIS	Sistema Geográfico de Informação (<i>Geographic Information System</i>)
IAG USP	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISB	<i>International Society of Biometeorology</i> (Sociedade Internacional de Biometeorologia)
LABAUT	Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Ergonomia
MDC	Mapa Digital da Cidade de São Paulo
MEMI	<i>Munich Energy-balance Model for Individuals</i> (Modelo de Munique de Balanço Energético para Indivíduos)
ONU / UN	Organização das Nações Unidas (<i>United Nations</i>)
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano da Prefeitura de São Paulo
SP	São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
WHO	<i>World Health Organization</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

LISTA DE REDUÇÕES

A / W	Energia acumulada pelo corpo / não transformada em calor (W)
CA	Coefficiente de Aproveitamento
CC / CV / D / R	Calor trocado por meio de condução / convecção / difusão / radiação (W W/m ²)
Icl	Índice de Resistência Térmica da Vestimenta (clo)
M	Atividade Metabólica (met)
PET	<i>Physiological Equivalent Temperature</i> (Temperatura Fisiológica Equivalente) ¹ (°C)
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Predito) ²
RS	Calor perdido pelo corpo por meio da respiração (W – valor absoluto W/m ² – valor relativo)
T	Temperatura Absoluta (K)
Tar	Temperatura do Ar (°C)
TEP	Temperatura Equivalente Percebida (°C)
TEP _A	Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa (°C)
TEP _M	Temperatura Equivalente Percebida Meteorológica (°C)
Tg	Temperatura de Globo (°C)
Tmm	Temperatura Média Mensal (°C)
TO	Taxa de Ocupação
TOp	Temperatura Operativa (°C)
TP	Taxa de Permeabilidade
TR	Calor perdido pelo corpo por meio da transpiração (W – valor absoluto W/m ² – valor relativo)
TRM	Temperatura Radiante Média (°C)
TRM ₁	Temperatura Radiante Média considerando o efeito da convecção do vento (°C)
TRM ₂	Temperatura Radiante Média desconsiderando o efeito da convecção do vento (°C)
UR	Umidade Relativa do Ar (%)
UTCI	<i>Universal Thermal Climate Index</i> (Índice Universal Térmico Climático) ³
Var	Velocidade do Ar (Vento) (m/s km/h)
εg	Emissividade do Globo (Termômetro de Globo) (adimensional)

¹ “(...) índice baseado no balanço térmico do corpo, que indica os efeitos do ambiente térmico em termos de estresse térmico (...)” (KRÜGER, ROSSI, et al., 2018). “(...) apresenta um equivalente externo para uma configuração típica interna, por exemplo, balanço térmico de um ser humano em atividade leve (80W) e vestimenta interna (0,9 clo).” (HONJO, 2009)

² “(...) índice que prevê o valor médio de um grande grupo de pessoas (...) criado através de análises estatísticas de acordo com resultados obtidos por Fanger (1972) (...). Nesses estudos as pessoas registravam seus votos sobre a escala sétima, que aponta desde muito frio até muito quente. (...)” (LAMBERTS, 2016).

³ “(...) desenvolvido pela International Society of Biometeorology com o objetivo de avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano (...) aplicável a todos os tipos de clima e independente das características pessoais dos indivíduos. (...)”. (KRÜGER, ROSSI, et al., 2018)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
°C	Grau Celsius
clo	Unidade de resistência térmica da vestimenta (1 clo = 0.155 m ² .°C/W)
cm	Centímetro
h	Hora
hab	Habitante
K	Grau Kelvin
km	Quilômetro
km/h	Quilômetro por hora
L	Litro
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
met	Unidade de energia produzida pela atividade metabólica (1 MET = 58 W/m ²)
min	Minuto
mm	Milímetro
s	Segundo
W	Watt
W/m ²	Watt por metro quadrado

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Temperatura Radiante Média (TRM) considerando a convecção pelo vento.....	56
Equação 2 - Temperatura Radiante Média (TRM) desconsiderando a convecção pelo vento.....	56
Equação 3 - Balanço térmico do corpo humano	66
Equação 4 - Tsp (Índice de Percepção de Sensação Térmica na escala de -3 a 3)	69
Equação 5 - TEP (Temperatura Equivalente Percebida)	69
Equação 6 - TEP _A (Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa).....	69
Equação 7 - TEP _M (Temperatura Equivalente Percebida Meteorológica).....	69
Equação 8 - TEG (Temperatura Equivalente de Globo)	69
Equação 9 - Balanço de Energia (Saldo de Calor em Ambientes Urbanos)	86
Equação 10 - TEP (Temperatura Equivalente Percebida) (MONTEIRO, 2018)	282

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos de disposições espaciais urbanas (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)	33
Figura 2 - Modelos com diferentes aspectos morfológicos (TALEGHANI, KLEEREKOPER, <i>et al.</i> , 2015).....	34
Figura 3 - Modelos de morfologias urbanas distintas na pesquisa (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006).....	35
Figura 4 - Modelos de morfologias urbanas distintas na pesquisa (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006).....	35
Figura 5 - Valores de Índice de Resistência Térmica por conjuntos de vestimentas	64
Figura 6 - Crescimento da área construída em diversas regiões do planeta.....	76
Figura 7 - Concentração vegetal e temperatura aparente de superfície em São Paulo	80
Figura 8 - Fatores e Potenciais de Mitigação das Ilhas de Calor	91
Figura 9 – Três Principais Escalas de Ilhas de Calor nas Cidades.....	92
Figura 10 – Impactos da Geometria Urbana na Reflexão e Absorção de Calor	94
Figura 11 - Localização do ponto de medições	100
Figura 12 - Subpontos de medição da laje inferior com Hobo e Estação Meteorológica.....	101
Figura 13 - Subponto da laje de cobertura com hobo, anemômetro e piranômetro.....	101
Figura 14 – Câmera Fotográfica com lente do tipo “Olho de Peixe”	102
Figura 15 - Localização do ponto de medições de pré-teste.....	106
Figura 16 - Característica horizontal da região do ponto de medições de pré-teste	106
Figura 17 - Hobo nas medições de pré-teste	106
Figura 18 - Ponto das medições de pré-teste	106
Figura 19 - Localização do ponto de medições e das estações meteorológicas	107
Figura 20 - Foto de satélite do local em bairro predominantemente residencial e horizontal.....	112
Figura 21 - Foto de satélite do local em bairro predominantemente residencial e horizontal.....	112
Figura 22 – Foto de satélite do local em bairro predominantemente residencial e horizontal.....	113
Figura 23 - Foto aérea da região do ponto de medições.....	113
Figura 24 - Subpontos de medição da laje inferior com Hobo e Estação Meteorológica.....	114
Figura 25 - Subponto da laje de cobertura com hobo, anemômetro e piranômetro.....	115
Figura 26 - Subponto da laje de cobertura com hobo, anemômetro e piranômetro.....	115
Figura 27 - Estação Campbell	116
Figura 28 - Hobo na laje inferior	116
Figura 29 - Anemômetro e Hobo na cobertura.....	117
Figura 30 - Anemômetro e Hobo na cobertura.....	117
Figura 31 - Piranômetro na cobertura	117
Figura 32 – Anemômetro, Hobo e Piranômetro	117
Figura 33 - Foto olho de peixe da laje inferior com mascaramento de céu e insolação	118
Figura 34 - Estudo de mascaramento de céu e insolação do ponto da laje inferior.....	118
Figura 35 - Foto olho de peixe da laje de cobertura com mascaramento de céu e insolação	119

Figura 36 - Estudo de mascaramento de céu e insolação do ponto da laje de cobertura.....	119
Figura 37 - Terra: dezembro foi o mês mais quente de 2018 em São Paulo.....	120
Figura 38 - G1: São Paulo tem o segundo janeiro mais quente dos últimos 76 anos.....	120
Figura 39 - Fluxograma do processo de operação do ENVI-met.....	141
Figura 40 - Configuração do solo e pavimento de concreto sujo nas simulações.....	162
Figura 41 - Configuração do solo e da superfície de asfalto nas simulações.....	162
Figura 42 - Configuração da parede de alvenaria de blocos cerâmicos maciços.....	163
Figura 43 - Configuração da cobertura de telhas cerâmicas sobre laje de concreto.....	163
Figura 44 - Configuração dos materiais de construção para a simulação.....	164
Figura 45 - Modelo Mirandópolis 22: planta.....	165
Figura 46 - Modelo Mirandópolis 22: planta.....	165
Figura 47 - Modelo Mirandópolis 22: vista 3D.....	165
Figura 48 - Modelo Mirandópolis 21: Valores de entrada das simulações em 12/12/2018.....	170
Figura 49 - Dados climáticos de entrada dos modelos finais de simulação em 12/12/2018.....	182
Figura 50 - Composição das paredes de fachadas nos modelos.....	188
Figura 51 - Composição das paredes de fachadas no ENVI-met.....	189
Figura 52 - Composição das coberturas no ENVI-met.....	189
Figura 53 - Vista tridimensional da região do Modelo 1 - Mirandópolis.....	192
Figura 54 - Mapa do Modelo 1 - Mirandópolis com Escala de Altura dos Edifícios.....	193
Figura 55 - Vista 3D do Modelo 1 - Mirandópolis.....	193
Figura 56 - Fator de Visão de Céu no Modelo 1 - Mirandópolis.....	197
Figura 57 - Acesso à Luz Solar no Modelo 1 - Mirandópolis.....	197
Figura 58 - Vista tridimensional da região do Modelo 2 - Ipiranga.....	198
Figura 59 - Mapa do Modelo 2 - Ipiranga com Escala de Altura dos Edifícios.....	199
Figura 60 - Vista 3D do Modelo 2 - Ipiranga.....	199
Figura 61 - Fator de Visão de Céu no Modelo 2 - Ipiranga.....	203
Figura 62 - Acesso à Luz Solar no Modelo 2 - Ipiranga.....	203
Figura 63 - Vista tridimensional da região do Modelo 3 - Moema.....	204
Figura 64 - Mapa do Modelo 3 - Moema com Escala de Altura dos Edifícios.....	205
Figura 65 - Vista 3D do Modelo 3 - Moema.....	205
Figura 66 - Fator de Visão de Céu no Modelo 3 - Moema.....	209
Figura 67 - Acesso à Luz Solar no Modelo 3 - Moema.....	209
Figura 68 - Vista tridimensional da região do Modelo 4 - Itaim Bibi.....	210
Figura 69 - Mapa do Modelo 4 - Itaim Bibi com Escala de Altura dos Edifícios.....	211
Figura 70 - Vista 3D do Modelo 4 - Itaim Bibi.....	211
Figura 71 - Fator de Visão de Céu no Modelo 4 - Itaim Bibi.....	215
Figura 72 - Acesso à Luz Solar no Modelo 4 - Itaim Bibi.....	215

Figura 73 - Vista tridimensional da região do Modelo 5 - República	216
Figura 74 - Mapa do Modelo 5 - República com Escala de Altura dos Edifícios	217
Figura 75 - Vista 3D do Modelo 5 - República	217
Figura 76 - Fator de Visão de Céu no Modelo 5 - República	221
Figura 77 - Acesso à Luz Solar no Modelo 5 - República.....	221
Figura 78 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h.....	230
Figura 79 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h	230
Figura 80 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h	231
Figura 81 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h	231
Figura 82 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h.....	232
Figura 83 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h.....	234
Figura 84 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h	234
Figura 85 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h.....	235
Figura 86 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h	235
Figura 87 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h.....	236
Figura 88 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	239
Figura 89 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h	239
Figura 90 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	240
Figura 91 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h	240
Figura 92 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	241
Figura 93 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	241
Figura 94 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h	242
Figura 95 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	242
Figura 96 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h	243
Figura 97 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	243
Figura 98 – Modelo 1 - Mirandópolis – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h.....	247
Figura 99 – Modelo 2 - Ipiranga – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h	247
Figura 100 – Modelo 3 - Moema – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h.....	248
Figura 101 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h.....	248
Figura 102 – Modelo 5 - República – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h	249
Figura 103 – Modelo 1 - Mirandópolis – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h.....	249
Figura 104 – Modelo 2 - Ipiranga – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h	250
Figura 105 – Modelo 3 - Moema – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h.....	250
Figura 106 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h.....	251
Figura 107 – Modelo 5 - República – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h	251
Figura 108 – Modelo 1 - Mirandópolis – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h	253
Figura 109 – Modelo 2 - Ipiranga – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	253

Figura 110 – Modelo 3 - Moema – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	254
Figura 111 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	254
Figura 112 – Modelo 5 - República – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h	255
Figura 113 – Modelo 1 - Mirandópolis – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h	255
Figura 114 – Modelo 2 - Ipiranga – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	256
Figura 115 – Modelo 3 - Moema – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	256
Figura 116 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	257
Figura 117 – Modelo 5 - República – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h	257
Figura 118 – Modelo 1 - Mirandópolis – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h.....	258
Figura 119 – Modelo 2 - Ipiranga – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h.....	258
Figura 120 – Modelo 3 - Moema – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h	259
Figura 121 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h	259
Figura 122 – Modelo 5 - República – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h.....	260
Figura 123 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h.....	267
Figura 124 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h	267
Figura 125 – Modelo 3 - Moema –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h.....	268
Figura 126 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h.....	268
Figura 127 – Modelo 5 - República –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h	269
Figura 128 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h.....	269
Figura 129 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h.....	270
Figura 130 – Modelo 3 - Moema –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h.....	270
Figura 131 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h.....	271
Figura 132 – Modelo 5 - República –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h	271
Figura 133 – Modelo 1 - Mirandópolis –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h	275
Figura 134 – Modelo 1 - Mirandópolis –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h	275
Figura 135 – Modelo 2 - Ipiranga –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	276
Figura 136 – Modelo 2 - Ipiranga –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	276
Figura 137 – Modelo 3 - Moema –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h	277
Figura 138 – Modelo 3 - Moema –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h	277
Figura 139 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h.....	278
Figura 140 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h.....	278
Figura 141 – Modelo 5 - República –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h	279
Figura 142 – Modelo 5 - República –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h	279

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas médias mensais de 2016 e 2017 e média histórica em São Paulo.....	52
Gráfico 2 - Série histórica da temperatura média anual em São Paulo.....	53
Gráfico 3 - Umidade Relativa média mensal em São Paulo em 2017	54
Gráfico 4 - Número de dias com Umidade Relativa abaixo de 30% em São Paulo em 2017	54
Gráfico 5 - Irradiação Solar Global média mensal em São Paulo em 2017.....	55
Gráfico 6 - Direção e velocidade média dos ventos em São Paulo	58
Gráfico 7 – Frequência das direções de rajadas de ventos em São Paulo.....	59
Gráfico 8 - Evolução da População Urbana e Rural no Mundo de 1950 a 2050	75
Gráfico 9 - Média global do uso de energia por metro quadrado de edificação	82
Gráfico 10 - Medições de Pré-teste: Tar, UR e Tg.....	108
Gráfico 11 - Medições de Pré-teste: Tar, Tg, TRM e TEP.....	108
Gráfico 12 - Medições de Pré-Teste: Temperatura do Ar - Comparação com Estações.....	110
Gráfico 13 - Medições de Pré-Teste: Umidade Relativa - Comparação com Estações.....	110
Gráfico 14 - Temperaturas mínimas e máximas em São Paulo em dezembro de 2018	120
Gráfico 15 - Medições de Temperatura de Ar (°C).....	125
Gráfico 16 - Medições de Umidade Relativa (%).....	126
Gráfico 17 - Medições de Temperatura de Globo (°C)	127
Gráfico 18 - Medições de Temp. de Globo (°C) e Radiação Global na laje de cob. (W/m²)	127
Gráfico 19 - Medições: tempo de incidência de vento por direção.....	128
Gráfico 20 - Medições: velocidade média do vento por direção	128
Gráfico 21 - Medições: velocidade máxima do vento por direção	129
Gráfico 22 - Medições: percentual de tempo de incidência de vento por faixa de velocidade.....	130
Gráfico 23 - Medições: Temperatura do Ar no período de análise.....	131
Gráfico 24 - Medições: Umidade Relativa no período de análise	132
Gráfico 25 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Temperatura do Ar.....	173
Gráfico 26 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Umidade Relativa	173
Gráfico 27 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Temperatura do Ar.....	174
Gráfico 28 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Umidade Relativa	174
Gráfico 29 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Velocidade do Ar	176
Gráfico 30 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Direção do Vento	176
Gráfico 31 - Comparação entre os modelos de calibração e Estação IAG: Radiação Direta	178
Gráfico 32 - Comparação entre os modelos de calibração e Estação IAG: Radiação Difusa	178
Gráfico 33 - Comparação entre os modelos de calibração e Estação IAG: Rad. de Onda Longa	178
Gráfico 34 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens - Tar	185
Gráfico 35 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens - UR.....	185

Gráfico 36 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens – Radiação de Onda Longa.....	187
Gráfico 37 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens – Radiação Difusa	187
Gráfico 38 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens – Radiação Direta.....	187
Gráfico 39 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis	195
Gráfico 40 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis	195
Gráfico 41 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis	196
Gráfico 42 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis.....	196
Gráfico 43 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 2 - Ipiranga	201
Gráfico 44 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 2 - Ipiranga.....	201
Gráfico 45 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 2 - Ipiranga.....	202
Gráfico 46 - Perfil das razões altura / área de projeção das edificações do Modelo 2 - Ipiranga	202
Gráfico 47 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 3 - Moema.....	207
Gráfico 48 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 3 - Moema	207
Gráfico 49 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 3 - Moema	208
Gráfico 50 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis.....	208
Gráfico 51 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi.....	213
Gráfico 52 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi.....	213
Gráfico 53 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi.....	214
Gráfico 54 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi	214
Gráfico 55 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 5 - República	219
Gráfico 56 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 5 - República	219
Gráfico 57 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 5 - República	220
Gráfico 58 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 5 - República.....	220
Gráfico 59 - Comparação entre os modelos: alturas	223
Gráfico 60 - Comparação entre os modelos: perfis de alturas.....	223
Gráfico 61 - Comparação entre os modelos: áreas ocupadas e taxas de ocupação.....	224
Gráfico 62 - Comparação entre os modelos: volumes e CA estimados	224
Gráfico 63 - Comparação entre os modelos: superfícies de asfalto e pavimento.....	225
Gráfico 64 - Receptores médios - Temperatura do Ar.....	227
Gráfico 65 - Receptores médios – Umidade Relativa.....	263
Gráfico 66 - Receptores médios - Temperatura Radiante Média.....	264
Gráfico 67 - Receptores médios - Velocidade do Ar	273
Gráfico 68 - Receptores médios - Temperatura Equivalente Percebida.....	281

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidades de vento e sensações correspondentes pela Escala de Olgyay	57
Tabela 2 - Referência de valores de Taxa Metabólica	63
Tabela 3 - Valores de Índice de Resistência Térmica de conjuntos de vestimentas	64
Tabela 4 - Faixas de percepção térmica de acordo com Tsp, TEP, PET e UTCI.....	70
Tabela 5 – Principais características urbanas que agravam as ilhas de calor.....	89
Tabela 6 - Medições de Pré-Teste: Temperatura do Ar - Comparação com Estações.....	109
Tabela 7 - Medições de Pré-Teste: Umidade Relativa - Comparação com Estações	109
Tabela 8 - Diário de Medições: registros das condições meteorológicas.....	121
Tabela 9 - Medições: velocidade e Direção do Vento no período de análise.....	133
Tabela 10 - Histórico dos modelos de calibração do ENVI-met	166
Tabela 11 - Dados de entrada do arquivo climático e das medições / estações meteorológicas.....	171
Tabela 12 - Comparação entre modelo calibrado e medições in loco: Temperatura do Ar.....	172
Tabela 13 - Comparação entre modelo calibrado e medições in loco: Umidade Relativa	172
Tabela 14 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Velocidade do Ar	175
Tabela 15 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Direção do Vento	175
Tabela 16 - Comparação entre modelo calibrado e Estação IAG: Incidência de Radiação.....	177
Tabela 17 - Comparação da simulação com nuvens e sem nuvens	184
Tabela 18 - Comparação da simulação com nuvens e sem nuvens	184
Tabela 19 - Propriedades físicas e térmicas das camadas dos componentes de fachadas	188
Tabela 20 - Dados do Modelo 1 - Mirandópolis.....	194
Tabela 21 - Dados do Modelo 2 - Ipiranga	200
Tabela 22 - Dados do Modelo 3 - Moema.....	206
Tabela 23 - Dados do Modelo 4 - Itaim Bibi	212
Tabela 24 - Dados do Modelo 5 - República.....	218
Tabela 25 - Resumo de comparações entre os modelos.....	222
Tabela 26 - Resumo de aspectos morfológicos urbanos e seus efeitos microclimáticos	295

SUMÁRIO

SEÇÃO I: PROCESSO DE PESQUISA	24
1. INTRODUÇÃO	25
1.1. Apresentação.....	25
1.2. Questão Central da Pesquisa	29
1.3. Objetivo.....	29
1.4. Metodologia do Trabalho.....	29
1.5. Justificativa	30
1.6. Estrutura da Dissertação.....	37
SEÇÃO II: TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO NO MEIO URBANO.....	39
2. CONFORTO AMBIENTAL NO MEIO URBANO	40
3. CONFORTO TÉRMICO E VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO MEIO URBANO.....	49
3.1. Principais variáveis microclimáticas do conforto térmico urbano	51
3.2. Variáveis Térmicas Subjetivas e Trocas Térmicas entre corpo e Ambiente	59
3.3. Balanço Térmico e o Modelo Adaptativo	65
3.4. Índices de Conforto Térmico e a TEP – Temperatura Equivalente Percebida.....	66
3.5. Estudos realizados sobre o Conforto do Pedestre em São Paulo	71
4. TÉRMICA, MICROCLIMA E MORFOLOGIA DO MEIO URBANO.....	73
4.1. As cidades, o clima global e as condições microclimáticas locais.....	73
4.2. Fenômenos de aquecimento Urbano e Morfologia da Cidade.....	84
SEÇÃO III: MEDIÇÕES EMPÍRICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO	98
5. MATERIAL E METODOLOGIA DAS MEDIÇÕES	99
5.1. Metodologia das Medições.....	99
5.2. Equipamentos e Posicionamento dos equipamentos de medição.....	102
6. MEDIÇÕES EMPÍRICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	105
6.1. Medições de Pré-Teste em Outubro de 2018.....	105
6.2. Levantamentos Empíricos entre Dezembro de 2018 e janeiro de 2019.....	111
SEÇÃO IV: SIMULAÇÕES TERMODINÂMICAS	134
7. MATERIAL E METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES	135

8.	O ENVI-MET, SEU HISTÓRICO E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	136
8.1.	<i>Processo de Modelagem e Simulação e suas vantagens.....</i>	<i>139</i>
8.2.	<i>Principais Desafios do software e dificuldades encontradas.....</i>	<i>147</i>
8.3.	<i>Análise crítica da adequação do ENVI-met e seu uso no Brasil.....</i>	<i>157</i>
9.	PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DO ENVI-MET	161
9.1.	<i>Elaboração e configuração do modelo Geométrico de Calibração.....</i>	<i>161</i>
9.2.	<i>Processo de Calibração do Modelo Climático e de Simulação</i>	<i>165</i>
9.3.	<i>Adequação e precisão do modelo calibrado</i>	<i>171</i>
10.	ASPECTOS DAS SIMULAÇÕES E CARACTERÍSTICAS ADOTADAS.....	179
10.1.	<i>Premissas e Processo de Simulação.....</i>	<i>179</i>
10.2.	<i>Aspectos Geométricos e Limites dos modelos.....</i>	<i>180</i>
10.3.	<i>Aspectos do Período Simulado.....</i>	<i>181</i>
10.4.	<i>Aspectos Climáticos e de Nebulosidade (ausência de nuvens).....</i>	<i>182</i>
10.5.	<i>Aspectos Construtivos</i>	<i>188</i>
11.	MODELOS DE COMPOSIÇÕES MORFOLÓGICAS URBANAS UTILIZADOS.....	190
11.1.	<i>Modelo 1: Mirandópolis</i>	<i>192</i>
11.2.	<i>Modelo 2: Ipiranga</i>	<i>198</i>
11.3.	<i>Modelo 3: Moema</i>	<i>204</i>
11.1.	<i>Modelo 4: Itaim Bibi</i>	<i>210</i>
11.2.	<i>Modelo 5: República.....</i>	<i>216</i>
11.3.	<i>Comparação dos Modelos.....</i>	<i>222</i>
SEÇÃO V: RESULTADOS E CONCLUSÕES.....		226
12.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS.....	227
12.1.	<i>Temperatura do Ar</i>	<i>227</i>
12.2.	<i>Variação da Temperatura do Ar</i>	<i>253</i>
12.3.	<i>Umidade Relativa.....</i>	<i>263</i>
12.4.	<i>Temperatura Radiante Média.....</i>	<i>264</i>
12.5.	<i>Velocidade do Ar.....</i>	<i>273</i>
12.6.	<i>Temperatura Equivalente Percebida</i>	<i>281</i>
13.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	287
13.1.	<i>Conclusões.....</i>	<i>287</i>
13.2.	<i>Desdobramentos Futuros.....</i>	<i>297</i>
14.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	299
ANEXOS.....		310

ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO CALIBRADO COM NEBULOSIDADE	311
ANEXO 2 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO DE SIMULAÇÃO SEM NEBULOSIDADE	316
ANEXO 3 – EXTRAÇÃO DOS DADOS COLETADOS NAS MEDIÇÕES DE CAMPO PARA OS DIAS 09/12/2018 A 14/12/2018, UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO	321

SEÇÃO I: PROCESSO DE PESQUISA

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

A morfologia urbana é um conceito complexo e interdisciplinar, que é objeto de estudo de urbanistas em todo o mundo. Sua definição é estudo das formas urbanas e dos processos responsáveis pela transformação da cidade, diferentemente do conceito de forma urbana, que se refere exclusivamente aos elementos físicos que estruturam e moldam a cidade, como tecidos urbanos, ruas, lotes, edifícios. (AMARAL, 2017)

Trata-se da maneira como a cidade se constrói, a partir de seu crescimento orgânico, de suas diretrizes planejadas, e das demandas políticas, sociais e econômicas sobre a construção do espaço urbano. Seu resultado é a manifestação da geometria urbana, isto é, de sua volumetria e tridimensionalidade, composta pelas características e aspectos dos conjuntos de edifícios (suas alturas, suas dimensões, suas características, suas distribuições e concentrações, as distâncias entre edifícios, etc.), dos conjuntos de vias (suas larguras e portes), e dos espaços urbanos abertos (suas dimensões, posições, distribuições).

Por exemplo, para Rego e Meneguetti (2011), a morfologia urbana é o estudo do meio físico da forma urbana e dos processos que formataram a sua característica através de um estudo multidisciplinar. Já para Lamas (2004), trata-se do estudo da forma do meio urbano nas suas partes físicas exteriores e na sua transformação ao longo do tempo, o que remete para a análise do espaço e sua evolução ao longo do tempo. (LAMAS, 2004)

Nesse sentido, a base do estudo da morfologia urbana é a ideia de que a organização da cidade e o seu desenvolvimento não são aleatórios, mas seguem um processo em que a formação física da cidade tem dinâmica própria, ainda que condicionada por fatores culturais, econômicos, sociais e políticos. (REGO e MENEGUETTI, 2011)

Assim, a morfologia da cidade é, além da composição da forma da cidade, a maneira como sua geometria se constrói e se relaciona com os usos da cidade, sendo que a tipologia construtiva e a morfologia urbana dependem uma da outra. Seu estudo permite identificar os

agentes que interferem na constante e contínua transformação do ambiente físico da cidade, associados à estrutura da cidade, suas formas e seus fenômenos de origem e transformação, nas dimensões da rua, do bairro, dos edifícios, da cidade. (AMORIM e TANGARI, 2006)

Em paralelo, recentemente urbanistas e pesquisadores passaram a valorizar a importância dos estudos voltados à determinação das causas e dos fatores que levam à formação dos microclimas urbanos e que condicionam o seu comportamento, correlacionando-os, dentre outros aspectos da cidade, à morfologia urbana. Diante do cada vez mais preocupante cenário da mudança climática global e dos fenômenos de aquecimento urbano⁴ – e da multiplicação destes fenômenos extremos –, esta preocupação se tornou latente.

De acordo com Krüger, Minella e Rasia (2011), existem poucos estudos sobre conforto ambiental em espaços externos abertos e sobre a consideração do clima na prática do planejamento urbano. Alguns mais recentes se referem às ilhas de calor e à variação da Temperatura do Ar nas cidades e, mais ultimamente, à relação entre morfologia urbana e níveis de conforto. Inúmeros estudos norteiam pesquisas acerca da contribuição ao aquecimento ocasionada pela impermeabilização das superfícies de solos (GARTLAND, 2010), pela retirada da cobertura vegetal (SHINZATO, 2014) e pela multiplicação das superfícies asfaltadas e pavimentadas (DUARTE, 2015).

Com isso, através de um planejamento urbano adequado é possível obter condições térmicas mais amenas nos espaços urbanos abertos, trazendo maior conforto nestes ambientes e, inclusive, auxiliando a reduzir as demandas de climatização artificial dos edifícios. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

Os estudos da climatologia urbana podem auxiliar no processo de planejamento urbano (IPCC, 2014), sendo que estudos que buscam a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas

⁴ O conceito de fenômeno de aquecimento urbano comporta diversos tipos de processos microclimáticos no ambiente das cidades que levam ao aumento das temperaturas do ar, inclusive das temperaturas noturnas. O mais famoso dos fenômenos de aquecimento urbano é a conhecida “ilha de calor urbana”, que pode se manifestar em diversas escalas e de diversas formas, conceito que será explorado neste trabalho.

através de medidas urbanísticas podem ser uma das medidas contra o agravamento das condições climáticas e de suas consequências nas cidades. (MINELLA e KRÜGER, 2015)

O microclima da cidade é extremamente responsivo às diversas variáveis físicas locais, sensíveis às características da cidade, compondo uma consequência complexa de diferentes parâmetros naturais, como temperatura e umidade do ar, Velocidade do Ar, radiação solar, temperatura e umidade do solo, fatores estes que são muito sensíveis a quaisquer mudanças tridimensionais nos ambientes urbanos. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Neste sentido, a morfologia da cidade é uma das principais características urbanas que podem auxiliar na mitigação dos efeitos dos fenômenos de aquecimento urbano e na melhoria do microclima urbano (DUARTE, 2015). Minella e Krüger (2015) colocam que o adensamento das cidades pode trazer consequências ambientais significativas, sendo um exemplo as áreas de cânions urbanos nos quais as mudanças microclimáticas são muito perceptíveis, em função de um decréscimo de radiação solar direta em áreas sombreadas e aumento de radiação refletida, além do aumento do armazenamento de calor pelas construções e redução da radiação de onda longa devido às obstruções. (MINELLA e KRÜGER, 2015)

Estudos em cidades de clima tropical mostram que, embora os cânions urbanos⁵ possam melhorar as condições térmicas diurnas (por exemplo, através do sombreamento provocado pelos edifícios), estes também podem intensificar o efeito noturno de ilhas de calor (por exemplo, através da redução da perda de calor noturna em função da menor visão de céu), sendo assim, cânions urbanos uniformes e homogêneos⁶ podem não ser adequados para um

⁵ Definição de cânion urbano: “(...) o cânion urbano é uma unidade geométrica básica estimada por uma seção transversal bidimensional de edifícios. Os parâmetros de geometria urbana utilizados neste estudo são a razão H/W e o fator de visualização do céu (SVF). A razão H/W é um parâmetro-chave da geometria urbana que afeta a radiação solar de entrada e saída, o fluxo de radiação e o fluxo de vento em um desfiladeiro urbano. Aqui, H é a altura média das paredes do cânion e W é a largura do cânion.” (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

⁶ O conceito de cânion urbano é muito utilizado nos estudos da morfologia urbana e das condições térmicas microclimáticas urbanas. O cânion urbano é definido pelo espaço urbano aberto da via formada entre as edificações adjacentes justapostas lateralmente dos dois lados da via. Quando há um grande comprimento de via em que se justapõem as edificações e há grande altura dos edifícios e proximidade lateral entre os mesmos, a forma da cidade pode e assemelhar a um cânion natural, de onde deriva o nome dessa formação urbana. Quanto mais altas as edificações e/ou quando mais próximas entre si, frontalmente ou lateralmente, mais intenso é o aspecto de cânion urbano. As qualidades geométricas dos cânions urbanos podem ser avaliadas por diversos índices a serem estudados mais adiante neste trabalho e há efeitos já comprovados dos

clima tropical quente e úmido. Sharmin, Steemers e Matzarakis (2017) revelaram em trabalhos de campo que, em Dacca, por exemplo, formas urbanas heterogêneas e diversificadas ofereceram espaços urbanos abertos com temperaturas do ar mais frias em comparação com áreas com forma mais regular. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Por esta razão, a concepção urbana adequada pode ajudar a promover condições climáticas favoráveis, mas as frequentes inadequações das áreas urbanas ajudam a maximizar os efeitos negativos das ilhas de calor e dos demais fenômenos de aquecimento urbano. Por esta razão, há uma grande necessidade de considerar a lógica do microclima urbano⁷ para a obtenção de diretrizes ao planejamento urbano. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

Para tal, esta pesquisa, através dos estudos da relação da morfologia urbana com as condições térmicas dos espaços urbanos abertos, contribui para o entendimento da formação do microclima urbano, averiguando como as variáveis do microclima urbano podem ser afetadas com a variação da geometria da cidade.

O objetivo é investigar os potenciais impactos de diferentes soluções de composições morfológicas urbanas nas condições microclimáticas de áreas urbanas consolidadas em dias quentes a partir do exemplo de modelos representativos de áreas reais da cidade de São Paulo. Os resultados permitem a análise comparativa das variáveis microclimáticas frente às características da ocupação urbana.

mesmos na circulação de ventos (GARTLAND, 2010), nas condições de insolação e sombreamento dos espaços e dos edifícios (DUARTE, 2015), na reverberação do ruído (NOVAES, 2013), nas emissões de radiação de onda longa pelos edifícios à noite (OKE, 2002), nas ilhas de calor urbanas (NAKATA-OSAKI, SOUZA e RODRIGUES, 2016), etc.

⁷ *“Um microclima é definido como qualquer área em que o clima é diferente da área ao seu redor. Os microclimas ocorrem naturalmente e podem ser bem pequenos. Mas eles também podem ser extensos. Por exemplo, uma cidade cria seus próprios padrões climáticos e quanto maior for a área, mais significativos serão os microclimas. Um microclima urbano extenso pode afetar não só as temperaturas como também as chuvas, neves, pressão do ar e vento.” (URBAN HUB, 2019)*

1.2. QUESTÃO CENTRAL DA PESQUISA

A questão central da pesquisa é a investigação dos impactos que diferentes composições morfológicas urbanas de áreas consolidadas de São Paulo podem ocasionar sobre as condições microclimáticas locais ao longo de dias quentes, percebidas na escala do pedestre.

1.3. OBJETIVO

A partir da questão central, o objetivo deste projeto de pesquisa é investigar os potenciais impactos de diferentes soluções de composições morfológicas urbanas – isto é, diferentes formas, distribuições espaciais e geometrias do espaço urbano, compostas pelas distribuições, formas, portes, alturas, concentrações e relações dos conjuntos de edificações no ambiente da cidade – nas condições microclimáticas de áreas urbanas consolidadas em dias quentes, através da análise comparativa de simulações das condições térmicas percebidas na escala do pedestre de espaços urbanos abertos representativos de distritos reais da cidade de São Paulo, com uso do *software* ENVI-met, calibrado a partir de medições empíricas de campo de variáveis microclimáticas em um ambiente existente da cidade.

1.4. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para poder investigar os impactos da morfologia urbana nas condições térmicas locais dos espaços urbanos abertos, a metodologia do trabalho se concentra na análise comparativa dos resultados das simulações computacionais de cinco modelos representativos de distritos de São Paulo. As simulações foram realizadas com o *software* ENVI-met, cujos algoritmos de cálculo consideram princípios de termodinâmica para o cálculo do balanço térmico em cada ponto do modelo a cada segundo de simulação e princípios de mecânica dos fluídos para estudar a movimentação do ar e seus efeitos nas condições térmicas locais.

Os modelos de simulação representam bairros predominantemente residenciais ou de uso misto da cidade de São Paulo, com formação urbana consolidada e qualificada, no centro expandido da cidade. Estes cinco modelos possuem aspectos de morfologia urbana que variam entre diferentes formas de disposição espacial, dimensões, alturas e tipologias das edificações e das vias. São modelos que representam áreas do Mirandópolis, do Ipiranga, de Moema, do Itaim Bibi e da República, em ordem do bairro menos verticalizado e adensado construtivamente para o mais verticalizado e adensado construtivamente.

Estes bairros foram caracterizados por diversos aspectos qualitativos (distribuições, aspectos e condições dos edifícios, das vias, das superfícies, dos materiais de superfícies e dos edifícios, etc.) e por diversos fatores numéricos quantitativos que representam a realidade do espaço urbano (taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, volumetria construída, área de ocupação, área construída, alturas das edificações, larguras das vias, fatores de relação entre alturas das edificações e alturas das vias, fator de visão de céu, etc.).

O modelo climático utilizado nas simulações foi, então, calibrado a partir do arquivo climático histórico da cidade de São Paulo (do Aeroporto de Congonhas) e pelo *input* de dados estudados de medições empíricas de campo realizadas na localização de um dos cinco modelos de medição (Mirandópolis). Em um ponto localizado na cobertura de um sobrado no bairro, no ponto central do modelo de simulação, foram realizadas medições de variáveis térmicas microclimáticas ao longo de 40 dias entre os meses de Dezembro de 2018 e Janeiro de 2019.

Os materiais e as metodologias específicas utilizadas nas medições e nas simulações são explicados nos capítulos específicos deste trabalho: 5. Material e Metodologia e 7. Material e Metodologia.

1.5. JUSTIFICATIVA

A opção por diferentes composições morfológicas urbanas, isto é, a opção por diferentes modelos de forma, distribuição, afastamento e altura das edificações aliados à forma e à largura das vias, impacta nas características e na ambiência dos edifícios e do espaço externo da cidade, sendo que o modelo de desenvolvimento urbano adotado é determinante

para as condições de insolação, ventilação e iluminação natural dos ambientes urbanos abertos e das edificações. Por exemplo, a relação entre altura, dimensão dos edifícios e distância entre edificações dita as condições de sombreamento de uma edificação sobre outra e sobre a rua, além das condições da reflexão de radiação solar, da formação de cânions urbanos, das áreas de baixa e alta pressão de ventos, etc.

Se, por um lado, o desenho urbano é capaz de influir diretamente na qualidade ambiental do espaço urbano aberto, nas condições de conforto e desconforto sentidas pelo pedestre na cidade a partir da modulação das condições microclimáticas locais, por outro lado, é também capaz de influir de forma direta também no consumo de energia das edificações para fins de climatização e iluminação, uma vez que a morfologia urbana pode ser capaz de criar ambientes mais ou menos ventilados, com maiores ou menores temperaturas, mais ou menos iluminados, mais ou menos insolados, etc.

A morfologia urbana é ainda capaz de contribuir para os fenômenos de aquecimento urbano, eventualidades de aumento das temperaturas médias, máximas e/ou mínimas nos ambientes das cidades. As ilhas de calor são exemplos emblemáticos de fenômenos de aquecimento urbano, sendo eventos tipicamente noturnos com o aumento das temperaturas médias e mínimas em função da liberação de calor acumulado nos diferentes materiais e superfícies que compõem a cidade, com destaque especial ao concreto e ao asfalto, cujo papel é um dos mais relevantes na formação de ilhas de calor. Neste caso, a morfologia da cidade pode auxiliar no aumento ou na redução dos ganhos de calor no período diurno, da reflexão e do acúmulo do calor ao longo do dia e da perda de calor durante o período noturno.

Ao mesmo tempo, a morfologia da cidade, isto é, o conjunto de características geométricas e volumétricas dos edifícios, pode alterar o ciclo dos ventos, criando zonas de alta e de baixa pressão, canalizando-os, aumentando ou reduzindo suas velocidades, alterando suas direções. Pode também ocasionar zonas com maiores ou menores incidências de radiação solar direta ou radiação refletida, bem como criar zonas de sombreamento, tanto no nível dos pedestres quanto nas fachadas e coberturas dos edifícios.

A geometria da cidade pode, portanto, ajudar a impactar no microclima da cidade e nas condições térmicas dos espaços urbanos abertos, incidindo diretamente sobre o conforto

térmico do pedestre e do transeunte na cidade e sobre as condições de climatização – natural e artificial – dos ambientes abertos e dos edifícios. Diferentes formas urbanas levam a diferentes condições microclimáticas com diferentes situações de conforto para os pedestres. (TALEGHANI, KLEEREKOPER, et al., 2015)

Muitas pesquisas, nacionais e internacionais, se debruçam sobre os efeitos e impactos de outras características das cidades sobre o microclima urbano e sobre as condições térmicas locais (CHEN e NG, 2011), como, por exemplo: a rarefação e a ausência da vegetação nos ambientes urbanos (SHINZATO, 2014), a retirada da cobertura vegetal (DUARTE, 2015), a impermeabilização do solo (GARTLAND, 2010), o acúmulo de calor nos materiais das massas construídas e nas superfícies de asfalto e concreto das vias (BARBOSA, 2018), o impacto das cores das superfícies no acúmulo de calor de materiais construtivos e vias, entre outros.

Poucas são as pesquisas, no entanto, que focam na correlação entre a geometria urbana – a morfologia da cidade – e as condições térmicas locais (MINELLA e KRÜGER, 2015), isto é, o impacto da geometria no balanço térmico do meio urbano e nos fluxos aerodinâmicos entre a cidade (BARBOSA, 2018), resultando em potenciais efeitos no resultado térmico experimentado na cidade (ASSIS, 2005). Algumas pesquisas mais recentes começam a surgir neste sentido, no cenário acadêmico mundial e, mais recentemente, no meio científico brasileiro (MINELLA, HONJO e KRÜGER, 2012).

Alguns exemplos podem ser: ASSIS, 2005; ASSIS, 2000; BARBOSA, 2018; BRANDÃO, 2019; BROWN e GILLEPSIE, 1995; GUSSON, 2014; JOHANSSON e EMMANUEL, 2006; KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011; MINELLA. E KRÜGER, 2015. Os resultados encontrados mostram que existe correlação entre a morfologia da cidade e o microclima da mesma, especialmente em função da densidade construída e da distribuição de alturas dos edifícios e de seus espaçamentos. Em pesquisas já realizadas, foi comprovado que a geometria dos cânions urbanos desempenha um papel fundamental na determinação do efeito da ilha de calor e no conforto térmico nas ruas. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

De acordo com Sharmin, Steemers e Matzarakis (2017), a diversidade na geometria urbana pode criar variações significativas nas condições microclimáticas, o que é ainda mais visível em um contexto tropical quente e úmido, como é o caso de grande parte das maiores

ocupações urbanas brasileiras, incluindo São Paulo. Por exemplo, os cânions urbanos mais profundos com edifícios de alturas variáveis podem ter um melhor desempenho térmico do que os cânions mais uniformes ou regiões com edificações mais baixas. Isto porque os edifícios mais altos ajudam a reduzir o ganho solar e aumentar a Velocidade do Ar (Vento) no nível dos pedestres. Como mencionado anteriormente, estudos de campo em Daca, Bangladesh, compararam formas urbanas irregulares com áreas regulares, conforme a Figura 1, e revelaram diferenças médias de Temperatura do Ar (Tar) de 3,3°C, e chegando a uma diferença máxima de 6,2°C, entre os modelos. A Temperatura Radiante Média (TRM)⁸, por sua vez, teve registrada uma diferença que chegou a 10,0°C. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Figura 1 - Modelos de disposições espaciais urbanas (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Em outro exemplo, em estudos realizados em Delft, na Holanda, uma comparação entre cinco diferentes modelos de geometria urbana, conforme Figura 2, e seus resultados de conforto térmico ao ar livre pode gerar diretrizes claras para paisagistas e urbanistas que desejam criar ambientes ao ar livre termicamente confortáveis, uma vez que as principais formas urbanas estudadas proporcionam diferentes situações microclimáticas. Foi verificado que, entre diferentes parâmetros que afetam o conforto térmico ao ar livre, a Temperatura

⁸ Temperatura Radiante Média é a “Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme.” (LAMBERTS, 2016) “A Temperatura Radiante Média é a temperatura média à superfície dos elementos que envolvem um espaço. Influencia tanto o calor perdido através da radiação do corpo como a perda de calor por condução (...)” (DRYVIT, 2007)

Radiante Média e a Velocidade do Ar (Vento) são mais influenciadas pela geometria urbana. (TALEGHANI, KLEEREKOPER, *et al.*, 2015)

Figura 2 - Modelos com diferentes aspectos morfológicos (TALEGHANI, KLEEREKOPER, *et al.*, 2015)

Em ainda mais um exemplo, um estudo em Colombo, no Sri Lanka, conforme exemplos da Figura 3 e da Figura 4, foi verificado em pesquisas de campo que as condições mais confortáveis encontradas foram em ruas estreitas com prédios altos, especialmente aquelas com sombreamento de árvores, bem como em áreas próximas ao mar, onde a brisa litorânea teve um efeito positivo. A fim de melhorar o conforto ao ar livre em Colombo, os autores

sugerem uma forma urbana mais compacta com cânions mais profundos e sombreamento adicional através do uso de árvores, passarelas cobertas, galerias de pedestres, etc. (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006)

Figura 3 - Modelos de morfologias urbanas distintas na pesquisa (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006)

Figura 4 - Modelos de morfologias urbanas distintas na pesquisa (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006)

Conforme é explorado ao longo deste trabalho, alguns outros estudos têm sido desenvolvidos ao longo dos últimos anos investigando os impactos e as correlações entre a forma urbana e o microclima urbano (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011), trazendo conclusões acerca dos efeitos das diferentes profundidades de cânions urbanos (SHASHUA-BAR, TZAMIR e HOFFMAN, 2004), da homogeneidade ou heterogeneidade das alturas de edificações (GARTLAND, 2010), das orientações das vias em relação ao norte (GUSSON, 2014), às dimensões dos edifícios em planta e relações de altura e largura entre edifícios e vias (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017), dos aspectos de recuos laterais e frontais e distâncias entre edificações (MINELLA e KRÜGER, 2015), etc.

Todos os aspectos morfológicos da cidade são estudados a fim de compreender seus efeitos sobre as condições microclimáticas locais e há um esforço de caracterização qualitativa e quantitativa sobre esta questão. O que os estudos deixam claro é que os resultados podem variar, não só com a tipologia da cidade construída, mas também de acordo com o clima local, isto é, climas quentes e úmidos, como é o caso do clima de São Paulo, podem responder às formas urbanas de formas diferenciadas com relação a climas mais frios, ou mais áridos, ou mais chuvosos, etc.

Há ainda uma grande preocupação com o cenário climático no futuro de médio e longo prazos (IPCC, 2013). Vivenciamos hoje, em escala global, o aumento da temperatura média global, e, como aponta a WWF (2019), são as mais variadas as consequências do aquecimento global e muitas delas já podem ser percebidas em diferentes partes do globo.

Muitos estudos (IPCC, 2014) já comprovaram que há uma previsão de aumento das temperaturas médias mundiais e um aumento da frequência de eventos extremos climáticos (tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, seca, nevascas, furacões, tornados e tsunamis). (WWF BRASIL, 2019)

Neste cenário, o aquecimento ocasionado pela mudança climática global se soma aos fenômenos de aquecimento urbano locais. Portanto, estudar e compreender formas de planejamento e expansão das cidades de forma a conter o avanço das temperaturas e melhorar as condições microclimáticas para os habitantes se torna relevante. A partir dos resultados deste trabalho, é possível contribuir para estudos de diretrizes de planejamento para a

construção e para a transformação das cidades, a fim de trazer um maior desempenho microclimático local, com melhores condições de conforto aos habitantes.

1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A metodologia deste trabalho mescla o estudo teórico e bibliográfico com o levantamento de dados empíricos a partir de medições de campo de variáveis da ambiência térmica microclimática de ambientes reais da cidade e da simulação computacional da ambiência térmica de diferentes modelos representativos de tipologias típicas de assentamentos urbanos de áreas consolidadas do centro expandido de São Paulo.

A **SEÇÃO I: PROCESSO DE PESQUISA** contempla os principais objetivos do trabalho e as principais referências da atualidade com as quais este projeto dialoga.

A **SEÇÃO II: TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO NO MEIO URBANO**, por sua vez, traz uma extensa revisão bibliográfica que fornece o embasamento teórico deste projeto. Houve um grande aprofundamento acerca das condições de relação entre morfologia urbana, densidade construída e condição microclimática do espaço da cidade.

As principais temáticas aprofundadas por meio de pesquisa foram as definições de conforto ambiental urbano e teorias acerca do conforto térmico no espaço urbano aberto, junto às principais variáveis e aspectos do espaço urbano que possam impactar nas condições microclimáticas locais e na percepção de conforto, além de definições sobre fenômenos de aquecimento urbano, seus principais fatores e consequências e, em especial, suas correlações com os aspectos tipológicos e morfológicos das cidades.

A **SEÇÃO III: MEDIÇÕES EMPÍRICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO** descreve o processo de planejamento, execução e análise das medições empíricas de condições térmicas microclimáticas em ambiente real da cidade de São Paulo, junto aos métodos, materiais e equipamentos utilizados e também à seleção e avaliação de dados para alimentar as simulações computacionais dos modelos analisados neste projeto.

A **SEÇÃO IV: SIMULAÇÕES TERMODINÂMICAS** detalha, então, o processo de simulação dos modelos representativos da cidade de São Paulo para a avaliação final deste trabalho. Uma revisão bibliográfica foi realizada focando artigos e publicações recentes no Brasil e no mundo de trabalhos que utilizaram metodologias similares de pesquisa mesclando as simulações de condições térmicas microclimáticas com o ENVI-met e medições empíricas e/ou de trabalhos acadêmicos que visaram o estudo comparativo dos efeitos e correlações da geometria urbana e da condição térmica local, além de explorar, os principais aspectos e características do *software* ENVI-met, suas condições de uso, motores de cálculo e equações, variáveis, pontos fortes e de atenção.

Após trabalhar o processo de escolha, elaboração e processamento dos modelos de simulação, a **SEÇÃO V: RESULTADOS E CONCLUSÕES** explora e analisa os resultados obtidos nas simulações, bem como elucida as conclusões deste trabalho e os possíveis desdobramentos futuros desta pesquisa.

SEÇÃO II: TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO NO MEIO URBANO

2. CONFORTO AMBIENTAL NO MEIO URBANO

“(...) Conforto, portanto, é de fato consolo, e isto não restringe, senão abre o campo do conforto ambiental, a ponto de impor-lhe a interdisciplinaridade como única alternativa de sobrevivência.” (SCHMID, 2005)

Atualmente há muitas pesquisas dedicadas ao estudo do conceito de conforto ambiental e é possível ver que, no geral, não somente os projetos de arquitetura passaram a se atentar a esse tema, mas também os usuários dos edifícios e outros espaços construídos e, inclusive, aqueles que fazem do conforto um argumento de venda. A relação direta entre as condições ambientais e o conforto bem como a satisfação dos usuários tem sido tema de diversas pesquisas ao redor do mundo nos últimos anos, tais como os textos e estudos de Nicol e Humphreys (2012), Givoni (2007), Nikolopoulou (2004), ASHRAE (1997), Monteiro (2008), Monteiro (2018), etc., alguns dos quais foram utilizados como base para este estudo.

No entanto, o entendimento do que é o conforto ambiental ainda gera dificuldades, pois muitas vezes é difícil identificar todos os seus componentes e ponderar suas importâncias na percepção do espaço. De certa forma, nota-se pela literatura que é muito mais difícil definir o que é conforto do que desconforto, e esta é a razão pela qual, no modelo atual, em grande parte dos projetos, buscamos conforto pela prevenção do desconforto. (SCHMID, 2005)

A evolução do pensamento das condições de conforto e desconforto tem se sobressaído na arquitetura, tornando-se questão de higiene, salubridade e saúde pública. (NOVAES, 2012) De acordo com Virílio (1993), a inserção do conforto ambiental em projetos de arquitetura e de urbanismo remete ao questionamento da própria definição de conforto ambiental, que é caracterizado como uma percepção individual do espaço, influenciada por valores de conveniência, adequação, expressividade, comodidade e prazer. (VIRILIO, 1993)

A definição de conforto é uma questão controversa, mas de imensa importância para a construção de edifícios e cidades. Ao analisar como o conforto é entendido em diferentes disciplinas de projeto e linhas de pesquisa, é possível notar que interpretações de conforto são particulares e estão nos projetos. (CHAPPELLS e SHOVE, 2004)

Em muitos momentos a definição de conforto, dada a amplitude do conceito e a grande gama de variáveis incidentes, acaba sendo feita de forma generalista e pouco aprofundada. Não só é comum definir qualitativa ou quantitativamente o conforto como a prevenção do desconforto, mas também é comum que as diversas especialidades de projeto e pesquisa associadas à percepção ambiental do espaço (térmica, acústica, iluminação natural, iluminação artificial, antropometria e ergonomia, etc.) sejam tratadas e aprofundadas somente de forma isolada, enquanto que a percepção humana do espaço sempre incorre na assimilação integrada de todas as variáveis simultaneamente. (LUIZ, NOVAES, *et al.*, 2019)

Segundo a ASHRAE (1997), o conforto é um estado de espírito do usuário que se mostra satisfeito com o ambiente à sua volta, e estudos como o de Schmid (2005) trazem a relação entre as variáveis ambientais e as questões subjetivas do conforto. A tolerância pessoal, por exemplo, pode variar de acordo com estado emocional, gênero, tamanho, peso, idade, local de residência, etc. Por isso, o conforto é definido pela interdisciplinaridade e é muito difícil identificar seus componentes e lhes atribuir pesos. (SCHMID, 2005)

É importante observar que a percepção do espaço é um fator subjetivo que pode ser decisivo para a escolha do usuário por um espaço em detrimento de outro. O conforto do usuário se caracteriza por uma complexa relação de fatores ambientais, sociais, psicológicos e culturais que devem ser lidos em comunhão. (LUIZ, NOVAES, *et al.*, 2019)

Assim, o conforto é um fenômeno altamente complexo e diversificado, cujo significado depende do contexto social em que é definido. Questões de estilo de vida, convenção e conveniência influenciam as expectativas de conforto, e a tolerância subjetiva às condições ambientais, e as estratégias de termorregulação do corpo. (CHAPPELLS e SHOVE, 2004)

Já é fato consumado que o conforto é um estado geral do usuário, que leva em conta todas as condições do ambiente que o cerca, tanto térmicas e acústicas quanto lumínicas, olfativas e ergonômicas, além das condições do corpo, da mente, do humor e preferências pessoais. As condições do caminhar do pedestre pela cidade, no entanto, ainda carecem de atenção, pois, pela falta de estudos, o ambiente urbano, muitas vezes, tem se mostrado incompatível com o conforto daquele atravessa e vivencia a cidade. (NOVAES, 2012)

A densidade e altura das construções criam ambientes que favorecem variados efeitos dos cânions urbanos, como mascaramento do céu, criação de corredores de vento, alteração da insolação da rua e dos edifícios vizinhos, etc. A retirada da vegetação e o uso demasiado do asfalto e do concreto ocasionam mudanças de temperatura e acúmulo de calor em uma condição microclimática já impactada ainda pelas decorrências climáticas das grandes massas urbanas, como inversão térmica e ilhas de calor. (NOVAES, 2013) Mas, em algum momento do dia todos nós somos pedestres, e, dessa maneira, todos estaremos expostos a essas adversas condições em alguma situação e é por este motivo que a condição do pedestre na cidade e o ambiente de nossas ruas devem ser estudados de maneira meticulosa. (NOVAES, 2015)

Muitas vezes, as características dos passeios não levam em conta as principais necessidades dos pedestres. São comuns ruas sem calçadas ou cujas calçadas tenham seu uso prejudicado ou inviabilizado por rampas de automóveis, dimensões insuficientes, mobiliário urbano danificado ou inexistente, condições ambientais adversas, como ruído e insolação excessivos, corredores de vento, falta de iluminação durante a noite, ofuscamento durante o dia, altas temperaturas, baixa qualidade de espaços construídos, carência ou ausência de áreas verdes, condições insatisfatórias de acessibilidade e mobilidade, etc. Neste sentido, compreender as diferentes formas de percepção que um pedestre pode ter do espaço público e como as diferentes condições ambientais podem criar percepções do ambiente urbano é fundamental para o desenho de uma cidade mais saudável. (LUIZ, NOVAES, *et al.*, 2019)

Todavia, cada pedestre possui uma percepção diferente do espaço urbano, englobando não só as variáveis e interferências do espaço físico, mas também fatores subjetivos, psicológicos, ambientais e físicos (SCHMID, 2005). E, como a abordagem do conforto no projeto é, normalmente, fixada nos aspectos físicos do espaço, outros aspectos do conforto podem ser negligenciados, como os aspectos pessoais e subjetivos associados à percepção do espaço. E é por esta razão que a definição clara do que é conforto é tão relevante.

Com uma abordagem bastante ampla, FREITAS (2005), a partir de estudos de campo no município de Recife em 2004, entrevistou uma série de moradores de diversas regiões da cidade em diversas condições sociais e econômicas, a fim de investigar o que estas pessoas entenderiam por conforto. Partindo da definição da própria palavra ao que as pessoas

entendem por este conceito, o autor traz uma concepção de conforto propositalmente larga e aberta, não só na arquitetura, mas principalmente no urbanismo. (FREITAS, 2005)

De acordo com o autor, na arquitetura são privilegiadas as necessidades fisiológicas, psicológicas, sociais ou econômicas do indivíduo, mas na área urbana, é comum pensar o conforto de forma mais ampla, com menos foco no indivíduo, mas sim no coletivo. Em seus estudos, afirma-se que a maioria identifica o conforto como sendo um estado de bem-estar, porém, diversas outras referências foram feitas ao conforto enquanto matéria, espaço, atividade e serviços. (FREITAS, 2005)

Em sinergia com este estudo, para acomodar o tráfego de pedestres e atividades externas e contribuir para as condições de vida da cidade, no contexto global de mudanças climáticas, os espaços externos que proporcionam uma experiência de conforto térmico aos pedestres melhoram de forma eficaz a qualidade de vida na cidade. Ao contrário de passageiros de veículos de carros ou ônibus, os pedestres em deslocamento pela cidade são expostos diretamente ao meio ambiente imediato em termos de insolação e sombreamento, variações no vento e outros fatores. (CHEN e NG, 2011).

Em trabalhos realizados no âmbito do LABAUT – FAU USP entre os anos de 2011 e 2015⁹, concluiu-se que o conforto do pedestre em São Paulo é composto principalmente pelo conforto térmico, e em especial as sensações que se tem com a radiação incidente, e para tal, o melhor fator térmico ambiental mensurável capaz de auxiliar na predição do conforto do pedestre é a Temperatura de Globo. (NOVAES, 2015)

Concluiu-se, nestes trabalhos, que uma rua considerada confortável deve oferecer soluções para criar áreas expostas ao céu e espaços sombreados e deve permitir a circulação de ar para remoção de poluição e calor. (LUIZ e NOVAES, 2017) Além disso, evidenciou-se que, especificamente no caso da cidade de São Paulo, o conforto térmico é o mais relevante na

⁹ *Projetos de iniciação científica: “Estresse e Conforto Acústico do Pedestre em São Paulo” (NOVAES, 2012), orientado pela Profa. Dra. Marcia Peinado Alucci, “Estresse e Conforto Urbano do Pedestre em São Paulo – Térmica e Acústica” (NOVAES, 2013) e “Conforto Termoaústico do Pedestre em São Paulo e Influência de Outras Variáveis Ambientais” (NOVAES, 2015), orientados pelo Prof. Dr. Leonardo M. Monteiro, financiadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).*

percepção ambiental do transeunte, sendo que a exposição à radiação solar é extremamente incisiva, um dos fatores mais relevantes, sobre o conforto geral do usuário do espaço urbano aberto. (NOVAES, 2013)

Infelizmente, o conforto ambiental como um todo, frequentemente ainda não é contemplado na avaliação e no projeto do espaço urbano. Mesmo nas abordagens especializadas vemos que muitos trabalhos ou focam em térmica, ou focam em acústica, ou em iluminação, ou acessibilidade, etc. Assim, no caso da arquitetura, a análise ergonômica foi reduzida a um estudo meramente dimensional, sem, no entanto, levar em conta os fatores subjetivos, psicológicos e demais variáveis ambientais. (LUIZ, NOVAES, *et al.*, 2019)

Um dos pontos evidenciados, ainda, foi que tanto a percepção do espaço pela pessoa quanto a formação das variáveis térmicas que compõem a ambiência percebida se mostram fortemente influenciadas pelas características do espaço, enquanto geometrias e volumes de edificações e outros elementos construtivos, materiais de superfícies, coberturas vegetais e arbóreas, etc.

A morfologia urbana local se caracteriza pela densidade construtiva, pelas dimensões e alturas das edificações e distâncias entre as mesmas, disposição, distribuição, organização e orientação das edificações nos espaços da cidade, relação entre edifício e espaço aberto, e ocupação do próprio espaço aberto no meio urbano. Este aspecto do desenho urbano traz inúmeras consequências às condições ambientais dos espaços da cidade e, por consequência, altera o meio ambiente do espaço urbano experimentado pelo pedestre.

Como afirma Santos (2004), o processo de urbanização é capaz de alterar as condições microclimáticas do meio urbano, incluindo temperatura, umidade, vento e precipitações, e com isso, a própria ambiência térmica da cidade e as condições de conforto dos pedestres. Neste sentido, o desenho físico da cidade pode ter fortes repercussões nas condições climáticas e microclimáticas locais. (SANTOS, 2004)

Os aspectos da morfologia da cidade têm, portanto, o potencial de impactar drasticamente nas condições de incidência de radiação solar, ventilação e iluminação dos espaços da cidade, sendo que o conjunto das massas edificadas definem com em quais períodos a via entre os edifícios irá receber insolação direta, bem como impactam na formação

dos ventos, podendo bloqueá-los, canalizá-los ou mesmo criar zonas de turbulência. Impactam ainda nas condições de iluminação natural – além da insolação – das vias no nível do solo através do mascaramento da visão de céu a partir da referência de quem se encontra na rua, e, por fim, junto à retirada da vegetação e ao uso demasiado do asfalto e do concreto, ocasionam mudanças de temperatura e acúmulo de calor que contribuem para os fenômenos de aquecimento urbano, por exemplo decorrências como a inversão térmica e as ilhas de calor.

Em seu trabalho, Duarte (2015) disserta acerca dos fenômenos de aquecimento urbano e as diversas variáveis envolvidas em todos os processos de aquecimento. Atualmente, além dos processos de aquecimento climáticos, vivenciamos muitas dificuldades de desenvolvimento urbano que ocasionam o desconforto no meio urbanos.

A adaptação às novas condições climáticas envolve uma sequência de decisões em diversas esferas e níveis da sociedade, incluindo as estruturas de governo em todos os seus níveis. Esse é um processo complexo que pode envolver a criação de leis e regulamentações e ações práticas, por meio de projetos e intervenções urbanas. Estas ações devem levar em conta os principais aspectos mais relevantes para a adaptação climática da cidade e sua resiliência. (DUARTE, 2015)

De maneira sinérgica, Gusson (2014), resume alguns dos impactos e causas para as alterações microclimáticas provocados pela morfologia urbana, afirmando que, dentre as razões para as alterações no clima provocadas pela urbanização, estão o armazenamento de calor, o aprisionamento da radiação, o aumento da rugosidade e menor evaporação, fenômenos que são vistos em qualquer cidade do mundo, em menor ou maior grau, mas que são mais evidentes em megacidades densamente construídas. (GUSSON, 2014)

A orientação e a disposição dos edifícios nas cidades são uma função direta da orientação e disposição do traçado do sistema viário urbano. No entanto, o ideal é que se considere também os aspectos climáticos, tanto no traçado do sistema viário, quanto no traçado e disposição dos edifícios, para melhores condições de conforto. (SANTOS, 2004)

Por exemplo, para edifícios de mesmo volume, as soluções em que os edifícios sejam mais altos e menores em planta, com maior espaçamento entre si pode ser uma estratégia para melhorar o acesso ao sol no nível da rua e nos pavimentos inferiores das edificações, se

compararmos com uma solução diferente em que, para o mesmo volume, são utilizados edifícios maiores em planta e menores em altura. Muitas cidades asiáticas, por exemplo, estão revendo os seus critérios urbanísticos, pois muitos edifícios residenciais estão sendo construídos com coeficientes de aproveitamento e taxas de ocupação muito grandes, o que leva a edifícios muito altos construídos muito próximos uns dos outros. (GUSSON, 2014)

Por isso, ainda segundo o autor, o desenho da geometria física da cidade é essencial para a minimização de repercussões microclimáticas negativas, o que pode incluir medidas associadas à configuração geométrica dos edifícios, mas também das propriedades dos materiais de construção, das cores das superfícies exteriores, da extensão e da densidade da área construída, das condições de sombra nas ruas e estacionamentos e da distribuição das áreas verdes. Isto justifica a grande importância do planejamento das cidades com parâmetros adequados de verticalização e ocupação do solo, considerando os aspectos que possam interferir nas condições térmicas do ambiente urbano. (SANTOS, 2004)

Através dos ganchos deixados por Santos (2004) e Gusson (2014), é fácil visualizar que a morfologia e a tipologia urbanas adotadas exercerão influências diretas sobre o conforto ambiental dos ocupantes de espaços urbanos abertos, sobre sua percepção do meio ambiente urbano do entorno imediato.

Observando somente pela vertente do Conforto Térmico e da ambiência térmica do espaço urbano aberto, uma série de estudos foram elaborados mundo afora desde o final dos anos 1990, e foram se complementando em um movimento evolutivo na compreensão do conforto térmico do pedestre.

Nesse sentido, o desenho e o arranjo de ruas, espaços abertos e públicos nas cidades é um dos principais papéis de arquitetos e urbanistas, e é essencial a compreensão dos aspectos da qualidade das configurações urbanas e seus impactos no bem-estar espacial, social e psicológico do indivíduo. (RADFAR, 2011)

O desenvolvimento urbano mais coerente, ambientalmente correto e, principalmente, focado no bem-estar e conforto dos usuários, começa a chamar a atenção dos gestores públicos, empresas e profissionais ligados à arquitetura e urbanismo e aos sistemas de implantação, gestão e operação dos diversos sistemas urbanos.

Ferramentas e medidas urbanísticas devem se apresentar sob a forma de parâmetros urbanos e regulamentações que dão diretrizes à geometria e à morfologia urbana, as dimensões e disposições de edificações, as dimensões das ruas e calçadas, os traçados de vias e os desenhos de cruzamentos, o planejamento de uso e ocupação do solo, regulamentações construtivas para edificações, presença e densidade de vegetação, tipos de materiais e superfícies, funcionamento de sistemas urbanos, serviços e equipamentos, criação de redes de dados e interação entre cidades e cidadãos, obras de mobilidade e transporte, e muitas outras possíveis soluções urbanas que compõem os projetos de intervenção.

Mas questiona-se quais os melhores desenhos e arranjos de morfologia e tipologia de cidade que podem oferecer estas condições e quais os parâmetros técnicos do desenho urbano que levam ao conforto, uma vez que microclimas têm efetivamente uma significativa influência sobre o uso dos espaços abertos nas cidades. Temperatura, radiação solar e Velocidade do Ar (Vento) se mostram como os fatores mais significativos. Desta forma, compreender a relação entre forma edificada, sensação térmica e comportamento humano é necessário para prover diretrizes e implicações no desenho urbano e nas práticas de planejamento. (CHEN e NG, 2011)

É enfática a relevância de se compreender o efeito da morfologia da cidade sobre o microclima formado localmente e, por consequência, sobre o conforto ambiental percebido pelo ocupante, ao passo de que, na existência de tantas possíveis formas de aglomerações urbanas, uma série de perfis de espaços urbanos podem ser traçados, correlacionando o ambiente construído e influência climática local, à ambiência microclimática em cada uma das morfologias e tipologias que é efetivamente medida e percebida, o que ainda é um foco bastante incipiente e com poucos resultados práticos efetivos.

Este tipo de pesquisa poderá gerar relevantes melhorias no processo de planejamento de nossas cidades e parametrização de novas construções e ocupação dos espaços urbanos abertos, como alguns casos já existentes de aplicação de conceitos ambientais em códigos de zoneamento. Urbanistas, para projetar os espaços urbanos que são desejáveis e confortáveis, poderão estar melhor informados se tiverem à disposição uma ferramenta preditiva que permite analisar várias alternativas de desenho a serem comparadas e testadas em termos de atratividade e eficácia. (CHEN e NG, 2011)

Assim, é por essa razão que este trabalho se propôs a investigar os potenciais impactos de diferentes tipologias de formações morfológicas presentes em assentamentos de áreas urbanas consolidadas nas condições microclimáticas locais em dias quentes, isto é, em suas manifestações térmicas compreendidas por meio das variáveis microclimáticas no ambiente e do índice de conforto térmico para ambientes externos.

3. CONFORTO TÉRMICO E VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NO MEIO URBANO

“O conforto térmico é aquela condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico. Uma vez que existem grandes variações, fisiologicamente e psicologicamente, de pessoa para pessoa, é difícil satisfazer a todos em um espaço. As condições ambientais necessárias para o conforto não são iguais para todos. (...) Existem seis fatores principais que devem ser abordados quando definindo condições para o conforto térmico. Vários outros, fatores secundários afetam o conforto em algumas circunstâncias. Os seis fatores principais estão listados abaixo: Taxa metabólica, Isolamento de roupas, Temperatura do Ar, Temperatura radiante, Velocidade do Ar e Umidade (...)” (ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC., 2004)¹⁰

Temos o costume de associar o conforto térmico diretamente à Temperatura do Ar, o que não é completamente verdadeiro. Uma série de variáveis, de natureza microclimática afetam nosso dia a dia, determinando as condições de percepção do espaço pelo pedestre e, conseqüentemente, de seu conforto. A Temperatura do Ar por si só, não é um indicador do conforto térmico, que depende da conjuntura da temperatura, da umidade, do vento e da exposição à radiação.

As principais variáveis microclimáticas incidentes sobre o conforto térmico do pedestre no meio urbano são: incidência de radiação direta e refletida de outras fontes (o que podemos aferir através da Temperatura de Globo e da Temperatura Radiante Média), incidência de radiação solar direta, precipitação, Temperatura do Ar, Umidade do Ar e Velocidade do Ar.

¹⁰ Tradução livre. Texto original: “Thermal comfort is that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment. Because there are large variations, both physiologically and psychologically, from person to person, it is difficult to satisfy everyone in a space. The environmental conditions required for comfort are not the same for everyone. (...) There are six primary factors that must be addressed when defining conditions for thermal comfort. A number of other, secondary factors affect comfort in some circumstances. The six primary factors are listed below. 1. Metabolic rate 2. Clothing insulation 3. Air temperature 4. Radiant temperature 5. Air speed 6. Humidity.” (ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC., 2004)

A interpretação e percepção dessas variáveis pode ainda variar com o indivíduo e o local. Sabe-se, por exemplo, que as condições ambientais que levam ao conforto térmico em habitantes de um determinado clima podem não ser as mesmas que levam ao conforto em outros. A partir das diferenças das variáveis climáticas, pessoais e subjetivas, como a atividade desenvolvida pelo indivíduo e sua vestimenta, podem ser proporcionadas respostas semelhantes ou até iguais em ambientes muito diferentes, ou respostas muito diferentes em ambientes semelhantes. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

A percepção da ambiência térmica urbana e de suas variáveis depende dos costumes e das preferências de cada pessoa, bem como de como estão adaptadas fisiologicamente ao clima local, isto é, de sua aclimação e à adaptação psicológica ao ambiente. Dentre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos são a oscilação diária e anual da temperatura e umidade, a quantidade de radiação solar incidente, o grau de nebulosidade do céu, a velocidade e o sentido dos ventos e os índices pluviométricos. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Destas condições apresentadas, diversos fatores são quantitativos, dependendo do clima local e das condições microclimáticas oferecidas pelo ambiente. Basicamente o clima de um local é inicialmente definido por uma série de variáveis de escala continental, tais como: latitude, altitude, maritimidade, além da posição e proximidade relativa às grandes distribuições e movimentações de massas de ar pela atmosfera, provocadas principalmente pelas variações de pressão e temperatura atmosférica ao longo do globo.

A latitude de um local é o principal determinante da quantidade de radiação solar e horas de insolação que o local recebe, e do movimento aparente do sol, ao longo do ano. De certa maneira, isto altera a quantidade de calor que esse lugar recebe, ou seja, quanto mais distante da faixa equatorial, maior a latitude e mais oblíquo é o ângulo com que o sol atinge o ponto na Terra, e assim mais extremas são as estações do ano. Além disso, de uma outra maneira, a altitude de um ponto também interfere no clima local, trazendo climas mais quentes e uniformes mais próximos ao nível do mar. A topografia acidentada e o relevo também podem alterar, direcionar ou mesmo bloquear certos movimentos de correntes de ar. (FROTA, 2004)

Alguns componentes construtivos e urbanísticos da paisagem, como os edifícios, podem se tornar obstáculos ou canalizadores aos fluxos destas variáveis, por exemplo, impactando nos fluxos de ventos, de temperaturas, de precipitação, etc. (GUSSON, 2014) Brown e Gillespie (1995) já nos traziam informações convincentes de que em ambientes externos o vento e a exposição à radiação solar são componentes que podem ser facilmente manipulados pelo projeto da paisagem, enquanto que a umidade e a Temperatura do Ar não sofrem grandes interferências com pequenas obras e mudanças, senão com a mudança contínua de toda uma região ao longo dos anos. (BROWN e GILLESPIE, 1995)

3.1. PRINCIPAIS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS DO CONFORTO TÉRMICO URBANO

3.1.1. Temperatura do Ar

A Temperatura do Ar varia diária e anualmente conforme o acúmulo de calor da própria atmosfera pela radiação solar e pela liberação do calor acumulado pelo solo e pelas massas construídas da cidade, de acordo com seus revestimentos de pisos e edifícios. (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS – INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017) A Temperatura do Ar é o principal indicador da condição microclimática local, e o principal fator para entender inicialmente a condição térmica. Os ciclos de variação da Temperatura do Ar em um determinado local são bem característicos e andam junto à variação da Umidade do Ar.

No caso específico de São Paulo, a cidade se localiza em área característica pelos climas mais quentes e úmidos, a uma curta distância da faixa litorânea, sofrendo diretamente a influência do mar, com fluxos de massas de ar quente advindos das faixas equatoriais e massas de ar frio advindas das regiões polares. Além disso, um dos fatores determinantes para o clima paulistano é a sua posição em relação ao relevo e à vegetação: a cidade se localiza nos vales do Rio Tietê e Pinheiros, a aproximadamente 750m de altitude, numa zona de relevo acidentado. Marcada antigamente como a cidade da garoa, São Paulo, hoje, tem um clima que, na maior parte do ano, não conta com extremos de temperatura, mas que mostra razoáveis

variações e amplitudes térmicas diárias e anuais. Em 2017, A maior amplitude térmica do período foi 20,6°C em 30 de agosto (mínima de 11,4°C e máxima de 32,0°C), como exemplifica o Gráfico 1. (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

Gráfico 1 - Temperaturas médias mensais de 2016 e 2017 e média histórica em São Paulo

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

Além disso, também tem apresentado ao longo dos anos, cada vez mais, extremos climáticos de temperatura em datas localizadas do ano. Vemos, por exemplo, os recordes de temperatura quebrados nos verões e primaveras de 2014, 2015, 2017, 2018, 2019. Em alguns destes anos, mesmo no período de inverno houve altas de temperatura além do comum.

Temos experimentado um aumento significativo das temperaturas médias, o que pode ser evidenciado pelo boletim do IAG/USP pelo Gráfico 2: para a temperatura média máxima vemos um aumento de cerca de 0,7°C entre 1933-1960, de cerca de 0,7°C entre 1961-1990 e de cerca de 2,1°C entre 1933-2017.

Já para a temperatura média mínima tivemos um aumento de cerca de 0,8°C entre 1933-1960, de cerca de 0,8°C entre 1961-1990 e de aproximadamente 2,4°C entre 1933-2017. (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

Gráfico 2 - Série histórica da temperatura média anual em São Paulo

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

3.1.2. Umidade do Ar

A Umidade do Ar é a quantidade de vapor de água contido em suspensão no ar, cuja capacidade de contenção de vapor varia de acordo com a temperatura. A medição da Umidade Absoluta caracteriza a quantidade de massa de vapor de água em gramas de vapor contida por quilo de ar, enquanto que a Umidade Relativa marca a quantidade de vapor de água presente no ar em comparação à quantidade máxima de água que pode ser suportada naquela determinada temperatura, em porcentagem. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Segundo Frota e Schiffer (2001), ao longo do dia, o vapor de água no ar tem maior capacidade de receber o calor solar com um menor aumento de sua temperatura do que o próprio ar, o que auxilia a amenizar a temperatura diurna. Assim, a Umidade Relativa do ar ajuda a alterar a amplitude da temperatura diária, e isto quer dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas extremas. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Enquanto isso, à noite, quando a Temperatura do Ar se torna mais baixa do que a da água, o vapor de água vai lentamente dissipando o calor acumulado, amenizando o frio noturno e homogeneizando as diferenças de temperatura entre dia e noite. São Paulo é caracterizada por um clima tipicamente úmido, porém, hoje, com quedas da umidade em especial no

inverno, como pode ser visto no Gráfico 3. Estes fenômenos configuram um dos motivos pelos quais o verão em São Paulo, em geral, não é tão acentuado quanto em outras regiões tropicais. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Gráfico 3 - Umidade Relativa média mensal em São Paulo em 2017

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

Gráfico 4 - Número de dias com Umidade Relativa abaixo de 30% em São Paulo em 2017

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

A Umidade do Ar pode interferir no clima de diversas maneiras, bem como na saúde e bem-estar das pessoas já que é determinante na atividade respiratória do corpo humano. A Umidade Relativa do ar abaixo de 30% pode ser considerada um problema suficiente para colocar o local em estado oficial de alerta de segurança. (NOVAES, 2013) O Gráfico 4 expõe os números de dias por ano em São Paulo com registro de Umidade Relativa abaixo de 30%.

3.1.3. Radiação Direta, Difusa e Refletida

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

Segundo Brown e Gillespie (1995), a radiação no ambiente urbano é discutida em dois níveis: a Radiação Solar e a Radiação Terrestre, a primeira caracterizada especificamente pela radiação emitida diretamente pelo sol, responsável pela maior quantidade de energia que recebemos, e a segunda caracterizada pela radiação emitida por objetos, edifícios, equipamentos elétricos, reflexão do solo e das diversas superfícies. (BROWN e GILLESPIE, 1995)

A radiação pode se propagar pelos mais diversos meios, podendo se caracterizar por ondas de luz visível, infravermelho ou ultravioleta, todas as formas com o carregamento de calor. No meio urbano, estudamos as ondas curtas (radiação direta e radiação difusa) e as

ondas longas (radiação refletida, inclusive do céu). A exposição à radiação aumenta o calor percebido pelo corpo, sendo fator determinante nos vários índices de conforto térmico.

Há variáveis quantificáveis para compreender a radiação em um ambiente. Podemos aferir a radiação global, isto é, o total de radiação incidente em um ponto, bem como aferir a radiação estratificada em comprimentos de onda (curta e longa) e por tipologia (direta, difusa e refletida), como exemplo do Gráfico 5 com os dados médios e históricos da radiação global na Estação do IAG/USP em São Paulo. Temos ainda índices que ajudam a caracterizar a radiação total incidente em um ponto, que são a Temperatura e Globo e a Temperatura Radiante Média.

Enquanto a radiação é medida pela quantidade de energia por metro quadrado e pode ser medida, a Temperatura Radiante Média é aferida em °C e pode ser calculada a partir das medições reais de Temperatura de Globo, Temperatura do Ar e Velocidade do Ar. A Temperatura Radiante Média (TRM) é uma variável relevante para vários índices de conforto térmico, uma vez que a radiação solar, especialmente em paisagens urbanas irregulares, tem um efeito mais forte sobre a TRM e sobre a percepção térmica do espaço pelo pedestre. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

De acordo com Monteiro (2018), o cálculo da Temperatura Radiante Média considera o balanço das trocas térmicas entre o globo (Temperatura de Globo) e o ambiente estudado, considerando a Temperatura do Ar e a Velocidade do Ar (Vento) (efeito de convecção) no ambiente. Assim, temos as duas equações para o cálculo da Temperatura Radiante Média (TRM), uma considerando os ventos (Equação 1) e a conseqüente convecção de calor, e outra desconsiderando este efeito (Equação 2). (MONTEIRO, 2018)

Equação 1 - Temperatura Radiante Média (TRM) considerando a convecção pelo vento

$$TRM_1 = \left\{ (Tg + 273)^4 + \left[\frac{(0,25 \cdot 10^8)}{\epsilon g} \right] \cdot \left[\left(\frac{|Tg - Tar|}{D} \right)^{(1/4)} \right] \cdot (Tg - Tar) \right\}^{(1/4)} - 273$$

Equação 2 - Temperatura Radiante Média (TRM) desconsiderando a convecção pelo vento

$$TRM_2 = \left\{ (Tg + 273)^4 + \left[\frac{(1,1 \cdot 10^8 \cdot Var^{0,6})}{(\epsilon g \cdot D^{0,4})} \right] \cdot (Tg - Tar) \right\}^{1/4} - 273$$

onde:

TRM = Temperatura Radiante Média, em °C

ϵ_g = emissividade do globo, adimensional

T_{ar} = Temperatura do Ar, em °C

D = diâmetro do globo, em m

T_g = Temperatura de Globo, em °C

V_{ar} = Velocidade do Ar (Vento), em m/s

(MONTEIRO, 2018)

3.1.4. Velocidade do Ar (Vento)

A Velocidade do Ar, ou Velocidade do Ar caracteriza a velocidade com que se deslocam os ventos, podendo alterar significativamente a maneira como as pessoas estão percebendo termicamente o espaço, mesmo diante das mesmas condições de temperatura, radiação e/ou umidade. Existem diversas formas de avaliar a Velocidade do Ar: a Escala de Olgyay (1963), por exemplo, nos traz os efeitos diretos no corpo humano pela Velocidade do Ar (Vento) conforme suas velocidades, através das classificações na Tabela 1.

Tabela 1 - Velocidades de vento e sensações correspondentes pela Escala de Olgyay

VELOCIDADE DO AR	SENSAÇÃO PROVOCADA
Até 0,25 m/s (0,9km/h)	Praticamente não se sente
0,25 m/s – 0,50 m/s (0,9 km/h – 1,8 km/h)	Brisa agradável
0,50 m/s – 1,0 m/s (1,8 km/h – 3,6 km/h)	Vento agradável, porém, com os primeiros efeitos na sensação
1,0 m/s – 1,5 m/s (3,6 km/h – 5,4 km/h)	Primeiros efeitos de incômodo
Maior que 1,5 m/s (5,4 km/h)	Muito incômodo

Fonte: tabela produzida com base em (FROTA e SCHIFFER, 2001)

O vento aumenta a intensidade e a velocidade do contato do ar com a superfície de pele do corpo, e consequentemente intensifica as trocas térmicas entre o corpo e ambiente, tanto para a perda quanto para o ganho de calor pelo corpo. Quando a Temperatura do Ar é menor que a temperatura do corpo, o vento aumenta a facilidade com o que o corpo perde calor para

o ambiente. Já quando a Temperatura do Ar é maior do que a temperatura do corpo, aumenta-se o ganho de calor, o que pode intensificar a sensação de calor.

Mas, uma certa movimentação do vento é sempre desejável nos ambientes, pois além de ser uma questão de conforto e manutenção da temperatura do corpo e do espaço, deve-se levar em conta o aspecto higiênico dos espaços, em função da necessidade de renovação do ar e dissipação de gases e poluentes.

Conforme o Gráfico 6, em São Paulo, os ventos são predominantemente advindos do quadrante Sul-Sudeste-Leste, com a direção sudeste predominante, e com rajadas de vento predominantemente advindas da direção noroeste, conforme Gráfico 7.

As velocidades médias dos ventos medidas em estações meteorológicas costumam se manter entre os 6 km/h e 8 km/h (entre 1,7 m/s e 2,2 m/s), com recordes históricos de rajadas máximas de vento chegando à casa dos 100 km/h (27,8 m/s).

Vale ressaltar que as velocidades e direções dos ventos são extremamente suscetíveis à presença de obstáculos físicos, sendo assim, no ambiente urbano, os edifícios criam zonas de baixa e alta pressão e de turbulência, capazes de alterar drasticamente a velocidade e a direção dos ventos, bem como de canalizá-los, ou mesmo de cessar a incidência em alguns pontos.

Gráfico 6 - Direção e velocidade média dos ventos em São Paulo

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

Gráfico 7 – Frequência das direções de rajadas de ventos em São Paulo

Fonte: (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018)

3.2. VARIÁVEIS TÉRMICAS SUBJETIVAS E TROCAS TÉRMICAS ENTRE CORPO E AMBIENTE

Nosso conforto térmico está ligado à necessidade de manter uma temperatura interna constante, independentemente da quantidade de calor produzida pelo corpo ou em qual ambiente estamos. Nossa interação térmica com o ambiente é direcionada para a manutenção dessa estabilidade num processo chamado termorregulação. (NICOL, 2012)

A alteração da temperatura corpórea é o principal fator de desconforto térmico, sendo que, quanto maior o esforço do corpo para manter sua temperatura, maior é a sensação de desconforto, o que vale tanto para quando o corpo deve reter calor, quanto para quando deve dissipá-lo. Nas trocas térmicas entre corpo e ambiente, o calor sensível é a forma seca de calor, cuja transmissão por radiação, convecção ou condução, está associada às diferenças de temperatura entre corpo e ambiente, e o calor latente, por sua vez, se associa ao calor acumulado na água, seja no corpo, seja no ar, seja no ambiente. (NICOL e HUMPHREYS, 1998)

Condução é a transferência de calor através de objetos ou partes de objetos em diferentes temperaturas. No geral, o calor do corpo perdido ao ambiente pela condução,

transmitido pelo contato superficial do corpo com outras superfícies, pode ser desconsiderado, já que, salvo exceções, é irrisório frente às transmissões de calor por convecção e radiação

Convecção é o calor transferido junto à movimentação de matéria, em função de diferenças de densidade e pressão devido à variação da temperatura. A convecção pode ser natural, quando ocorre somente pela diferença de pressão entre porções de matéria, ou forçada, por exemplo quando há ação de ventos. As trocas térmicas do corpo humano por convecção representam cerca de 40% do total e estão diretamente associadas com a diferença de temperatura entre o sistema corpo-vestimenta e o ambiente. (NICOL, 2012)

Radiação é a transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas que, quando absorvidas pela matéria, transformam-se em calor. O corpo ganha uma grande quantidade de calor por radiação proveniente da insolação direta ou da reflexão do céu, do solo, dos objetos e das massas construídas no ambiente. O corpo também perde uma grande quantidade de calor por radiação, cerca de 40%. No entanto, o ganho de calor por radiação, especialmente em dias quentes e ensolarados, tende a ser o mais expressivo. (NICOL, 2012)

As trocas de calor latente, por sua vez, representam uma parte significativa da dissipação de calor pelo corpo humano, sendo a evaporação a principal troca de calor úmida, podendo ocorrer em temperatura constante e representando cerca de 20% da dissipação de calor do corpo. O corpo perde calor de evaporação por meio da respiração e da exsudação, e principalmente através da transpiração, fenômeno em que o suor em contato com a pele retira calor do corpo ao evaporar para o ambiente. (FROTA e SCHIFFER, 2001) O processo da transpiração é conceitualmente muito simples, e pode ser comparado a outras situações em que não é intencional a perda de calor, como quando há evaporação de água por haver, em contato com a pele, roupas úmidas, água líquida, gelo, neve, etc. (GIVONI, 1998)

A transpiração é um mecanismo que depende da taxa de transpiração da pele e a quantidade máxima de suor que pode ser evaporada ao longo do tempo. Ambientes com maior umidade, menor Temperatura do Ar e/ou menor Velocidade do Ar têm menor capacidade de evaporação da água, o que reduz a capacidade de retirada de calor do corpo. Ambientes mais secos, com maiores temperaturas e/ou com maiores velocidades de vento permitem a evaporação mais rápida do suor e a carga mais rápida de calor. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

No entanto, além das condições climáticas, os aspectos individuais de percepção do espaço e tolerância às condições ambientais, bem como a proteção da vestimenta e a taxa de atividade metabólica do corpo, têm um grande encargo na definição do conforto. Por isso, os índices de conforto são formados pelas variáveis microclimáticas, mas alguns também consideram variáveis específicas de cada pessoa, para uma avaliação individual ou estatística, considerando variáveis subjetivas, definidas pelas sensações e tolerâncias dos usuários, e variáveis pessoais, definidas pela atividade metabólica e vestimenta. (NICOL, 2012)

As sensações individuais estão diretamente relacionadas às experiências e sensações anteriores do sujeito e dos tipos de ambientes aos quais está acostumado. Em geral, os usuários têm níveis de tolerância bastante variados às condições do ambiente, podendo variar de acordo com seu gênero, idade, massa corporal, condição física, saúde, etc. Esta é a razão pela qual, por exemplo, pessoas mais idosas podem sentir mais frio, pessoas de maior massa podem reter mais calor, ou mesmo que pessoas advindas de uma região podem sentir maior desconforto em determinadas condições. Fora isso, o corpo humano pode se adaptar a variações climáticas e novos padrões, alterando sua reação, em um processo chamado de aclimação.

Segundo Bridi (2014), a adaptação a um dado ambiente está relacionada com mudanças estruturais, funcionais ou comportamentais, uma vez que a adaptação é o resultado da ação de características fisiológicas e comportamentais para promover o bem-estar. A aclimação, portanto, se refere às mudanças adaptativas em resposta ao clima, ou seja, é o ajustamento fisiológico adaptativo duradouro, que resulta em aumento de tolerância à contínua exposição a uma condição climática. A aclimação, desta maneira, nada mais é do que a adaptação do corpo a uma exposição contínua e prolongada a uma condição ambiental, uma resposta física e biológica do corpo humano para se adaptar à mudança. Uma pessoa que passa pela aclimação a um certo ambiente, tende a se tornar mais tolerante e, ao mesmo tempo, se desacostumar com outros tipos de clima aos quais reagia bem anteriormente. (BRIDI, 2014)

A adaptação psicológica, por sua vez, corresponde às experiências pelas quais as pessoas já passaram e que ocasionam uma mudança na reação que elas percebem a um certo ambiente. Além disso, a expectativa pessoal às características de um espaço pode alterar a percepção das condições do ambiente. Isto justifica, por exemplo, a maior tolerância a um dia de calor leve após vários dias frios, ou a intolerância a um dia frio quando se está acostumado

a vários dias quentes, etc. A adaptação comportamental, por fim, é o conjunto de ações conscientes e inconscientes de uma pessoa para alterar seu próprio equilíbrio térmico corporal, tais como mudança de vestuários, ventilação, alimentação, bebidas, etc.

As sensações térmicas podem ser impactadas também por um processo visual quando associamos a temperatura da cor do ambiente à sensação térmica que temos do espaço. Por exemplo, ambientes de cores quentes podem passar a sensação de um ambiente mais caloroso, enquanto que ambientes de cores frias podem passar a sensação de um ambiente mais ameno e mais estimulante. (SCHMID, 2005)

Os fatores mencionados configuram variáveis subjetivas, que não podem ser quantificadas, podendo somente ser qualificadas e/ou utilizadas de maneira estatística para análise de dados. Há somente duas variáveis individuais associadas às trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente que podem ser quantificadas: a Taxa Metabólica e a Vestimenta, valores mensuráveis (qual a quantidade de calor produzida pelo corpo, ou qual a proteção térmica oferecida pela vestimenta) a partir de um aspecto qualitativo (qual a atividade sendo realizada, qual a vestimenta usada).

A Taxa Metabólica diz respeito ao calor liberado no processo de produção de energia pelo corpo, através do metabolismo, energia para o trabalho advinda de combustíveis orgânicos, mas com uma baixa eficiência nesse processo, pois cerca de 80% da energia produzida é dissipada sob forma de calor para manter a temperatura do corpo. Para cada atividade do corpo, há uma certa taxa de atividade metabólica aplicada nos índices de conforto, isto é, há um certo valor de quantidade de calor dissipado, quanto mais pesada a atividade, maior é a atividade metabólica e o calor gerado por ela. A Taxa de Metabolismo é dada na unidade MET, que é uma relação da quantidade de calor dissipado por metro quadrado de pele, cada 1MET equivale a 58,2 W/m². (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Algumas referências das principais taxas de atividade metabólica conhecidas podem ser encontradas no livro de FROTA E SCHIFFER (2001), *Manual do Conforto Térmico*, que propõe uma tabela configurada por MESQUITA (1977), junto a dados fornecidos por MONTEIRO (2008) e pela ISO 7730 (2005). Alguns exemplos de taxas metabólicas podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Referência de valores de Taxa Metabólica

ATIVIDADE	TAXA METABÓLICA (MET)	TAXA METABÓLICA (W/m ²)
Sono	0,7	40,7
Reclinado	0,8	46,6
Sentado em repouso	1,0	58,2
Atividade sedentária (escritório, escola, etc.)	1,2	69,8
Parado em pé	1,3	75,7
Trabalho leve	1,4	81,5
Caminhando lentamente	1,6	93,1
Caminhando a 2,0 km/h em local plano	1,9	110,6
Trabalhos domésticos	2,0	116,4
Caminhando a 3,0 km/h em local plano	2,4	139,7
Caminhando a 4,0 km/h em local plano	2,8	163,0
Caminhando a 5,0 km/h em local plano	3,4	197,9

Fonte: tabela produzida de acordo com (FROTA e SCHIFFER, 2001), (ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION), 2005), (LAMBERTS, 2016), (MESQUITA, 1977) e (MONTEIRO, 2008)

A Vestimenta é um isolante entre o corpo e o ambiente, um conjunto de peças que permite a adaptação do corpo ao ambiente, a adequação a diferentes microclimas ao dificultar trocas térmicas. A resistência térmica da vestimenta deve ser medida através das trocas secas entre o sistema corpo-vestimenta e o ambiente e depende de fatores como a espessura e o tipo do tecido, a quantidade de camadas, o tipo de costura e corte da roupa, o tamanho da camada de ar deixada entre o corpo e a roupa, a fibra utilizada e a cor. A Resistência térmica de uma vestimenta é medida pelo Índice de Resistência Térmica (Icl), medido pela unidade CLO, que expressa a resistência térmica por metro quadrado de área de roupa pela temperatura. O valor de 1 clo equivale a 0,155 m².°C/W, correspondendo a um terno completo. Referências de

valores de índices de resistência térmica podem ser vistos na Figura 5 e na Tabela 3. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

Figura 5 - Valores de Índice de Resistência Térmica por conjuntos de vestimentas

Fonte: (MONTEIRO, 2018)

Tabela 3 - Valores de Índice de Resistência Térmica de conjuntos de vestimentas

VESTIMENTA	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA TÉRMICA (CLO)	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA TÉRMICA ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
Roupa íntima, camiseta sem manga, short, meias leves e sandálias	0,18	0,028
Roupa íntima, sapatos, saia curta leve e blusa leve de mangas curtas	0,25	0,039
Roupa íntima, bermuda, camiseta de manga curta, sapatos	0,26	0,040
Roupa íntima, sapatos, bermuda e blusa leve de mangas curtas	0,26	0,040
Roupa íntima, sapatos, vestido leve sem mangas	0,31	0,048
Roupa íntima, calça leve, camisa de manga curtas, meias e sapatos	0,35	0,054
Roupa íntima, sapatos, calça leve e blusa leve	0,35	0,054
Roupa íntima, meia calça, sapatos, vestido leve sem mangas	0,41	0,063
Roupa íntima, calça leve, camisa de mangas compridas, meias e sapatos	0,46	0,071
Roupa íntima, camisa de mangas compridas, meias, sapatos e paletó	0,71	0,110

Fonte: tabela produzida de acordo com (PIRES, 2017) e (COUTINHO, 2005)

3.3. BALANÇO TÉRMICO E O MODELO ADAPTATIVO

BROWN e GILLEPSIE (1995) propuseram uma nova maneira de pensar o conforto térmico, que o coloca como uma balança de comparação das perdas e dos ganhos de calor pelo corpo em relação ao ambiente. O desconforto térmico ocorre quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido e recebido pelo corpo e o calor dissipado para o ambiente. A neutralidade térmica, então, caracteriza o conforto térmico e ocorre quando todo o calor gerado e recebido pelo corpo é igual ao calor perdido, não havendo acúmulo nem perda de calor e mantendo a temperatura corporal constante. (LAMBERTS, 2016)

De certa maneira, quando o corpo perde mais calor do que recebe, há sensação de frio, enquanto que, se os ganhos superarem as perdas, haverá a sensação de calor. No caso, o ideal seria balancear os dois lados, e quando as perdas de calor tiverem uma mesma carga energética que os ganhos, haverá uma situação estável de conforto, já que o corpo não verá necessidade de grandes esforços para manutenção de sua temperatura. Em parte, pode-se estipular os ganhos e perdas de calor pelo corpo já na atividade de projeto. Pode-se definir a ventilação, estimar a radiação, e, por vezes, pode-se até estimar e/ou controlar a Temperatura do Ar e a umidade. Entretanto, não há como prever ou controlar as variáveis subjetivas e pessoais em projeto, principalmente em grande parte dos espaços externos.

A fórmula, vista na Equação 3 para cálculo do balanço térmico equaciona exatamente este conceito de um balanço energético. Este mesmo conceito, pode ser aplicado para um ambiente, e é assim que alguns dos *softwares* de simulação termodinâmica, como por exemplo o ENVI-met, trabalham: buscando a cada intervalo de tempo e em cada trecho do modelo realizar um balanço energético dos ganhos e perdas de calor.

Neste contexto, o Modelo Adaptativo leva em conta que questões psicológicas, emocionais e fisiológicas podem impactar a resposta às trocas, aos ganhos e às perdas de calor. Isto quer dizer que leva em conta o fato de que o organismo não só se adapta às mudanças, como necessita delas. Tanto nosso corpo quanto nossa mente têm expectativas de condições térmicas para determinados períodos do dia e do ano, desta maneira as condições de ganhos e perdas de calor também deverão variar juntamente a estas condições.

Equação 3 - Balanço térmico do corpo humano

$$M - W = CV + R + CC + RS + TR + D + A$$

Onde:

A = Energia acumulada pelo corpo

R = Troca por radiação

CC = Troca por condução

RS = Perda de calor pela respiração

CV = Troca por convecção

TR = Perda de calor pela transpiração

D = Difusão de calor pela pele

W = Energia mecânica do corpo não transformada em calor

M = Atividade Metabólica

(MONTEIRO, 2008)

Uma avaliação pode prever uma pessoa em situação de conforto quando, no balanço térmico, existe um equilíbrio entre ganhos e perdas de calor, e, no caso das avaliações baseadas no modelo adaptativo, considera-se que uma pessoa pode encontrar conforto sob condições térmicas que variam ao longo do dia e do ano. Um exemplo é a proposta do Índice de Conforto pela Temperatura Operativa na ASHRAE 55, onde a temperatura de ambientes internos deve variar de acordo com as temperaturas externas ao invés de ser mantida constante, pois assim há maior probabilidade de conforto. (ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC., 2004)

3.4. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO E A TEP – TEMPERATURA EQUIVALENTE PERCEBIDA

Os Índices de Conforto Térmico são um equacionamento que busca englobar todos os dados climáticos de um determinado ambiente, e, em alguns casos, os dados pessoais de atividade metabólica e vestimenta, em um valor único, capaz de estimar de forma preditiva e interpretável qual a condição de conforto esperada para determinado ambiente para a maioria dos usuários. Para avaliar o efeito das variáveis ambientais e subjetivas, os diferentes índices de conforto térmico podem ser divididos entre aqueles que estão baseados no balanço térmico do corpo e aqueles baseados no modelo adaptativo. (LAMBERTS, 2016)

Os índices de conforto térmico auxiliam no entendimento da percepção térmica dos usuários de espaços abertos, especialmente quando consideram fatores climáticos e fisiológicos, o que permite uma análise mais detalhada da interação entre a percepção térmica e as condições climáticas do ambiente analisado. (KRÜGER, ROSSI, *et al.*, 2018)

Os índices integram aspectos relacionados às trocas de calor entre corpo e ambiente de forma a simplificar a interpretação da condição térmica. Uma vez que há condições diversas em cada local de clima e aclimação da população, os índices de conforto térmico são também, em sua maioria, específicos por localidade, variando a abordagem, as variáveis consideradas, etc. Os índices podem ser subdivididos entre aqueles de natureza indutiva (empíricos), de natureza indutiva-dedutiva (empírico-rationais) e de natureza dedutiva (rationais). Assim, há índices obtidos por meio de medições diretas (indutivos), índices obtidos empiricamente, mas tratados por meio de regressão estatística (indutivos-dedutivos), e há de forma preponderante os índices de caráter indutivo (empíricos). (MONTEIRO, 2018)

Os índices utilizam diferentes métodos de calibração, o que indica que não há consenso sobre como concebê-los ou utilizá-los. Assim, além das regionalidades, os índices também podem apresentar condições e faixas diferentes de conforto e desconforto, em função das diferentes metodologias. Entre os índices, há diferenças nos métodos de análise, situações urbanas analisadas, número de medições, características da população, entre outros.

Dentre os principais exemplos de índices de conforto térmico vemos a *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e o *Universal Thermal Climate Index* (UTCI). O PET é um índice baseado no balanço térmico do corpo que indica os efeitos do ambiente em termos de estresse térmico entre faixas de calor, frio e conforto. Utiliza as mesmas variáveis climáticas utilizadas em outros índices de conforto, como o PMV (*Predicted Mean Vote*): Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Velocidade do Ar (Vento) e Temperatura Radiante Média. Com isso, o PET é baseado no MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*), que tem como base o balanço térmico de uma pessoa, de forma baseada no equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade. (KRÜGER, ROSSI, *et al.*, 2018).

Vários estudos utilizaram o PET para analisar a relação entre a influência do desenho urbano e a sensação térmica, no entanto, o uso do índice em diversas localidades mostrou

variações nas preferências térmicas da população local. Dentre estes estudos, há grande diversidade climática, de latitude e de continentes, e, assim, a calibração do índice de conforto térmico em espaços abertos seria relevante para refletir de fato as preferências térmicas locais. Para tal, uma série de trabalhos foram conduzidos no mundo, inclusive no Brasil, para calibrar as faixas de conforto e desconforto do PET para diferentes regiões, como São Paulo, Belo Horizonte, Vitória, Campo Grande, etc. (KRÜGER, ROSSI, *et al.*, 2018)

O UTCI, por sua vez, foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo, e assim sendo entendido como aplicável a todos os tipos de clima. O UTCI foi elaborado com base em um modelo termorregulatório que considera o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico e à distribuição da roupa em diferentes partes do corpo e à redução de sua resistência térmica e evaporativa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4 km/h. Segue, assim, o conceito da temperatura equivalente. (ROSSI, KRÜGER e BRÖDE, 2012)

O UTCI apresenta faixas entre o extremo estresse para o frio e o extremo estresse para o calor a partir de uma combinação de variáveis climáticas, sendo definida pela temperatura do ambiente de referência que produz o mesmo estresse térmico. Por isso, abrange as faixas climáticas de -50°C a 50°C de Temperatura do Ar, de -30°C a 70°C de diferença entre Temperatura Radiante Média e Temperatura do Ar, entre 0,5 e 30,3 m/s de velocidade de vento e de 5% a 100% de Umidade Relativa. (ROSSI, KRÜGER e BRÖDE, 2012)

Por fim, a Temperatura Equivalente Percebida (TEP), proposta por MONTEIRO (2008), se trata de um dos índices pioneiros especificamente para São Paulo, utilizando dados da população local. Busca sintetizar os valores empíricos de Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Velocidade do Ar e Temperatura Radiante Média. Leva em consideração a atividade física e a vestimenta da pessoa, sendo possível aplicar a fórmula para um único indivíduo ou aplicar de maneira estatística para um grupo de pessoas, ou ainda aplicar valores padronizados recomendados em norma ou pelo próprio método. O resultado numérico, então, é associado a uma faixa interpretativa da expectativa de sensação térmica do usuário no ambiente analisado. A faixa de neutralidade é tida como a faixa de conforto. (MONTEIRO, 2008)

O modelo foi, então, objeto de estudo e calibração ao longo de doze anos de pesquisa, resultando em sua revisão proposta por Monteiro (2018), quando, após a aplicação do modelo em diversas pesquisas posteriores em diferentes regiões da cidade de São Paulo, ajustou o seu procedimento de cálculo e suas faixas interpretativas. (MONTEIRO, 2018)

O método inclui uma gama de equações. O Índice de Percepção de Sensação Térmica (Tsp) (Equação 4) traz resultados de sensação térmica na escala de -3 a 3. A Temperatura Equivalente Percebida (TEP) (°C) (Equação 5) traz faixas de conforto, calor e frio a partir das variáveis climáticas, padronizando as variáveis pessoais. A Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa (TEP_A) (°C) (Equação 6) inclui variáveis da adaptação climática e comportamental. A Temperatura Equivalente Percebida Meteorológica (TEP_M) (°C) (Equação 7) considera dados de estação meteorológica, incluindo radiação solar global e Velocidade do Ar a 10m do solo. E, por fim, para suporte do cálculo da TEP, a Temperatura Equivalente de Globo (TEG) (°C) (Equação 8) traz uma conversão da Temperatura de Globo para medições in loco.

Equação 4 - Tsp (Índice de Percepção de Sensação Térmica na escala de -3 a 3)

$$Tsp = -3,557 + 0,0632 \cdot Tar + 0,0677 \cdot TRM + 0,0105 \cdot UR - 0,304 \cdot Var$$

Equação 5 - TEP (Temperatura Equivalente Percebida)

$$TEP = -3,777 + 0,4828 \cdot Tar + 0,5172 \cdot TRM + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot Var$$

Equação 6 - TEP_A (Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa)

$$TEPA = -29,877 + 0,4828 \cdot Tar + 0,5172 \cdot TRM + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot Var - 0,1742 \cdot Tmm + 5,118 \cdot M + 38,023 \cdot Icl$$

Equação 7 - TEP_M (Temperatura Equivalente Percebida Meteorológica)

$$TEPM = -3,777 + 0,4828 \cdot Tar + 0,0137 \cdot Ig + 0,0802 \cdot UR - 0,8322 \cdot Var$$

Equação 8 - TEG (Temperatura Equivalente de Globo)

$$TEG = tg - 0,7$$

Onde:

Icl = Índice de Resist. Térmica da Vestimenta (clo)

TEPM = Temp. Equival. Perceb. Meteorológica (°C)

Ig = Radiação Global (W/m²)

Tg = Temperatura de Globo (°C)

M = Atividade Metabólica (Met)

Tmm = Temperatura Média Mensal (°C)

Tar = Temperatura do Ar (°C)

TRM = Temperatura Radiante Média (°C)

TEG = Temperatura Equivalente de Globo (°C)

Tsp = Índice de Percepção de Sensação Térmica

TEP = Temperatura Equivalente Percebida (°C)

UR = Umidade Relativa (%)

TEPA = Temp. Equival. Perceb. Adaptativa (°C)

Var = Velocidade do Ar (Vento)

Tabela 4 - Faixas de percepção térmica de acordo com Tsp, TEP, PET e UTCI

SENSAÇÃO	Tsp	TEP, TEP _A , TEP _M , TEG (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
MUITO CALOR	< -2,5	> 42,4	> 43,0	> 38,0
CALOR	-2,5 a -1,5	34,9 a 42,4	34,1 a 43,0	31,1 a 38,0
POUCO CALOR	-1,5 a -0,5	27,3 a 34,8	26,1 a 34,0	26,1 a 31,0
NEUTRALIDADE	-0,5 a 0,5	19,6 a 27,2	18,0 a 26,0	19,0 a 26,0
POUCO FRIO	0,5 a 1,5	12,0 a 19,5	12,0 a 17,9	13,0 a 18,9
FRIO	1,5 a 2,5	4,4 a 11,9	6,0 a 11,9	6,0 a 12,9
MUITO FRIO	> 2,5	< 4,4	< 6,0	< 6,0

Fonte: (MONTEIRO, 2018)

A Tabela 4 traz as faixas interpretativas de percepção de Tsp, TEP, TEP_A, TEP_M e TEG. (MONTEIRO, 2018) Traz também apresenta uma calibração de correlação entre a Temperatura Equivalente Percebida (TEP), a *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e o *Universal Thermal Climate Index* (UTCI).

3.5. ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O CONFORTO DO PEDESTRE EM SÃO PAULO

Entre 2011 e 2015, foram realizados três projetos de pesquisa financiados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que abordaram a definição do conforto ambiental do pedestre em São Paulo: *“Estresse e Conforto Acústico do Pedestre em São Paulo”* (NOVAES, 2012), orientado pela Profa. Dra. Marcia Peinado Alucci, *“Estresse e Conforto Urbano do Pedestre em São Paulo – Térmica e Acústica”* (NOVAES, 2013) e *“Conforto Termoacústico do Pedestre em São Paulo e Influência de Outras Variáveis Ambientais”* (NOVAES, 2015), orientados pelo Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro.

Para estes projetos, foram realizados levantamentos de campo com medições empíricas em 25 pontos/eventos de medições distribuídos em 9 regiões da cidade nas quatro épocas do ano. Estes levantamentos de variáveis ambientais, dentre outras variáveis, contaram com medições das mesmas variáveis térmicas utilizadas neste trabalho: Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Temperatura de Globo, Velocidade do Ar (Vento) e Direção do Vento, além dos cálculos de Temperatura Radiante Média e Temperatura Equivalente Percebida (TEP).

Estas medições foram realizadas utilizando tanto equipamentos e registros manuais (termômetro de ar digital, termohigrômetro digital, anemômetro digital) quanto com equipamentos automatizados com *data loggers* (*hobos* e estações microclimáticas), os mesmos utilizados nesta pesquisa. Com isto, antes de dar início a este projeto de pesquisa, estas medições realizadas para os projetos anteriores já haviam proporcionado experiências para obter o conhecimento necessário para o manuseio dos equipamentos de medição, bem como para o registro e para o tratamento dos dados medidos.

Foi observado nos levantamentos de campo, que contaram com 2535 entrevistas aplicadas aos pedestres simultaneamente às medições, que, de maneira geral, o paulistano se encontra em conforto térmico quando as condições climáticas apresentam temperaturas de ar medianas (de 18°C a 23°C para mais de 80% de pessoas autodeclaradas em conforto térmico). Ainda, o conforto geral de um pedestre com a ambiência do espaço urbano externo sofre grande influência conforto térmico, sendo que, no geral, condições térmicas adequadas são o fator mais relevante para a definição do conforto. (NOVAES, 2015)

Há uma relação direta entre Temperatura do Ar, temperatura de globo e conforto térmico. Neste caso, foi observado que o fator ambiental mensurável de maior confiabilidade no entendimento do conforto térmico do pedestre em São Paulo é a Temperatura de Globo, pois uma via satisfatória deve, além de proporcionar sombra e proteção à exposição demasiada ao sol, apresentar também soluções inteligentes que evitem a exposição demasiada à radiação indireta (refletida de elementos como fachadas, veículos e asfalto). (NOVAES, 2013)

A incidência de radiação sobre o pedestre atrelada à Temperatura do Ar, e, por consequência, à Temperatura de Globo, é um dos fatores mais importantes no conforto geral dele com a via. Quando o conforto com a insolação assume valores muito baixos, o conforto térmico também tende a se anular. O projeto de uma via, portanto, deve assegurar o sombreamento das calçadas, mas não total. (NOVAES, 2015)

É possível ver claramente a interferência da insolação na satisfação com uma via, tanto para valores baixos de insolação que levam ao aumento da sensação de frio, quanto para valores exacerbados, que remetem principalmente à potencialização da sensação de calor em dias de altas temperaturas. Observando os valores medidos in loco de Radiação Solar Global, a incidência solar que leva a 80% ou mais de pessoas autodeclaradas em conforto térmico foi entre aproximadamente 650 W/m² e 900 W/m². (NOVAES, 2015)

Além disso, de maneira semelhante à incidência solar, o vento também apresenta grande impacto no conforto térmico, uma vez que tanto velocidades de ar muito baixas, quanto velocidades de ar muito altas, podem gerar desconforto. De acordo com as respostas dos pedestres entrevistados, entre 1,0 m/s e 1,5 m/s levaram a um conforto térmico de em torno de 75% dos entrevistados e conforto geral superior a 80%. Os desenhos de vias, portanto, devem propor soluções que permitam não só a movimentação do ar, mas também que impeçam a formação de corredores de ventos e rajadas. (NOVAES, 2015)

Por fim, olhando diretamente para a Temperatura Equivalente Percebida (TEP), valores entre 18°C e 36°C levaram a mais de 80% de pedestres confortáveis com a via em termos gerais, e nas proximidades de 24°C e 25°C encontrou-se o maior conforto térmico. (NOVAES, 2015)

4. TÉRMICA, MICROCLIMA E MORFOLOGIA DO MEIO URBANO

4.1. AS CIDADES, O CLIMA GLOBAL E AS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS LOCAIS

São Paulo não faz mais jus ao apelido de cidade da garoa, uma vez que o aumento da temperatura média nas últimas décadas fez com que diminuísse a frequência das garoas na cidade. (SÃO PAULO TURISMO) As alterações climáticas que a cidade vem sofrendo nos últimos anos são fenômenos comuns nas grandes cidades do planeta em função das grandes alterações térmicas mundiais, bem como das alterações físicas dos espaços da cidade.

Em um claro sinal da mudança climática, 2015, 2016 e 2017 foram confirmados como os três anos mais quentes registrados antes de 2018. 2016 detinha o recorde, enquanto que 2017 foi o ano mais quente sem um *El Niño*. A WMO (*World Meteorological Organization*), a partir de observações meteorológicas e modelos para análise da atmosfera, comprovou que em 2017 a temperatura média global anual foi 1,1°C acima da média da era pré-industrial, pouco abaixo do maior recorde, de 2016, que é de 1,2°C acima. Pelos levantamentos, literalmente 17 dos 18 anos mais quentes já registrados aconteceram no Século XXI, até então em 2018. (WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2018)

Apesar de existirem divergências quanto a extensão e a intensidade das mudanças climáticas, é inegável que o conjunto de mudanças climáticas é um processo em andamento caracterizado principalmente pelo aumento paulatino das temperaturas médias globais, o que ocasionará e já está ocasionando severas mudanças nas condições naturais e ecossistêmicas dos diversos pontos do globo, bem como nas condições de vida e ocupação no planeta.

O Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2016) entende que os aumentos de temperaturas são quantificáveis e, em muitas regiões, os aumentos ultrapassam os limites toleráveis, como, por exemplo, em parcela significativa do território brasileiro. Neste caso, as expectativas para os aumentos das temperaturas médias são analisadas em diferentes cenários futuros mais otimistas ou mais pessimistas em função do atendimento ou não das metas relacionadas à mitigação dos efeitos do aquecimento global, como redução de emissão

de gases de efeito estufa, de emissão de poluentes, de consumo energético, de desmatamento, etc. (PBM - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016)

As mudanças climáticas compõem o problema mais grave que a humanidade enfrenta hoje, em função de sua vasta gama de fatores, causas e consequências, e principalmente em função da complexidade e da extensão global de seus efeitos. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2013) aponta que as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) são a principal causa da aceleração das mudanças climáticas e, portanto, a maior responsável pelo desequilíbrio ambiental. (IPCC, 2013)

As projeções feitas pelo PBM (2016) indicam que as mudanças climáticas estão ocorrendo e serão severas mesmo nos cenários mais otimistas de emissão dos gases de efeito estufa. Caso se mantenham os níveis atuais de emissões, a previsão para até 2100 seria um aumento da temperatura média global entre 2,6°C a 4,8°C, com incremento de 0,45 a 0,82 metro no nível médio do mar. (PBM - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016)

Neste cenário, por exemplo, relatos informam que 2014 foi o ano mais quente já registrado no Estado de São Paulo, e que, ao longo dos últimos anos, estamos experimentando uma “tropicalização de um clima tipicamente subtropical”, isto é, além do aumento das temperaturas mínimas médias e das temperaturas médias máximas, estas começam a se pronunciar também de forma mais acentuada em meses como setembro e outubro – no ápice da primavera – e não mais tão somente em janeiro e fevereiro – pico do verão. (DUARTE, 2018)¹¹

De maneiras diversas, as mudanças climáticas atingem o mundo todo, com uma série de nuances entre as diferentes regiões. Não conta somente com o aquecimento global, mas também com um grande desequilíbrio do clima global, o que leva, além do aumento das temperaturas, ao aumento da frequência e da intensidade de eventos extremados, caracterizados pelas altas quanto pelas baixas temperaturas, ou mesmo por outros efeitos climatológicos. As situações de calamidade se multiplicam e atingem cada vez maiores números

¹¹ Informação verbal relatada na aula de 27/09/2018 na disciplina de pós-graduação AUT 5842 – Cidades e Mudanças Climáticas na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

de pessoas. A WMO (2018) expressa sua preocupação com os desastres climáticos registrados ao longo dos últimos anos, como furacões, ciclones tropicais, enchentes, estiagens, etc.

Neste cenário, as cidades assumem papel central no processo das mudanças climáticas, pois seus diferentes fenômenos são muitas vezes intensificados pela condição da ocupação urbana, ou mesmo ocasionados pelas atividades e características que envolvem as cidades, como, por exemplo, a formação de microclimas regionais decorrentes das diferentes condições de uso e ocupação do solo, escassez de vegetação, concentração de edifícios, uso excessivo de materiais com alta concentração de calor, excessiva impermeabilização das superfícies, concentração e emissão de gases de efeito estufa e poluentes, etc.

As cidades são as principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa, por meio das vastas emissões associadas principalmente aos meios de transporte, aos meios produtivos e industriais, às emissões e ao consumo de energia pelas edificações e pela construção civil. As cidades são responsáveis por cerca de 70% do consumo de energia elétrica e por aproximadamente 40% das emissões de gases de efeito estufa, concentrando a maior parte da população mundial. (PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016)

Gráfico 8 - Evolução da População Urbana e Rural no Mundo de 1950 a 2050

Fonte: (WEBBER, 2015)

É necessário lembrar que, apesar de as cidades ocuparem uma pequena parcela da superfície do planeta, estas concentram a maior parte da população mundial. Em 2015, 3,9 bilhões de pessoas (54% da população mundial) viviam em áreas urbanas, enquanto que em 1950 este número era de somente 746 milhões. Já em 2050, estima-se que a população urbana chegue a 66% da população global, passando de 6 bilhões de pessoas já em 2045, como pode ser visto no Gráfico 8. (WEBBER, 2015)

O IPCC (2016) aponta que essa expansão vai acontecer principalmente em países em desenvolvimento, que não possuem a infraestrutura necessária para suportá-la sem grandes impactos sociais e ambientais. O Brasil, por exemplo, em 2015 já possuía 85,7% da população vivendo em áreas urbanas, com a previsão de chegar a 91% em 2050. Além da maior parte da população, as cidades concentram a maioria dos ativos construídos e das atividades econômicas, sendo os ambientes mais vulneráveis às mudanças climáticas. Os impactos causados pelas alterações no clima sentidos nos centros urbanos envolvem aumento de temperatura, aumento no nível do mar, ilhas de calor, inundações, escassez de água, eventos extremos, etc. (PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016)

Figura 6 - Crescimento da área construída em diversas regiões do planeta

Fonte: (UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BULDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017)

Com o rápido crescimento da população mundial e ainda mais acentuado crescimento da população urbana, as cidades crescem vertiginosamente, especialmente na América do Sul,

na África e na Ásia (WEBBER, 2015), onde o crescimento da área edificada será mais rápido. Por exemplo, espera-se que a área construída na Índia dobre até 2035. (UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017) Na Figura 6, nota-se, para a América Latina, acréscimos de área construída de aproximadamente 6 bilhões de metros quadrados até 2030, 30% frente à área construída estimada em 2017. Para 2060, então, espera-se que a área construída na América Latina seja praticamente dobrada, ultrapassando os 35 bilhões de metros quadrados. Em outros trechos do mundo, vemos panoramas muito mais intensos, como na China, para onde, hoje com quase 60 bilhões de metros quadrados construídos, espera-se mais quase 60 bilhões até 2100, e na África, com menos de 30 bilhões atualmente e quase 120 bilhões em 2100.

As cidades vão crescer e se espalhar, aumentar sua área ocupada em planta, e aumentar a sua área construída através de novas edificações em novas áreas ocupadas e no adensamento de áreas pré-existentes. Diferentes modelos de planejamento urbano, ou sua ausência, determinarão o ritmo de crescimento destas cidades e os caminhos para o seu crescimento, seja pela expansão horizontal, seja pelo adensamento construtivo, seja por ambos os caminhos.

Verdade é que as cidades inegavelmente crescerão muito neste século e, com elas, crescerão seus impactos, dado o alto consumo energético e de recursos na produção e na operação dos edifícios, bem como as altas emissões em seu cotidiano: nos transportes, na operação dos sistemas de abastecimento, na geração e tratamento de resíduos, etc., e mesmo a morfologia e composição da cidade, bem como os materiais escolhidos para as superfícies construídas, causarão ou intensificarão os efeitos de aquecimento, como ilhas de calor.

O crescimento das cidades infelizmente não é acompanhado pela infraestrutura mínima adequada para mitigar os impactos do espalhamento da mancha urbana e, na maior parte das vezes, é caracterizado pelo crescimento descontrolado e desorganizado da área ocupada e da área construída. Este crescimento acelerado e descontrolado, sem planejamento, se dá puramente pelos vetores e polos de atração e pela disponibilidade de solo, se fazendo inicialmente, em grande parte das vezes, pelos assentamentos informais.

Então é com este foco que o modelo de crescimento adotado para as cidades se torna tão relevante. As manchas de ocupação urbana, quanto maiores e mais espalhadas, mais

impactam no meio ambiente e mais intensificam os diversos efeitos das mudanças climáticas e dos fenômenos de aquecimento urbano, e mais vulneráveis se tornam as cidades aos efeitos das eventualidades climáticas que possam ocorrer. Nesta conjuntura, devemos entender de forma separada fenômenos intrinsecamente conectados: crescimento populacional (aumento do número de habitantes), crescimento horizontal (espalhamento da cidade, crescendo em área) e crescimento vertical (verticalização, e aumento do número e do porte de edifícios), o que nos traz os diferentes conceitos de densidade que podemos perceber em uma cidade: densidade populacional (concentração de habitantes), densidade construída (concentração de área construída) e densidade visual (concentração de edificações no espaço).

Por um lado, o melhor caminho é o adensamento das cidades uma vez que cidades mais compactas resultarão em sistemas viários (ruas e avenidas) e de abastecimento (água, energia, resíduos, telecomunicações, iluminação pública, etc.) linearmente menores, assim como resultarão em menores áreas de desmatamento, menos manchas de impermeabilização do solo, isto é, com menores impactos sobre o meio ambiente e menores custos tanto de execução quanto de operação. Por outro lado, o simples adensamento da cidade, sem o devido planejamento e qualificação, também pode resultar em composições morfológicas urbanas que trazem sérios efeitos para a cidade, como a formação de cânions urbanos e todas as suas decorrências, excesso de sombreamento de ruas e edificações, corredores de vento, intensificação de ilhas de calor pela alteração na movimentação dos ventos e concentração de calor nas superfícies edificadas e na reflexão de ondas longas entre os edifícios, etc.

Mesmo sem entrar no mérito da qualificação do espaço urbano e da infraestrutura urbana necessária para atender a população, sem o devido planejamento, o rápido crescimento da cidade e seu adensamento podem trazer o adensamento descontrolado dos bairros, ignorando ou contornando regras e parâmetros urbanísticos de uso e ocupação do solo, resultando, por exemplo, na verticalização excessiva, na retirada excessiva da vegetação, na impermeabilização excessiva do solo. A construção dos edifícios também, quando não controlada e regulamentada, pode fazer uso de tecnologias defasadas, sistemas construtivos que levem ao consumo de materiais que sejam mais impactantes ao meio ambiente, com maior consumo de energia e de recursos não renováveis e maior emissão de gases do efeito estufa e

poluentes em sua extração, produção, transporte e aplicação. Isto está relacionado com os produtos mais cotidianos da construção civil, como cimento e cerâmica, por exemplo.

Novamente de acordo com o IPCC (2016), o ambiente construído das cidades, como ruas, edificações e infraestruturas, contribui significativamente para as emissões de gases do efeito estufa, e, assim, ajudam a amplificar os impactos das mudanças climáticas. Em termos globais, a produção dos materiais necessários para construção civil, por exemplo, resultará, até meados do século, na metade do máximo de emissões de carbono que se pode atingir caso se pretenda atender à meta de aumento máximo de temperatura média do planeta de 2°C em 2100. (PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016)

Em escala local, os principais motores da alteração das condições ambientais de uma cidade são as próprias modificações realizadas em demasia em seu espaço. As influências para a criação de um microclima urbano são várias. Primeiramente a altura e densidade das massas edificadas, com a criação ou não de cânions urbanos e/ou o mascaramento do céu com a canalização de ventos e o bloqueio da radiação solar, ambos efeitos que podem ser benéficos ou maléficos ao conforto humano, dependendo das outras variáveis térmicas. Além disso, impermeabilização do solo, retirada da vegetação, asfaltamento da superfície urbana, poluição atmosférica e liberação de diversos gases e poeiras que têm a capacidade de reter o calor no ambiente urbano. (UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017)

Também influi a presença ou ausência da vegetação, tanto de árvores quanto de vegetação rasteira. A vegetação aumenta a umidade através da evapotranspiração, além disso os efeitos psicológicos e visuais da presença da vegetação na cidade são relevantes e a umidade e permeabilidade do solo (maiores com a terra e grama) aumentam sua condutibilidade térmica, amenizando a quantidade de calor acumulada pelo ar.

Vemos, por exemplo, na cidade de São Paulo, na Figura 7, uma correlação entre os distritos em que aqueles com menores índices de vegetação são justamente aqueles que apresentam as maiores temperaturas médias de superfície simultaneamente. Este é um claro exemplo da influência da retirada da vegetação sobre o microclima urbano, com a distribuição

desigual e escassa de vegetação nos bairros mais adensados, tanto aqueles com urbanização formal, quanto informal.

Figura 7 - Concentração vegetal e temperatura aparente de superfície em São Paulo

Fonte: Atlas Ambiental do Município de São Paulo (TAKIYA, 2002).

Fonte: (PBMCM - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016)

Fora isto, os diferentes espaços urbanos configuram diversos microclimas pela cidade. Por exemplo, uma área de parques terá condições ambientais diferenciadas, da mesma forma que bairros periféricos de poucas massas edificadas terão um comportamento diferente daqueles de altíssima densidade, enquanto que serão ainda mais distintas daquelas das áreas centrais. Os revestimentos de pisos e fachadas também exercem função vital nas condições térmicas de um determinado espaço, podendo ser de materiais e cores que tanto acumulam ou refletem o calor e a radiação que recebem.

O asfalto, por exemplo, eleva sua temperatura de maneira considerável e acumula uma enorme quantidade de calor até dissipar durante a noite, o mesmo vale para o concreto dos edifícios e das calçadas. Todo o vidro dos numerosos edifícios espelhados das cidades, além de

acumularem uma grande quantidade no interior dos mesmos, refletem uma grande quantidade de radiação às ruas.

A altura e concentração dos edifícios, por sua vez, interferem na sensação de conforto do pedestre por ocuparem grande mancha de visibilidade do céu, alterando as relações de insolação na rua, criando corredores de vento e, especialmente no caso da acústica, por ocasionarem a reverberação e o aumento indesejado do ruído de tráfego. Estes ambientes têm se tornado cada vez mais típicos em São Paulo, nos bairros que estão formando verdadeiros “oceanos de edifícios” com a verticalização e o adensamento exacerbados e acelerados.

Considerando a população urbana crescente, os impactos dos fenômenos de aquecimento urbano são severos. Em cidades de climas mais frios, os efeitos de aquecimento das ilhas de calor podem ser benéficos, e em algumas cidades de climas quentes o sombreamento trazido pelos cânions urbanos podem criar áreas de conforto nos períodos mais quentes. No entanto, na maioria das cidades, os efeitos das ilhas de calor são problemáticos, contribuindo para o desconforto dos pedestres e para o maior consumo energético para climatização e/ou resfriamento das edificações. (GARTLAND, 2010)

É digno de nota que este trabalho não se posiciona contra o crescimento das cidades – fenômeno inevitável com o crescimento da população total e da população urbana – e muito menos contra o adensamento das cidades e formação de cidades mais compactas – que é o modelo de crescimento urbano mais adequado às necessidades atuais. Muito pelo contrário, as cidades são os grandes polos do planeta, e somente as cidades podem proporcionar a velocidade e a eficiência necessárias para a vida em sociedade tal como conhecemos hoje. O adensamento das cidades, neste sentido, se torna uma resposta mais adequada à pressão pelo seu crescimento, com maior capacidade de trazer eficiência e bom funcionamento aos sistemas e maior qualificação do meio urbano, concentrando investimentos, aproximando a população e reduzindo os impactos sobre o meio ambiente.

O que deve ser combatido é o crescimento descontrolado das cidades e seu adensamento sem qualificação. As cidades, com papel tão determinante e protagonista no cenário das mudanças climáticas, não são somente parte da causa ou parte da “vítima”, mas também são parte da solução. Há uma convergência nas diversas correntes ideológicas ligadas

ao planejamento urbano com a tendência de se acreditar que o planejamento das cidades pode ser uma ferramenta de mitigação dos impactos das mudanças climáticas e adaptação. O crescimento urbano pode também ser uma oportunidade, já que as cidades em desenvolvimento e em processo de revitalização, requalificação e reurbanização podem também abrigar soluções que contribuam para a adaptação e resiliência às mudanças climáticas e para a mitigação das mesmas. (PARTICIPANTS AT THE IPCC CITIES AND CLIMATE CHANGE SCIENCE CONFERENCE, 2018)

Por exemplo, focando somente na construção e na operação de edifícios, edifícios e construção juntos somam 36% do consumo energético global e 39% das emissões de carbono relacionadas ao consumo de energia e recursos quando considerando os efeitos da geração de energia à montante.¹² O progresso em direção à construção mais sustentável está avançando, mas as melhorias ainda não conseguem acompanhar o crescimento do setor imobiliário. O consumo de energia por metro quadrado de edifícios precisa melhorar em média 30% até 2030 em comparação a 2015 para que possa estar de acordo com os objetivos climáticos globais estabelecidos no Acordo de Paris, vide Gráfico 9 (UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BULDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017)

Fonte: (UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BULDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017)

¹² O conceito de montante e jusante neste caso está relacionado com a análise de ciclo de vida de um determinado produto, em que os impactos ambientais “à montante” são aqueles que ocorrem em função dos processos e atividades do ciclo de vida do produto anteriores ao momento considerado para a análise.

Há espaço para a melhoria e o cenário em certos campos pode ser otimista e promissor, ainda que no cenário global permanecemos no cheque especial com o mundo e, mesmo no cenário mais otimista, ainda estejamos fora dos limites toleráveis para a mudança climática. O Gráfico 9 nos mostra que nos primeiros 15 anos deste século já reduzimos em quase 25% o consumo de energia por metro quadrado de edificação, contabilizando sua construção e seu uso, sendo que até 2030 devemos reduzir ainda mais 16% aproximadamente, com potencial de redução de 30% se aplicadas as ações prometidas por todos os países no Acordo de Paris.

Em adaptação e mitigando o impacto da mudança climática global, as cidades devem buscar se engajar em governos nacionais, instituições internacionais, redes de conhecimento, pesquisas nacionais e universidades internacionais, promovendo o compartilhamento do conhecimento, da expertise, do currículo e de profissionais entre as diferentes instituições. Medidas devem ser tomadas e ações devem ser implementadas, fazendo uso de novas tecnologias, novos sistemas construtivos, regulamentações e códigos urbanísticos capazes de coordenar o crescimento das cidades, bem como dar instruções e diretrizes ao crescimento de seus sistemas. Cada cidade, em seu contexto climático e em seu panorama político, econômico e social, deve avaliar seus sistemas e suas fraquezas, trazendo ações propositivas para reduzir seus impactos sobre o meio ambiente e mitigar suas contribuições às mudanças climáticas. (PARTICIPANTS AT THE IPCC CITIES AND CLIMATE CHANGE SCIENCE CONFERENCE, 2018)

Estas medidas, é claro, abarcam também as edificações e os ambientes construídos das cidades, que podem variar de diretrizes para as envoltórias e sistemas das edificações, parâmetros urbanísticos para a construção de novos edifícios, regras de uso e ocupação do solo, regulamentações nos usos de materiais e tratamento de superfícies, regulamentações para áreas verdes e vegetações, etc.

132 países mencionam edificações dentre suas ações de mitigação de impactos ambientais a partir da redução da emissão de carbono, sendo que algumas das soluções mais mencionadas envolvem as envoltórias das edificações e códigos de planejamento energético, desempenho de equipamentos, aquecimento solar e resfriamento. Os comprometimentos relacionados às tecnologias construtivas são um passo positivo para alcançar os objetivos globais para edificações energeticamente mais eficientes e responsáveis por menores emissões

de carbono. (UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017)

Infelizmente somente a menor parte das medidas, e num número decrescente ao longo dos anos, está relacionada aos códigos construtivos – isto é, aos planos de parametrização do crescimento urbano, como os planos diretores – e às demandas distritais, justificando tamanha necessidade de se trabalhar mais neste assunto.

4.2. FENÔMENOS DE AQUECIMENTO URBANO E MORFOLOGIA DA CIDADE

As mudanças climáticas já estão ocorrendo e impactando muitas regiões do planeta, gerando fortes efeitos principalmente nas áreas mais urbanizadas. Por exemplo, além do aumento da temperatura média, vemos um aumento na ocorrência dos eventos extremos, com a intensificação, por exemplo, das chuvas intensas e das ondas de calor, que são cada vez mais frequentes e intensas, inclusive no Brasil.

Megacidades, como São Paulo, são as mais vulneráveis ao aquecimento global e efeitos de aquecimento local provocados pela urbanização. Um exemplo muito próximo é Santos, no estado de São Paulo, onde em fevereiro de 2010, as temperaturas atingiram 39°C com sensação térmica de 45°C, registrando a morte de mais de 50 pessoas de faixa etária entre 60 e 97 anos. É preciso avaliar impactos e trabalhar soluções de adaptação, para tornar as nossas cidades mais resilientes ao aumento constante destes fenômenos. (DUARTE, 2015)

Os Fenômenos de Aquecimento Urbano são tratados no plural por DUARTE (2015) por não se tratarem somente de um único tipo de evento que ocorre em escala local ou global. Há uma multiplicidade de eventos que ocasionam os diferentes fenômenos de aquecimento urbano, em escala local, regional ou global, o que ocorre especialmente nas grandes cidades e centros urbanos. Mesmo as Ilhas de Calor, mais famoso fenômeno de aquecimento urbano, não existem de uma só forma ou causa.

As consequências, no entanto, são sempre as mesmas: aumento das temperaturas médias e máximas nos ambientes urbanos e maximização de eventos extremos, como ondas

de calor, períodos de estiagem, períodos de chuvas, etc. Estes eventos acabam por trazer seríssimos problemas à ocupação humana, pois as cidades não respondem corretamente às mudanças climáticas e microclimáticas que vivenciam e muitas vezes são perpetuados problemas de saúde e salubridade pública relacionados ao aquecimento urbano demasiado, problemas de conforto ambiental nos ambientes externos e internos, aumento do consumo de energia elétrica para o abastecimento de sistemas de climatização e soluções ativas de controle das condições ambientais frente às condições microclimáticas mais desfavoráveis.

Há ainda o aumento do ganho de calor pelos edifícios e o maior acúmulo de calor nas cidades, uma vez que os fenômenos de inversão térmica, os bloqueios à circulação dos ventos e os conjuntos de massas dos cânions urbanos dificultam a retirada de calor dos ambientes urbanos, bem como as gerações de calor antropogênicos através de edifícios e equipamentos formam novas fortes fontes de inserção de cargas térmicas no ambiente das cidades.

De 1961 a 2010, Phoenix, Atlanta e Greensboro, nos Estados Unidos, vivenciaram taxas de aquecimento várias vezes maior do que o aquecimento global. Acredita-se que a forma de ocupação dos subúrbios, com baixa densidade de ocupação, mas com grandes áreas pavimentadas e supressão da vegetação, seja uma das principais causas do aquecimento, provocando um desequilíbrio do balanço térmico das cidades, com a parcela de calor latente diminuindo cada vez mais. Para o balanço de energia da cidade, o fator mais determinante não é o seu tamanho ou sua densidade, mas sim as características da ocupação do solo. Áreas de baixa densidade também podem contribuir para o aquecimento de forma negativa, como os exemplos das espalhadas cidades com grandes subúrbios. (DUARTE, 2015)

Mas então, se não somente a densidade urbana contribui para o maior aquecimento, e sim todo um conjunto de variáveis relacionadas ao planejamento urbano, há uma série de ações que maximizam estes fenômenos, adotadas constantemente no planejamento e na gestão de nossas cidades, ora pela ausência de alternativas, ora pelo desconhecimento delas. Para melhorar a qualidade ambiental das cidades, temos que melhorar as condições que favoreçam o uso dos espaços públicos, para que as pessoas possam passar mais tempo nestes locais. O outro objetivo é minimizar o consumo de energia em edifícios. Por isso é importante conhecer os elementos do microclima que mais afetam o conforto humano, o consumo de

energia, e conhecer os elementos do microclima que podem ser alterados pelo planejamento e pelo desenho urbano. (DUARTE, 2015)

Por esta razão, os fenômenos de aquecimento urbano e as formas de mitigá-los são fatores decisivos para o planejamento urbano mais eficiente visando o uso do clima natural na criação de cidades mais agradáveis, confortáveis, saudáveis e melhor condicionadas para edifícios mais eficientes. Para a compreensão destes fenômenos, precisamos, portanto, entender o conceito do Balanço de Energia dos ambientes urbanos, isto é, a composição do cenário de entradas e saídas de energia (cargas térmicas) no espaço da cidade. Este balanço visa a seguinte igualdade de transferências de cargas de calor: e pode ser visto na Equação 9.

Equação 9 - Balanço de Energia (Saldo de Calor em Ambientes Urbanos)

$$\text{Convecção} + \text{Evaporação} + \text{Armazenamento de Calor} \\ = \text{Calor Antropogênico} + \text{Saldo de Radiação}$$

Fonte: (GARTLAND, 2010)

A Convecção é o calor transferido da superfície terrestre para a atmosfera, aumentada pelos ventos em maiores velocidades, turbulências de ar acima de superfícies ásperas ou com falhas e quanto maiores as diferenças de temperatura entre superfície e ar. A Evaporação, por sua vez, é o calor transferido da superfície para a atmosfera por meio de vapor de água gerado pela evaporação de água presente em superfícies molhadas e solos úmidos pelo aquecimento. A evapotranspiração é uma forma de evaporação realizada pela retirada de água do solo e envio à atmosfera por meio dos processos biológicos das plantas. Ambos os processos são aumentados quanto maior a umidade disponível na superfície, maior a Velocidade do Ar, maior a Temperatura do Ar e menor a sua umidade. (FROTA e SCHIFFER, 2001)

O Armazenamento de Calor é o acúmulo de calor pelos materiais da superfície e dos edifícios, com aumento de sua temperatura. Quanto maior a capacidade calorífica do material, maior a quantidade de calor capaz de armazenar, oscilando mais a temperatura. (MONTEIRO, 2018) Quanto maior a condutividade térmica do material, maior a sua aptidão a conduzir o calor para seu interior ao invés de refleti-lo, carregando o calor para suas camadas mais

profundas e oscilando menos sua temperatura. O Calor Antropogênico é o calor produzido pelas atividades humanas com seus edifícios, equipamentos e pessoas. Maior quanto mais densamente povoada é uma região. (GARTLAND, 2010)

Por fim, o Saldo de Radiação é a radiação acumulada pela atmosfera terrestre a partir de quatro processos: Radiação Atmosférica (calor emitido por superfícies na atmosfera, como vapor e gotículas de água, nuvens, poluição, poeira, etc.), Radiação da Superfície (calor irradiado a partir de uma superfície), Radiação Solar Global (quantidade de energia radiada pelo sol que é recebida conforme a estação do ano, a localização, o horário do dia, a nebulosidade, a condição atmosférica) e Radiação Solar Refletida (quantidade de energia refletida pela superfície terrestre de acordo com as refletâncias de seus materiais dependendo dos aspectos, cores, texturas, composições, porosidades, emissividades, dos materiais de superfície).

Nas áreas urbanas, há um aumento considerável do calor antropogênico devido à grande concentração de habitantes, edificações, veículos e equipamentos, que geram enormes quantidades de calor que se acumulam nas cidades. Além disso, com a redução da cobertura vegetal, há uma redução forte da perda de calor por evaporação e com a redução do escape imediato de energia proporcionado pelo processo de evaporação, há um aumento considerável do armazenamento de calor durante o dia, energia que é liberada à atmosfera durante a noite em menor escala e em emissões radiantes aumentadas. (DUARTE, 2015)

Assim, condições climáticas diferenciadas impõem novos impactos às cidades e seus usuários, e, por esta razão, trabalhos de adaptação e mitigação devem ser pensados, incluindo o urbanismo, setor no qual a adaptação deve buscar a redução dos impactos das mudanças climáticas e a previsão de suas prováveis consequências, frente às alterações dos principais parâmetros climáticos e à busca pela resiliência e redução da vulnerabilidade. (DUARTE, 2015)

O criador do termo “Ilhas de Calor Urbanas”, OKE, acredita que as Ilhas de Calor Urbanas são facilmente definidas pelo superaquecimento das áreas das cidades a partir de um modelo energético extremamente simples: alteração de temperatura – que pode ser facilmente medida por meio de termômetros e registros históricos – é ocasionada pela diferença entre ganhos de calor e perdas de calor, isto é, um balanço energético comum. (OKE, 2002)

Neste sentido, as ilhas de calor um dos principais fenômenos microclimáticos de aquecimento urbano, ocorrem justamente porque muitos materiais de construção absorvem maior quantidade de calor da radiação solar recebida do que os materiais e superfícies naturais de áreas vegetadas. Isto por uma série de características destes materiais, como impermeabilidade e estanqueidade, bem como as cores escuras das suas superfícies e altos valores de absorptância térmica.

As ilhas de calor urbanas são fenômenos de aquecimento urbano tipicamente noturnos visíveis a partir de algumas principais características marcantes. Em comparação com áreas não urbanizadas, as regiões urbanas marcadas pelas ilhas de calor são frequentemente mais quentes no período noturno e suas temperaturas de ar são mais elevadas em consequência do aquecimento das superfícies. (GARTLAND, 2010)

Estas diferenças de temperatura são agravadas em dias de maior insolação, céu limpo e baixa incidência de ventos, bem como são maximizadas em áreas com menos vegetação. Seus efeitos podem chegar à camada atmosférica de limite da influência microclimática da urbanização, a aproximadamente 2000m de altitude. (GARTLAND, 2010)

Ainda segundo a autora, as principais características urbanas que facilitam a criação das Ilhas de Calor são a evaporação reduzida, o maior armazenamento de calor, o aumento do saldo de radiação (por diversas razões como aumento da radiação solar direta ou aumento da reflexão e aprisionamento de calor), a convecção reduzida e o aumento de calor antropogênico (pela liberação de calor por equipamentos e edifícios).

Há outros fatores urbanísticos e de operação das cidades que podem contribuir para a formação e agravamento das ilhas de calor e dos demais fenômenos de aquecimento urbano, como o calor antropogênico produzido pelo homem, a poluição do ar, materiais construtivos possuem propriedades que tendem a aumentar o armazenamento de calor, como alta condutividade térmica e alta capacidade calorífica e, observando a geometria da cidade e dos cânions urbanos, as menores velocidades de vento. (GARTLAND, 2010)

Tabela 5 – Principais características urbanas que agravam as ilhas de calor

CARACTERÍSTICA	EFEITO SOBRE BALANÇO DE ENERGIA
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos (difusividade = condutividade / capacidade calorífica)	Aumento do armazenamento de calor
Aumento da utilização de energia	Aumento do calor antropogênico
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumento do saldo de radiação
Geometrias urbanas que “aprisionam” o calor	Aumento do saldo de radiação
Aumento dos níveis de poluição	Aumento do saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Redução da Convecção
Ausência ou Insuficiência de Vegetação	Redução da Evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Redução da Evaporação

Fonte: (GARTLAND, 2010)

A Tabela 5 traz um resumo das principais características urbanísticas que podem levar a um agravamento das ilhas de calor através dos impactos no balanço térmico. Os aspectos urbanos estão divididos entre aqueles que ocasionam um aumento do armazenamento do calor, um aumento do calor antropogênico, um aumento do saldo de radiação, uma redução da perda de calor por convecção ou uma redução da perda de calor por evaporação.

Também é importante o efeito da Poluição do Ar, que, durante o dia, diminui a quantidade de radiação que chega à superfície terrestre, e, por isso, é possível ver alguns exemplos, como na Cidade do México em 1999, onde houve redução do ganho de energia solar em até 22% por conta da obstrução ocasionada pela camada de poluição. Entretanto, partículas de poluição tendem a absorver maior quantidade de energia radiante que o ar, aumentando a radiação atmosférica. Por isso, durante o dia é difícil determinar os efeitos da poluição sobre o saldo de radiação, porém durante a noite é claro que há seu aumento em função do acúmulo de calor nas partículas de poluição. (GARTLAND, 2010)

O Calor Antropogênico, por sua vez, também possui grande impacto nas Ilhas de Calor Urbanas e está diretamente relacionado à emissão de calor pelas diversas atividades urbanas nos ambientes urbanos externos e nos edifícios: transporte, mobilidade, iluminação, climatização, equipamentos, maquinários, etc. Pode variar muito em função das diversas características locais: clima, horário, época do ano, sazonalidades, funções e aspectos da cidade, região, costumes locais, etc., isto porque as diversas características locais ditam o funcionamento das atividades humanas e conseqüentemente da emissão de calor correlata.

No Brasil, esperamos, por exemplo que, no verão, haja um consumo energético maior devido à climatização artificial de edifícios com uso de condicionadores de ar, atividade que emite uma grande quantidade de calor dos edifícios para os ambientes externos. Há também grande emissão de calor pelos transportes, iluminação, etc. Outras características urbanas que impactam fortemente na criação de fenômenos de aquecimento urbano passam pelas características das coberturas das superfícies da cidade e das edificações.

As coberturas de edificações cobrem cerca de 20% a 25% das cidades e seus materiais mais típicos podem atingir temperaturas entre 50°C e 90°C, refletâncias solares entre 5% e 25% e absorvâncias entre 75% e 95%. A maior parte dos materiais de coberturas possui emissividade térmica alta maior que 85%, enquanto que superfícies metálicas, por exemplo, têm emissividade térmica entre 20% e 60%. Por esta questão, materiais de cobertura atuais refletem a energia solar de maneira insatisfatória. (GARTLAND, 2010)

A redução da temperatura deve ser obtida pela redução dos ganhos de calor (por meio de sombreamentos, menores emissões de cargas térmicas, menores emissões de gases que ocasionam o acúmulo de calor e menor criação de condições físicas e ambientais nas cidades que causam o mesmo efeito) por meio do aumento das perdas de calor (reflexão, convecção, etc.) ou por meio da “omissão” de calor (evaporação ou armazenamento). Na Figura 8, OKE resume estes fatores e causas das ilhas de calor urbanas, bem como os principais temas de potenciais de mitigação das mesmas. (OKE, 2002) Entretanto, na prática, OKE (2002) considera que as Ilhas de Calor Urbanas são processos muito mais complexos que podem ser divididos em diversas categorias, cada qual com suas características processuais, espaciais, temporais, naturais e seus impactos. Cada uma com uma escala de causa, consequência e interações envolvidas.

Isto significa que, para mitigar o problema, deve-se conhecer qual Ilha de Calor está sendo estudada. Para o clima urbano, são relevantes principalmente as Ilhas de Calor em Mesoescala, Microescala e Escala Local, ou seja, as Ilhas de Calor de escala global (relacionada às condições climáticas e padrões climáticos de vastas regiões do globo) e sinóptica (relacionada às dinâmicas de massas de ar e padrões climáticos com relação a balanços térmicos sazonais e/ou periódicos, como ondas de calor) podem ou não possuir relação direta e indireta – de causa e consequência – não só com o crescimento e o espalhamento das cidades, mas também com todo o processo de urbanização, industrialização e alteração da natureza ao redor do mundo. (OKE, 2002)

Figura 8 - Fatores e Potenciais de Mitigação das Ilhas de Calor

Fonte: (OKE, 2002)

Ou seja, as Ilhas de Calor podem ser variadas e alimentadas por uma série de fatores em escalas microurbanas, urbanas e metropolitanas (macrourbanas), onde atuam questões geográficas e morfológicas (clima, topografia, entorno rural da cidade), época (sazonalidades e épocas do ano), tamanho e desenho da cidade, além de suas funções e características, clima (regime de ventos, cobertura do céu e chuvas, que moldam e limitam as Ilhas de Calor), a função da cidade (consumo de água e energia, geração de gases e poluição) e morfologia da cidade (desenhos, geometrias, materiais, áreas verdes, etc.) que são as características de maior interferência humana direta capazes de maximizar os efeitos das ilhas de calor ou com potencial para sua mitigação. (OKE, 2002)

A Figura 9 apresenta as três escalas de ilhas de calor existentes nas cidades: as ilhas de calor de Mesoescala, de Escala Local e de Microescala. Em Escala Local vemos alterações microclimáticas que dizem respeito à escala de vizinhança, isto é, bairros, distritos, parques, quarteirões, conjuntos de quarteirões, especialmente em função das condições de uso e ocupação do solo, densidade construída, condições de ventilação e insolação, materiais utilizados, etc. Já na Microescala, há mudanças microclimáticas em áreas da cidade, na escala das quadras, isto é, alterações de condições de temperatura devido às propriedades de superfícies específicas, como telhados, coberturas, muros, e de objetos e núcleos, como áreas, edifícios, cânions urbanos em ruas e avenidas. As Ilhas de Calor de Mesoescala são aquelas que podem interferir nas condições climáticas regionais, relacionadas a efeitos da proximidade com regiões costeiras ou vales, aos efeitos de mudanças térmicas das cidades, formação de ventos e nuvens. São aquelas formadas entre a superfície terrestre e a zona das nuvens no céu, isto é, interferindo em vastas áreas que podem coincidir com toda uma cidade.

Figura 9 – Três Principais Escalas de Ilhas de Calor nas Cidades

UBL = Camada Urbana Limite e UCL = Camada Urbana de Cobertura

Fonte: (OKE, 2002)

Desta forma, OKE (2002) propõe três principais tipos de Ilhas de Calor Urbanas que podem ser observadas na escala da cidade e com ela interagir diretamente. As Ilhas de Calor Urbanas Superficiais (*SUHI – Surface Urban Heat Islands*), relacionadas principalmente ao balanço térmico das superfícies que pode ser diretamente impactado pela orientação da superfície e sua exposição ao sol, céu e vento, capacidade de reflexão da radiação incidente, em especial infravermelho, exposição da superfície à umidade e evaporação, capacidade de conduzir e difundir o calor, rigidez. (OKE, 2002)

As Ilhas de Calor Urbanas na Camada de Cobertura (*CLUHI – Canopy Layer Urban Heat Islands*), também relacionadas ao core dos centros urbanos, porém correlacionada especialmente ao aprisionamento de calor em cânions urbanos e às camadas de coberturas das edificações. As Ilhas de Calor Urbanas na Camada Limite (*BLUHI - Boundary Layer Urban Heat Islands*), tratam já de uma escala mais metropolitana, isto é, da cidade, uma vez que são alimentadas pela convecção do calor emitido / refletido / acumulado nas cidades. (OKE, 2002)

A morfologia urbana tem grande impacto nas Ilhas de Calor em Escala Local e em Microescala, e, por consequência, nas Ilhas de Calor Urbanas Superficiais e nas Ilhas de Calor Urbanas na Camada de Cobertura, e esta relação é objeto de investigação deste trabalho. A Geometria Urbana interfere drasticamente no saldo de radiação uma vez que a radiação é refletida de forma difusa e em diversas direções pelas superfícies, conforme Figura 10. Desenhos em formatos de cânions auxiliam o aprisionamento de radiação devido à reflexão de superfícies sobre outras superfícies, como paredes. Este aprisionamento do calor é acentuado após o pôr do sol e depende diretamente da proporção entre altura e largura dos edifícios. (OKE, 2002)

Diversos estudos confirmaram que cânions urbanos profundos podem ajudar a reduzir a Temperatura do Ar durante o dia devido ao sombreamento, uma boa justificativa para os cânions urbanos mais profundos em lugares onde a proteção contra o ganho solar poderia proporcionar melhor conforto térmico e temperaturas de superfície mais baixas. No entanto, surge um conflito potencial à noite, quando cânions profundos tendem a “aprisionar” radiação de ondas longas liberada pelos edifícios e superfícies, auxiliando no efeito de ilha de calor noturna. Em muitos estudos, os efeitos da geometria urbana são estudados a partir da variação

na altura do edifício e na largura da rua, que é levada em consideração usando a razão Altura / Largura (H / W)¹³. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Figura 10 – Impactos da Geometria Urbana na Reflexão e Absorção de Calor

Fonte: (OKE, 2002)

Por exemplo, os estudos de SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS (2017) colocam que cânions urbanos com proporções variáveis e diversidade na forma urbana poderiam reduzir a Temperatura do Ar de 1°C a 4°C em comparação com os cânions urbanos uniformes. No estudo, as áreas residenciais com diferentes alturas de construção e proporções tiveram melhor desempenho em termos de microclima e conforto térmico para pedestres quando comparadas com áreas residenciais com características urbanas regulares.

Estudos de SHASHUA-BAR, TZAMIR e HOFFMAN (2004) trazem simulações com configurações de edifícios que representam ruas urbanas de Israel, região quente e úmida no verão, nas quais sessenta configurações diferentes permitiram verificar que o impacto térmico devido às várias configurações de edifícios estudadas é significativo. Verificou-se que o espaçamento amplo tem um efeito de aquecimento, enquanto o aprofundamento do cânion

¹³ Razão entre a altura das edificações e a largura do cânion urbano, isto é, a largura da via.

(alto valor da relação H/W – altura/largura) tem um forte efeito de resfriamento, e o impacto térmico na Temperatura do Ar da configuração do cânion não depende da orientação da rua. (SHASHUA-BAR, TZAMIR e HOFFMAN, 2004)

No entanto, para o fim da definição do impacto da geometria urbana nas condições microclimáticas locais, diversos estudos, como os de KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011) afirmam que são encontradas limitações na busca de relações diretas entre a geometria urbana e as condições de conforto térmico dos pedestres, uma vez que nunca foi possível avaliar efeitos individuais sem a interferência de outras variáveis. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

Outra limitação é o fato de que uma importante característica da geometria urbana é frequentemente negligenciada quando se assume que os cânions urbanos têm um caráter uniforme, com alturas uniformes de construção, o que é uma simplificação aceitável ao avaliar assentamentos urbanos planejados com blocos contíguos homogêneos, mas não para áreas urbanas mais complexas. Justamente em contraste com essa noção de homogeneidade das edificações nos modelos de simulação, e tentando compreender a variedade de alturas e geometrias das edificações que compõem a morfologia urbana, pesquisas recentes apontaram que cidades geralmente representam padrões irregulares de construção em cânions urbanos, e examinar o microclima da cidade ignorando sua diversidade física pode produzir resultados impróprios. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Nos modelos de simulação, a diversidade ou a complexidade da geometria urbana pode ser identificada pelo desvio padrão da razão H/W , enquanto que, para superar as limitações envolvendo os impactos de outras variáveis urbanas que não a geometria, os modelos de simulação podem adotar o mesmo material de construção e albedo para todos os casos, portanto, as condições microclimáticas resultantes são principalmente uma função da geometria. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Além disso, o Fator de Visão de Céu (FVC) ¹⁴ tem sido comumente usado em estudos de troca de energia, e simulações indicam que o FVC sozinho pode produzir diferenças de temperatura de até 5°C a 7°C. KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011) colocam que o Fator de Visão

¹⁴ O Fator de Visão de Céu (FVC) também é frequentemente referenciado por seu nome em inglês “Skyview Factor”, ou pela sigla correspondente “SVF”.

de Céu (FVC) é um indicador da quantidade de céu visível, disponível para dispersão de energia térmica e também para insolação direta, em um ponto, variando de 0 a 1, sendo 1 correspondente a uma área sem qualquer obstáculo entre o ponto escolhido e o céu, ou seja, com visão totalmente desobstruída do céu. Várias pesquisas estudam a relação entre o FVC e a ilha de calor noturna, mas há também aqueles sugerindo uma relação entre a geometria urbana, definida pelo FVC, e a temperatura ambiente, e outros demonstrando impactos desprezíveis do FVC na temperatura local. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

Em pesquisas conduzidas por KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011), os resultados sugerem que o FVC não é crucial para determinar a sensação térmica ao ar livre durante o dia devido à diversidade de outras variáveis climáticas e atributos urbanos que afetam a Temperatura do Ar e a Temperatura Radiante Média (TRM). Neste caso, foi verificado que existe maior probabilidade de formação de ilhas de calor urbanas e a diferença entre Temperatura Radiante Média e Temperatura do Ar aumenta para os maiores valores de FVC, embora tal relação possa variar. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

Ainda de acordo com KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011), verificou-se que, em dias com temperaturas mais elevadas, locais com menor obstrução do céu, ou seja, com maior valor de FVC, levam a um maior desconforto por calor nos espaços urbanos externos. No entanto, os mesmos locais podem fornecer maiores condições de conforto em dias com temperaturas mais baixas. Por exemplo, cânions urbanos com maior valor de FVC terão mais acesso à luz solar e, portanto, temperaturas mais confortáveis nos períodos de inverno do que áreas com restrições sobre a quantidade de céu visível. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

Por sua vez, Temperatura Radiante Média (TRM) tem uma relação direta com a quantidade de radiação solar incidente, que é impactada pelo desenho urbano, ainda que não haja uma relação direta do única entre o FVC e o acesso solar, uma vez que a radiação solar pode atingir de diferentes formas pontos com valores semelhantes de FVC. Além disso, embora o impacto do acesso solar e do sombreamento possa ser explicado com imagens olho-de-peixe, a determinação das características do fluxo de vento e seus efeitos usando essa abordagem não é simples. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011)

No entanto, para MINELLA e KRÜGER (2015), nota-se uma divergência entre pesquisas que apontam haver relação entre a geometria urbana, definida pelo FVC, e a temperatura ambiente, e aquelas que demonstram pouca influência deste parâmetro para a determinação da temperatura local. Embora o FVC possa auxiliar na definição da forma urbana, este é um parâmetro limitado para descrever as irregularidades de sua geometria, ainda que seja um avanço quando comparado com uma simples análise somente da relação entre a altura da edificação e largura da caixa de rua, relação H/W, uma vez que a radiação solar pode atingir de maneiras distintas pontos com valores de FVC semelhantes. (MINELLA e KRÜGER, 2015)

Isto ocorre principalmente porque, como colocam SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS (2017), enquanto o desvio padrão da razão H/W representa a diversidade física da geometria das edificações e das vias em função de suas diferentes alturas e larguras, o desvio padrão de FVC não representa adequadamente sua variabilidade, pois os cânions são compactos e estreitos e, apesar das irregularidades de alturas, diferentes pontos podem apresentar valores semelhantes de FVC. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

SEÇÃO III: MEDIÇÕES EMPÍRICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO

5. MATERIAL E METODOLOGIA DAS MEDIÇÕES

5.1. METODOLOGIA DAS MEDIÇÕES

Para a produção de dados primários, foi estudado e caracterizado um espaço urbano existente onde foram realizadas medições empíricas de campo das condições térmicas locais através de equipamentos de medição de variáveis microclimáticas.

As medições empíricas de dados microclimáticos foram realizadas em um período de 40 dias consecutivos, entre os dias 06/12/2018 e 14/01/2019, sendo anteriormente precedidas por um período de pré-teste de medições no mesmo local, com duração 15 dias em outubro de 2018.

Entre dezembro de 2018 e janeiro de 2019, as medições oficiais para a pesquisa comportaram o uso de dois *hobos* de medição externos cada qual equipado com termômetro de bulbo seco protegido e termômetro de globo e uma Estação Científica Campbell equipada com termômetro de bulbo seco, termômetro de globo, termohigrômetro, piranômetro, anemômetro digital ultrassônico com bússola.

No caso desta pesquisa, os dados microclimáticos térmicos coletados em campo foram: Direção do Vento, Radiação Solar Global, Temperatura de Globo, Temperatura do Ar, Umidade Relativa e Velocidade do Ar.

O ponto de medição se localizou em um bairro com tipologia típica representativa de um momento de urbanização de regiões consolidadas de São Paulo, que, com casas e sobrados, e poucos edifícios mais altos, foi ideal para a realização das medições sem a obstrução dos equipamentos.

As medições foram realizadas em uma residência na Zona Sul de São Paulo, localizada no bairro de Mirandópolis, próximo às estações Santa Cruz e Praça da Árvore do Metrô, conforme Figura 14. Este ambiente foi caracterizado através de medições in loco das variáveis térmicas microclimáticas do espaço aberto analisado (Temperatura do Ar, Temperatura de Globo, Umidade Relativa, Incidência de Radiação e Velocidade do Ar) e qualitativos (aspectos

físicos e geométricos do espaço, revestimentos, vegetação, muros e obstáculos, padrão de ocupação da área, alturas e densidades das massas edificadas).

Figura 11 - Localização do ponto de medições

Houve dois pontos externos totalmente descobertos, sendo um deles localizado em piso a cerca de 3 m de altura em relação ao solo (equipamentos a aproximadamente 4,5 m), na cobertura de uma edícula da residência em local descoberto, porém enclausurado por paredes laterais do quintal da residência, conforme Figura 12, e, por esta razão protegido do vento e com visão de céu parcialmente obstruída.

O outro ponto se localizou em piso a cerca de 6 m de altura (equipamentos a aproximadamente 7,5 m) na cobertura da casa em local totalmente desobstruído nas laterais e com visão de céu praticamente 100% desobstruída, conforme Figura 16.

Figura 12 - Subpontos de medição da laje inferior com Hobo e Estação Meteorológica

Figura 13 - Subponto da laje de cobertura com hobo, anemômetro e piranômetro

A caracterização do espaço urbano de entorno do ponto onde se realizaram as medições foi tanto qualitativa (descrição dos aspectos e características da morfologia local, das construções, da vegetação, das superfícies de solo, das condições de uso e ocupação do solo, etc.) quanto quantitativa (índices numéricos representativos da realidade urbana local, como taxa de ocupação, área ocupada, coeficiente de aproveitamento, volumetria construída, fator de visão de céu, dimensões das vias, etc.).

O levantamento das dimensões físicas das construções (altura, área de projeção, formato e posicionamento) e das áreas de superfícies (asfalto, passeio de pedestres, etc.) foi realizado pelo mapeamento em SIG¹⁵ de edifícios e seus respectivos dados de altura e área de projeção do Mapa Digital da Cidade (MDC) da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano – SMDU da Prefeitura do Município de São Paulo¹⁶.

As medições foram ininterruptas e, ao longo do período, foram feitos registros diários das condições climáticas e das condições de instalação e localização dos equipamentos, através de fotos datadas, um diário de condições climáticas diário e registros das previsões meteorológicas públicas. Os registros auxiliam na escolha dos dias de medição que alimentaram a calibração do ENVI-met para as simulações utilizadas.

5.2. EQUIPAMENTOS E POSICIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

- ***Câmera Fotográfica com Lente Hemisférica do tipo “Olho de Peixe”***, de propriedade do LABAUT, modelo Nikon Coolpix 4500 com 4,0 Megapixels e 4,0x de zoom ótico, com lente Nikon Fisheye Converter FC-E8 0.21x Japan. Patrimônio USP N° 016.001922.

Figura 14 – Câmera Fotográfica com lente do tipo “Olho de Peixe”

- ***Estação Campbell Scientific***, de propriedade do LABAUT, equipada com:

¹⁵ Sistema de Imagem Georreferenciada

¹⁶ <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/> (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2019)

- **Anemômetro 2D Ultrassônico** modelo WindSonic4 da Campbell Scientific, Inc. para medições da Velocidade do Ar e da Direção do Vento. (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2014). Faixa de medição da Direção do Vento de 0° a 359° com resolução de 1° e precisão de $\pm 3^\circ$. Faixa de medição da Velocidade do Ar de 0 a 60 m/s com resolução de 0,01 m/s e precisão de $\pm 2\%$ para até 12 m/s.
- **Conjunto de Bateria e Painel Solar Fotovoltaico**
- **Data Logger** modelo CR800 da Campbell Scientific, Inc. com capacidade para conexão de todos os equipamentos citados e registros de dados por longos períodos (meses) para periodicidade de até 1 em 1 minuto. (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2014)
- **Piranômetro** modelo CMP3-L da Campbell Scientific, Inc. com domo de proteção e proteção solar para medição da radiação solar global, classificado como “*ISO-second-class pyranometer*” de acordo com as normas internacionais. (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2015). Faixa de medição até 2000 W/m² com uma imprecisão em função da Temperatura do Ar de $\pm 5\%$ na faixa de -10°C a 40°C e uma imprecisão de $\pm 2\%$ para 1000 W/m². Sendo assim, a imprecisão máxima para valores da ordem de 1000 W/m² pode ser de $\pm 7\%$.
- **Proteção para Termômetro contra a Radiação Solar** modelo 41003-5 | 10-Plate Naturally-Aspirated Radiation Shield da Campbell Scientific, Inc. (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2015)
- **Termohigrômetro** modelo HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe da Campbell Scientific, Inc. para medições de Temperatura do Ar e Umidade Relativa. (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2011). Faixa de medição da Temperatura do Ar de -39,2°C a +60°C com resolução de 0,1°C e com precisão variando conforme a temperatura registrada. Nota-se que, para a faixa de trabalho entre 0°C e 40°C a maior imprecisão é de $\pm 0,3^\circ\text{C}$. Faixa de medição da Umidade Relativa de 0,8%UR a 100%UR com resolução de 0,05%UR com precisão variável de $\pm 2\%$ UR nas faixas de 0%UR a 90%UR e de 3%UR na faixa de 90%UR a 100%UR. Há ainda uma imprecisão máxima de 7,5%UR na faixa de 0%UR a 90%UR.

- **Termômetro de Globo com globo negro de 15,2 cm de diâmetro** modelo BlackGlobe Temperature Sensor for Heat Stress da Campbell Scientific, Inc. com sensor de temperatura modelo BlackGlobe-L (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2014). Faixa de medição da Temperatura de Globo de -5°C a +95°C com resolução de 0,1°C e precisão de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ de 0°C a 70°C e de $\pm 0,3^\circ\text{C}$ até 95°C.
- **Dois Hobos de Medições**, de propriedade do LABAUT, equipados com:
 - **Baterias**
 - **Data Logger** (dois por hobo, um para o termohigrômetro, outro para o termômetro de globo) modelo HOBO® Pro v2 Loggers, resistente à chuva, ao vento e à umidade, com capacidade para 42.000 medições, com periodicidade programável de 1 segundo a 18 horas por medição, com bateria de lítio para 3 anos, para medições de temperatura e Umidade Relativa. (ONSET COMPUTER CORPORATION, 2015). Faixa de registro de medições de temperatura de -40°C a +70°C com resolução de 0,02°C e precisão de $\pm 0,21^\circ\text{C}$ na faixa de 0°C a 50°C. Faixa de registro de medições de Umidade Relativa de 0%UR a 100%UR com resolução de 0,03%UR e precisão de $\pm 2,5\%$ na faixa de 10%UR a 90%UR.
 - **Proteção para Termômetro contra a Radiação Solar** modelo RS1 Solar Radiation Shield (HOBO DATA LOGGERS, 2016)
 - **Termohigrômetro** comum para medições de Temperatura do Ar e Umidade Relativa protegido por proteção contra a radiação solar.
 - **Termômetro de Globo** composto por termômetro de bulbo seco de mercúrio inserido em globo de latão pintado na cor cinza claro com diâmetro de 17 cm.
- **Softwares de extração dos dados de medições dos Hobos de Medições Externas:** *Software* HOBOWare® (ONSET COMPUTER CORPORATION, 2015) e **Softwares de extração dos dados de medições da Estação Campbell:** Campbell Scientific *Software* (CAMPBELL SCIENTIFIC, INC., 2015)¹⁷

¹⁷ A extração dos dados dos equipamentos de medição foi realizada pelo técnico do LABAUT, Ranieri Higa.

6. MEDIÇÕES EMPÍRICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO

6.1. MEDIÇÕES DE PRÉ-TESTE EM OUTUBRO DE 2018

Além da experiência previamente adquirida, nas pesquisas anteriores, para o manuseio dos equipamentos de medição e tratamento dos dados resultantes, em trabalho de pesquisa para a disciplina de pós-graduação da FAU USP, AUT 5842 – Cidades e Mudanças Climáticas, ministrada pela Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte, foi realizado um pré-teste de medições de variáveis microclimáticas por um período de 12 dias em Outubro de 2018, entre 21/10/2018 e 01/11/2018, no mesmo local onde vieram a ser realizadas as medições finais da pesquisa.

O ponto de medição, no mesmo local das medições finais deste trabalho, se localizou em região predominantemente residencial com geometria predominantemente horizontal, isto é, um bairro tipicamente ocupado por casas e sobrados e vias locais, como pode ser visto na Figura 15 e na Figura 16. Os equipamentos foram fixados na laje inferior, cobertura da edícula, nos fundos do terreno da residência. O local, com diversas obstruções laterais em função da proximidade de paredes e construções próximas, conforme Figura 17, fica a cerca de 3m de altura, com os equipamentos a aproximadamente 4,5m em relação ao solo, conforme Figura 18.

Estas medições auxiliariam no entendimento de como poderiam ser fixados os equipamentos de medição no local por um longo período, bem como para o ensaio de questões de segurança na alocação dos equipamentos no local. Além disso, serviram para compreender melhor os impactos das obstruções laterais das construções próximas no registro de medições de variáveis térmicas, que inviabilizariam o uso dos resultados das medições neste local para efeito deste trabalho.

A partir destas medições pode-se perceber os grandes impactos que os efeitos de sombreamento e de obstrução aos ventos ocasionados pelo contexto do ponto de medição: 100% a céu aberto e 100% desobstruído verticalmente, mas 100% obstruído lateralmente pelas construções próximas em todo o entorno do equipamento de medições.

- Estação Cantareira (Mirante de Santana), do INMET¹⁸, localizada na Zona Norte da cidade de São Paulo, no bairro de Santana, número A701, Código OMM 86910, Latitude: -23.496294°, Longitude: -46.620088°, Altitude: 786 metros. (INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2020)
- Estação Água Funda (Parte do Estado), do IAG USP, localizada na Zona Sul da cidade, no bairro Vila Água Funda. (IAG/USP, 2020)
- Estação Itutinga (“Itu”, na Serra do Mar), do IAG USP, localizada na Serra do Mar, na zona Sul da Região Metropolitana de São Paulo, em São Bernardo do Campo, em área rural de Mata Atlântica do parque estadual, Latitude: -23°49'29", Longitude: -46°30'33", Altitude: 747 m. (GROUP OF MICROMETEOROLOGY, 2019)

As localizações das estações meteorológicas consultadas e do ponto de medições podem ser consultadas na Figura 19.

Figura 19 - Localização do ponto de medições e das estações meteorológicas

¹⁸ INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

O Gráfico 10 e o Gráfico 11 apresentam os valores medidos de Temperatura do Ar (Tar), Umidade Relativa (UR) e Temperatura de Globo (Tg), e os valores calculados de Temperatura Radiante Média (TRM) e Temperatura Equivalente Percebida (TEP). Podemos ver que a Tar variou de 15°C a 33°C aproximadamente. Fica nítida a correspondência entre máximas e mínimas da Tar e da Tg, bem como entre máximas da Tar e mínimas da UR, e vice-versa.

Gráfico 10 - Medições de Pré-teste: Tar, UR e Tg

Gráfico 11 - Medições de Pré-teste: Tar, Tg, TRM e TEP

Também são nítidos os períodos das 6h às 18h quando o gráfico da Tg se descola do gráfico da Tar, com forte acentuação no acréscimo e decréscimo da temperatura de globo, com picos aproximadamente entre 12h30 e 14h00. Há boa convergência entre Tar, Tg, TRM e TEP, mas a TRM apresenta amplitudes muito superiores às da Tar, da Tg e do TEP, com máximas muito maiores, indicando a forte insolação no período diurno das medições.

Nos períodos diurnos, a TEP se posicionou praticamente ao longo de toda a medição em valor próximo, levemente maior, à Tg, sempre intermediário entre Tg e TRM, enquanto que, nos períodos noturnos, com as mínimas de Tar, TRM e Tg, a TEP teve também suas mínimas, mas sempre superiores a todas as outras medidas. A amplitude do TEP é bastante inferior que às amplitudes dos demais dados.

Tabela 6 - Medições de Pré-Teste: Temperatura do Ar - Comparação com Estações

	MEDIÇÕES T. AR (°C)	ESTAÇÃO CANTAREIRA (MIRANTE DE SANTANA) T. AR (°C)	ESTAÇÃO ÁGUA FUNDA (PARQUE DO ESTADO) T. AR (°C)
MÉDIA	19,6	19,9	18,5
MÁXIMO	32,1	30,9	31,0
MÍNIMO	13,9	14,6	11,8
DESVIO PADRÃO	3,6	3,8	3,4

Tabela 7 - Medições de Pré-Teste: Umidade Relativa - Comparação com Estações

	MEDIÇÕES UR (%)	ESTAÇÃO CANTAREIRA (MIRANTE DE SANTANA) UR (%)	ESTAÇÃO ÁGUA FUNDA (PARQUE DO ESTADO) UR (%)
MÉDIA	81,9	78,1	84,5
MÁXIMO	97,8	97,0	97,0
MÍNIMO	42,4	46,0	44,0
DESVIO PADRÃO	12,4	13,6	12,3

O Gráfico 12 e o Gráfico 13, bem como a Tabela 6 e a Tabela 7, por sua vez, apresentam de forma comparativa a Temperatura do Ar e a Umidade Relativa medidos em campo frente

aos valores registrados pelas Estações Meteorológicas da Cantareira (Mirante de Santana), da Água Funda (Parque do Estado) e Itutinga (“Itu”, Serra do Mar). Há nos gráficos o registro de outros dois pontos de medição utilizados para a disciplina, cujos levantamentos ocorreram simultaneamente às medições de pré-teste em questão.

Gráfico 12 - Medições de Pré-Teste: Temperatura do Ar - Comparação com Estações

Gráfico 13 - Medições de Pré-Teste: Umidade Relativa - Comparação com Estações

Há razoável equivalência e proximidade entre as diferentes medições, inclusive com as estações, com exceção da Estação Itutinga (“Itu”, Serra do Mar), havendo boa convergência

das máximas e mínimas. Desconsiderando Itutinga (“Itu”, Serra do Mar), a Estação Água Funda (Parque do Estado) apresentou as menores máximas e mínimas, dada a localização dentro do Parque do Estado.

A medição, em ponto interno à cidade apresentou máximas e mínimas de Temperatura do Ar superiores às estações meteorológicas, associadas aos fenômenos de aquecimento urbano, inclusive noturnos como as ilhas de calor (maiores mínimas no período noturno). Nas estações meteorológicas as amplitudes térmicas são menores do que nas medições. Já para a Umidade Relativa, as medições apresentaram máximas e mínimas inferiores à estação Água Funda, e somente em alguns momentos houve maior umidade no ponto de medições do que nas estações meteorológicas.

Foi possível perceber pelas medições os efeitos dos fenômenos de aquecimento urbano nos pontos de medição mais centrais, em especial as ilhas de calor, visíveis nos períodos noturnos com as maiores temperaturas mínimas com relação às estações meteorológicas. Os fenômenos de aquecimento urbano ficam visíveis também nos períodos diurnos com os aumentos das temperaturas máximas com relação às estações, o que provavelmente está associado ao acúmulo de calor nos materiais e superfícies do meio urbano.

6.2. LEVANTAMENTOS EMPÍRICOS ENTRE DEZEMBRO DE 2018 E JANEIRO DE 2019

6.2.1. Fatores de escolha do ponto de medições

Os fatores que levaram à escolha do local de medições foram a possibilidade de permanência do equipamento no local por longo período, o oferecimento de um local aberto e descoberto com visão desobstruída de céu, a minimização de interferências sobre o equipamento com relação ao sombreamento por objetos do entorno e com relação a possíveis elementos próximos que pudessem impactar nas medições dos equipamentos, o acesso controlado, a segurança contra intrusões, vandalismos, furtos, incidentes, a proteção contra riscos de segurança e riscos naturais e a permissividade à coleta de dados.

6.2.2. Caracterização da metodologia, do período e do local de medições

As medições empíricas de dados microclimáticos foram realizadas em um período de 40 dias consecutivos, entre os dias 06/12/2018 e 14/01/2019, com o uso de dois *hobos* de medição externos cada qual equipado com termômetro de bulbo seco protegido e termômetro de globo e uma Estação Científica Campbell para medições de variáveis térmicas microclimáticas equipada com termômetro de bulbo seco, termômetro de globo, termohigrômetro, piranômetro, anemômetro digital ultrassônico com bússola.

Figura 20 - Foto de satélite do local em bairro predominantemente residencial e horizontal

Figura 21 - Foto de satélite do local em bairro predominantemente residencial e horizontal

Figura 22 – Foto de satélite do local em bairro predominantemente residencial e horizontal

Figura 23 - Foto aérea da região do ponto de medições

Como fica evidente na Figura 20, na Figura 21, na Figura 22 e na Figura 23, trata-se de uma região de uso misto predominantemente residencial, ocupada principalmente por casas e

sobrados geminados com quintal nos fundos. A Figura 20 e a Figura 22 mostram que os edifícios altos mais próximos se localizavam predominantemente no arco Sul-Sudoeste dos pontos de medições, com altura razoavelmente baixa, de 8 a 10 pavimentos, e a uma distância razoavelmente grande, superior a 60 m no caso do edifício mais próximo e superior a 150 m nos demais. Sendo assim, não há sombreamento no ponto de medição por nenhum dos edifícios do entorno. Além disso, todas as árvores próximas ao ponto de medição têm altura inferior ou semelhante à dos equipamentos, e a única árvore alta próxima está localizada em posição de baixo impacto com relação aos pontos de medição.

Na zona frontal, a construção é geminada dos dois lados, enquanto na zona dos fundos é geminada somente em um dos lados, contando ainda com um recuo traseiro na altura do segundo pavimento, formando assim um quintal aberto de aprox. 3m de largura. Houve três subpontos de medição totalmente descobertos, sendo dois deles localizados a cerca de 3 metros de altura em relação ao solo, na cobertura de uma edícula da residência em local descoberto, porém enclausurado por paredes laterais do quintal da residência e, por esta razão protegido do vento e com visão de céu parcialmente obstruída. O outro ponto se localizou a cerca de 6 metros de altura na cobertura da casa, conforme a Figura 25 e a Figura 26, em local desobstruído nas laterais e com visão de céu praticamente 100% desobstruída, tendo somente um prédio nas proximidades localizado na direção sudoeste com relação ao ponto de medição.

Figura 24 - Subpontos de medição da laje inferior com Hobo e Estação Meteorológica

Figura 25 - Subponto da laje de cobertura com hobo, anemômetro e piranômetro

Figura 26 - Subponto da laje de cobertura com hobo, anemômetro e piranômetro

Como mostra a Figura 24, o primeiro e o segundo subpontos de medição se localizaram na altura do segundo pavimento sobre a laje de cobertura da edícula da casa, na região descoberta compreendida entre o recuo lateral de aproximadamente 3m de largura e o recuo traseiro da casa de aproximadamente 3m. Apoiados a uma altura aproximada de aproximadamente 3m ao solo, os pontos contaram com o corpo principal da Estação Campbell e um *hobo*, contendo dois termohigrômetros, dois termômetros de globo e o conjunto de painel fotovoltaico e bateria da Estação.

A Figura 26 mostra a base da Estação Campbell alocada na laje inferior em ponto fixo, contendo o termohigrômetro abrigado em proteção contra radiação solar, um termômetro de globo e o conjunto de painel solar fotovoltaico e bateria. A Figura 28 mostra o hobo de medições, alocado na laje inferior para medição de Temperatura do Ar, Umidade Relativa e temperatura de globo, utilizadas como controle comparativo com as demais medições.

A Figura 25 e a Figura 26, por sua vez, mostram que imediatamente ao lado e acima do primeiro subponto de medição, localizou-se o subponto de medição da cobertura, o principal para a realização deste trabalho. Este subponto foi localizado na laje de cobertura da casa com base de apoio a uma altura aproximada de 6 m em relação ao solo. Este ponto, desobstruído lateralmente em praticamente toda a sua volta, contou com um *hobo* de medição e parte dos equipamentos da Estação Campbell, contendo termohigrômetro, termômetro de globo, piranômetro e anemômetro digital ultrassônico.

A Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 mostram alocados na laje de cobertura, em ponto totalmente desobstruído tanto vertical quanto lateralmente, o anemômetro (vento) e o piranômetro (radiação) da Estação Campbell, junto a um hobo de medições com termohigrômetro e termômetro de globo.

Nota-se que na laje de cobertura do sobrado com piso a aproximadamente 6 m de altura, o anemômetro, o termohigrômetro e o termômetro de globo ficaram a aproximadamente 7,5 m com relação ao solo, acima da altura das demais casas e sobrados do entorno, desobstruído tanto para a insolação quanto para o vento.

A Figura 32 mostra que o piranômetro ficou posicionado exatamente à norte da haste do hobo de medições para não ser sombreado por este em nenhum dia ou horário, permanecendo sempre totalmente desobstruído.

Figura 27 - Estação Campbell

Figura 28 - Hobo na laje inferior

Figura 29 - Anemômetro e Hobo na cobertura

Figura 30 - Anemômetro e Hobo na cobertura

Figura 31 - Piranômetro na cobertura

Figura 32 – Anemômetro, Hobo e Piranômetro

Como comprova a Figura 34, no ponto da laje inferior há grande mascaramento de céu ocasionado pelas paredes, muros e coberturas da própria casa, de sua edícula e de seus vizinhos. O mascaramento neste ponto causa o sombreamento do ponto de medição em parte da manhã e parte da tarde ao longo de todo o ano. No caso do verão, há sombreamento pela manhã até entre 7h30 (22/12) e 10h00 (21/03) e pela tarde após entre 6h30 (21/03) e 16h45 (22/12). No período de medições realizado, entre dezembro e janeiro, há sombreamento do ponto antes das 7h30 da manhã (22/12) e das 8h00 da manhã (22/11 e 21/01) e após às 16h45 ao longo de todo o período. Em todo o período, minimamente nos horários entre 8h00 e 16h45, o ponto permaneceu exposto ao céu e à insolação direta.

Figura 33 - Foto olho de peixe da laje inferior com mascaramento de céu e insolação

Figura 34 - Estudo de mascaramento de céu e insolação do ponto da laje inferior

A Figura 35 comprova que no ponto da laje superior de cobertura praticamente não há mascaramento de céu. O ponto permanece na maior parte do ano e na maior parte dos horários com visibilidade completa do céu e insolação direta. Alguns poucos elementos ocasionam mascaramento nos inícios das manhãs e finais de tarde.

A Figura 36 evidencia que os casos de mascaramento de céu ocorrem, em sua maioria, antes das 6h30 e após às 17h30 no verão e antes das 7h00 e após às 17h00 no inverno. Vemos que os elementos de sombreamento mais proeminentes são uma árvore a oeste do ponto que traz sombreamento a partir das 16h45 nos meses de março, abril, setembro e outubro e uma edificação no segmento leste-sudeste, que traz sombreamento até às 6h15 nos meses de fevereiro, março, outubro e novembro.

No período de medições realizado, entre dezembro e janeiro, há sombreamento do ponto antes das 5h45 da manhã (22/11 e 21/01) e das 6h00 da manhã (22/12) e após às 18h00 ao longo de todo o período. Em todo o período, minimamente nos horários entre 6h00 e 18h00, o ponto permaneceu exposto ao céu e à insolação direta.

Figura 35 - Foto olho de peixe da laje de cobertura com mascaramento de céu e insolação

Figura 36 - Estudo de mascaramento de céu e insolação do ponto da laje de cobertura

6.2.3. Caracterização das condições meteorológicas e climáticas do período

As medições foram ininterruptas ao longo deste período que teve início no começo de dezembro de 2018 e se finalizou na metade de janeiro de 2019. A escolha do período de medições se deve ao fato de ser uma das épocas historicamente mais quentes do ano em São Paulo, com o fim da primavera e início do verão, com dias caracterizados por altas temperaturas e altos índices de insolação.

Nesta época há também grandes volumes e frequências de precipitação na cidade justificando a necessidade de um longo período de medições para após selecionar para estudo os maiores conjuntos de dias consecutivos sem chuva.

Figura 37 - Terra: dezembro foi o mês mais quente de 2018 em São Paulo

(TERRA - CLIMATEMPO, 2018)

Figura 38 - G1: São Paulo tem o segundo janeiro mais quente dos últimos 76 anos

(G1 SP, 2019)

Gráfico 14 - Temperaturas mínimas e máximas em São Paulo em dezembro de 2018

Fonte: (TERRA - CLIMATEMPO, 2018)

De fato, como mostram a Figura 37 e a Figura 38, os meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019 foram caracterizados pela incidência de calor acima do comum, com temperaturas mais altas que as médias históricas e menos chuvas do que o registrado nos últimos anos. Com altíssimas temperaturas, chegando à casa dos 35°C, 36°C, 37°C, as condições meteorológicas do período foram muito benéficas aos estudos propostos por este trabalho. O Gráfico 14 mostra que, entre os dias 11 e 31 de dezembro, a temperatura mínima da madrugada ficou sempre acima dos 18°C. No período entre 10 e 23 de dezembro de 2018, a temperatura máxima na cidade de São Paulo foi igual ou maior do que 30°C, totalizando 14 dias consecutivos nesta situação. Este foi o período mais quente de 2018 na capital paulista. Nenhum outro mês teve tantos dias seguidos com calor de 30°C. (TERRA - CLIMATEMPO, 2018)

A média das temperaturas máximas foi de 31,8°C, perdendo apenas para o ano de 2014, quando a média foi de 31,9°C. O Inmet registra as temperaturas desde 1943. Em janeiro, as temperaturas se mantiveram elevadas durante praticamente todos os dias no mês, apenas em 5 dias é que as máximas não ultrapassaram os 30°C, entre os dias 4 e 6 e dias 25 e 26. As temperaturas mínimas fecharam o mês com valores de quase 2°C acima da média, 20,5°C frente a 18,6°C de média. Foi o segundo maior valor em 76 anos de registros, perdendo apenas para o ano de 2015 que fechou com 21,1°C. (G1 SP, 2019)

Ao longo do período, foram feitos registros diários das condições climáticas e registros das previsões meteorológicas públicas. Durante o período, as condições se mostraram predominantemente quentes, com dias com altas temperaturas médias e máximas e noites com altas temperaturas mínimas, com diversos dias com condições de céu limpo, baixa nebulosidade e insolação intensa. Como fim de primavera e início de verão, houve quebre de recordes de temperatura e de dias sem chuva. Houve dias de maior nebulosidade, chuvas e garoas, no entanto, foi possível conseguir conjuntos de até 5 dias consecutivos sem precipitação, com altas temperaturas, insolação intensa e baixa Umidade Relativa.

A seguir, na Tabela 8, podem ser vistos os registros do diário de medições. Os valores de temperatura de ar (máximas e mínimas) e Umidade Relativa (entre 6h e 7h da manhã, entre 12h e 13h no início da tarde e entre 18h e 19h no final da tarde) foram registrados a partir do canal *The Weather Channel*. Todos os dias foram registradas as condições meteorológicas de manhã, de tarde e de noite e abaixo na tabela foi disponibilizado um resumo diário.

Tabela 8 - Diário de Medições: registros das condições meteorológicas

DATA	SIMUL.	T.AR (°C) MÍNIMA	T.AR (°C) MÁXIMA	UR (%) 6h-7h	UR (%) 12h-13h	UR (%) 18h-19h	Nº DIAS SOL S/ CHUVA	CONDIÇÃO PREDOMINANTE
06/12/2018 INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DIA ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS E CÉU LIMPO								
07/12 2018	NÃO	14 °C	23 °C	83%	59%	83%	-	NUBLADO COM TEMPERATURAS MAIS BAIXAS E GAROAS
08/12 2018	NÃO	12 °C	18 °C	85%	78%	70%	-	NUBLADO COM TEMPERATURAS MAIS BAIXAS E GAROAS

DATA	SIMUL.	T.AR (°C) MÍNIMA	T.AR (°C) MÁXIMA	UR (%) 6h-7h	UR (%) 12h-13h	UR (%) 18h-19h	Nº DIAS SOL S/ CHUVA	CONDIÇÃO PREDOMINANTE
09/12 2018	NÃO	14 °C	26 °C	68%	54%	60%	1	ENSOLARADO COM MÉDIAS TEMPERATURAS E CÉU LIMPO
10/12 2018	NÃO	17 °C	30 °C	81%	44%	47%	2	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS E POUCAS NUVENS
11/12 2018	SIM	18 °C	31 °C	67%	41%	41%	3	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS E SOL ENTRE NUVENS
12/12 2018	SIM	20 °C	32 °C	62%	-	41%	4	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS E POUCAS NUVENS
13/12 2018	NÃO	19 °C	32 °C	52%	38%	73%	-	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS E CHUVA INTENSA À TARDE
14/12 2018	SIM	21 °C	33 °C	66%	36%	43%	1	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS, CÉU LIMPO, POUCO VENTO E TEMPO MUITO SECO
15/12 2018	NÃO	21 °C	33 °C	71%	37%	60%	-	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS, SOL ENTRE NUVENS, POUCO VENTO E TEMPO MUITO SECO, CHUVAS À TARDE
16/12 2018	NÃO	22 °C	30 °C	81%	46%	83%	-	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS, SOL ENTRE NUVENS, TEMPO NUBLADO E CHUVAS À TARDE
17/12 2018	SIM	23 °C	33 °C	79%	47%	50%	1	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS, CÉU LIMPO, POUCO VENTO E TEMPO MUITO SECO
18/12 2018	NÃO	22 °C	33 °C	83%	57%	44%	-	CHUVOSO E NUBLADO COM VENTOS FORTES PELA MANHÃ
19/12 2018	NÃO	22 °C	31 °C	84%	-	82%	-	CHUVOSO COM DIVERSOS MOMENTOS DE SOL ENTRE NUVENS
20/12 2018	NÃO	22 °C	34 °C	80%	45%	37%	1	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS, SOL ENTRE NUVENS E UMIDADE BAIXA
21/12 2018	SIM	22 °C	33 °C	81%	47%	47%	2	ENSOLARADO À TARDE COM SOL ENTRE NUVENS. NUBLADO PELA MANHÃ
22/12 2018	NÃO	22 °C	34 °C	58%	37%	61%	-	ENSOLARADO PELA MANHÃ. CHUVOSO À TARDE. ALTAS TEMPERATURAS
23/12 2018	NÃO	21 °C	27 °C	69%	-	-	-	NUBLADO E CHUVOSO COM ALTA UMIDADE E MÉDIAS TEMPERATURAS
24/12 2018	NÃO	19 °C	25 °C	-	72%	-	-	CHUVOSO COM ALTA UMIDADE E TEMPERATURAS AMENAS

DATA	SIMUL.	T.AR (°C) MÍNIMA	T.AR (°C) MÁXIMA	UR (%) 6h-7h	UR (%) 12h-13h	UR (%) 18h-19h	Nº DIAS SOL S/ CHUVA	CONDIÇÃO PREDOMINANTE
25/12 2018	NÃO	18 °C	24 °C	75%	-	-	-	CHUVOSO COM ALTA UMIDADE E TEMPERATURAS AMENAS
26/12 2018	NÃO	17 °C	26 °C	87%	-	70%	1	ENSOLARADO COM SOL ENTRE NUVENS, TEMPERATURAS COM CALOR AO LONGO DA TARDE E NOITE MAIS FRIA
27/12 2018	NÃO	18 °C	27 °C	81%	-	76%	2	ENSOLARADO COM SOL ENTRE NUVENS, TEMPERATURAS COM CALOR AO LONGO DA TARDE E NOITE MAIS FRIA
28/12 2018	NÃO	18 °C	29 °C	85%	47%	74%	-	MÉDIA NEBULOSIDADE COM SOL ENTRE NUVENS E TEMPERATURAS MEDIANAS
29/12 2018	NÃO	18 °C	29 °C	56%	48%	-	-	PARCIALMENTE ENSOLARADO ALTERNANDO COM PERÍODOS NUBLADOS E CHUVAS LEVES

30/12/2018 A 05/01/2019 | PERÍODO SEM ACOMPANHAMENTO

06/01 2019	NÃO	21 °C	28 °C	-	-	68%	-	NUBLADO E CHUVOSO COM ALTA UMIDADE E MÉDIAS TEMPERATURAS
07/01 2019	SIM	22 °C	32 °C	87%	-	41%	1	ENSOLARADO COM ALTAS TEMPERATURAS, CÉU LIMPO, BAIXA UMIDADE E POUCO VENTO
08/01 2019	NÃO	22 °C	33 °C	65%	42%	77%	-	ALTA TEMPERATURA. ENSOLARADO PELA MANHÃ E INÍCIO DA TARDE FORTES CHUVAS NO FINAL DA TARDE.
09/01 2019	SIM	21 °C	34 °C	86%		72%	1	ENSOLARADO COM CÉU LIMPO, ALTAS TEMPERATURAS, FORTE INSOLAÇÃO
10/01 2019	NÃO	22 °C	32 °C	74%		76%		ENSOLARADO COM CÉU LIMPO, ALTAS TEMPERATURAS, FORTE INSOLAÇÃO, CHUVAS NO FINAL DA TARDE
11/01 2019	NÃO	21 °C	31 °C	81%		73%		ENSOLARADO COM CÉU LIMPO, ALTAS TEMPERATURAS, FORTE INSOLAÇÃO, CHUVAS NO FINAL DA TARDE. CHUVA DE GRANIZO
12/01 2019	NÃO	19 °C	29 °C	78%				ENSOLARADO COM CÉU LIMPO, ALTAS TEMPERATURAS, FORTE INSOLAÇÃO, CHUVAS NO FINAL DA TARDE. CHUVA DE GRANIZO
13/01 2019	NÃO	21 °C	29 °C					ENSOLARADO COM CÉU LIMPO, ALTAS TEMPERATURAS, FORTE INSOLAÇÃO, NUBLADO NO FINAL DA TARDE

14/01/2019 | RETIRADA DOS EQUIPAMENTOS | DIA ENSOLARADO COM CÉU LIMPO, ALTAS TEMPERATURAS

6.2.4. Resultados das medições e dados obtidos

As atividades de medição contaram com a seleção do local e do período, a caracterização do local, a instalação dos equipamentos, o acompanhamento das medições, a coleta e processamento dos dados, a análise crítica dos dados e o diagnóstico dos resultados. Os equipamentos foram colocados em funcionamento alguns dias antes do início das medições, desde 29/11/2018 (*hobos*) e 05/12/2018 (estação), para estabilização e testes. Foram instalados no dia 06/12/2018 e desinstalados no dia 14/11/2019, e o período considerado para o estudo das medições foi de 07/12/2018 a 13/01/2019 com medições realizadas de forma contínua e permanente ao longo de período de verão.

Os registros de dados foram feitos de forma automatizada pelos equipamentos em intervalos de 10 minutos. Foram 5.473 horários de medição gerando 79.647 dados registrados contabilizando todas as variáveis medidas em intervalos de 10 minutos pelos dois *hobos* e pela estação científica em 38 dias contabilizados (07/12/2018 a 13/01/2019).

a. Temperatura do Ar – Tar (°C)

O Gráfico 15 mostra que **13,40°C e 37,64°C** foram os registros da Temperatura do Ar mais baixa, em 09/12/2018 às 6h40 no termohigrômetro do *hobo* externo localizado na laje de cobertura, e da Temperatura do Ar mais alta, em 14/12/2018 às 17h50 no termohigrômetro da Estação Campbell localizada na laje inferior. No geral, é possível ver claramente os ciclos diários de temperatura do período, convergentes nos três equipamentos de medição. Poucos dias tiveram temperaturas máximas mais baixas, sendo que a maioria dos dias ultrapassou os 30°C e se aproximou dos 32°C a 35°C.

Simultaneamente, ainda pelo Gráfico 15, podemos verificar uma forte aderência entre as medições dos três equipamentos, sendo que o *hobo* da laje inferior apresentou as maiores medições de temperatura ao longo de quase todo o período. O termohigrômetro da cobertura foi o que apresentou as menores medições de Temperatura do Ar ao longo de todo o período. A maior diferença de registro foi de 3,674°C, representando 16,94% de dispersão. No geral as diferenças foram inferiores a 10%.

Gráfico 15 - Medições de Temperatura de Ar (°C)

b. Umidade Relativa – UR (%)

De maneira similar ao verificado com a Temperatura do Ar, pelo Gráfico 16, vemos que 16,95% e 96,27% foram os registros da umidade do ar mais alta, em 06/01/2019 também às 6h40 também no termohigrômetro do *hobo* externo localizado na laje de cobertura, e da umidade do ar mais baixa, também em 14/12/2018 às 17h50 também no termohigrômetro da Estação Campbell localizada na laje inferior.

Também podem ser vistos os ciclos diários de aumento e redução da Umidade Relativa, atingindo altos valores no período noturno, acima de 70% ou até mesmo de 80% na maior parte dos dias do período, e se reduzindo a valores que chegaram abaixo dos 30% em diversos dias.

A estação na laje inferior apresentou os menores registros. Os termohigrômetros dos *hobos* da laje inferior e da laje de cobertura apresentaram registros próximos e semelhantes, destoando dos registros da estação. Na maior parte do tempo, as diferenças se mantiveram entre 6%UR e 15%UR (entre 15% e 30% de diferença relativa). Houve picos quase diários de diferenças acima dos 18%UR (45% de diferença relativa). A maior diferença foi de 22%, chegando a 135% de diferença relativa.

Gráfico 16 - Medições de Umidade Relativa (%)

c. Temperatura de Globo – T_g (°C) e Radiação Solar Global – I_g (W/m^2)

O Gráfico 18 mostra que $7.906 W/m^2$ foi o registro da radiação solar incidente mais alta, em 27/12/2018 às 19h40 no piranômetro da Estação Campbell localizado na laje de cobertura. Para efeito de comparação, segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil, a radiação solar global diária esperada para São Paulo em Dezembro fica entre 16 e 20 MJ/m² por dia, isto é, um valor médio por hora entre 4.440 W/m² e 5.560 W/m². (TIBA, FRAIDENRAICH, *et al.*, 2000)

Quanto à Temperatura de Globo, podemos ver no Gráfico 17 que a laje inferior apresentou os maiores valores, devido às emissões de calor pelas várias superfícies próximas aos equipamentos de medição, inclusive no período noturno. A laje de cobertura apresentou as menores mínimas no período noturno, mas ao longo do dia apresentaram valores intermediários entre os outros medidores.

Como era de se esperar, houve grandes diferenças entre a laje inferior e a laje superior, ultrapassando diariamente os 8°C e chegando aos 16°C, isto é, por vezes passando dos 60% de diferença entre os registros. Houve registros de Temperaturas de Globo chegando aos 47°C nos picos máximos e radiação solar global ultrapassando os valores de 6.000 W/m² simultaneamente.

Gráfico 17 - Medições de Temperatura de Globo (°C)

Gráfico 18 - Medições de Temp. de Globo (°C) e Radiação Global na laje de cob. (W/m²)

d. Velocidade do Ar (Vento) – Var (m/s)

0,010 m/s a 6,460 m/s (0,036 km/h a 23,256 km/h) foram os registros da Velocidade do Ar mais alta, em 07/01/2019 também às 13h30 no anemômetro da Estação Campbell localizada

na laje de cobertura, e da Velocidade do Ar mais baixa, também em 12/01/2019 às 10h40 no anemômetro da Estação Campbell localizada na laje de cobertura.

Gráfico 19 - Medições: tempo de incidência de vento por direção

Gráfico 20 - Medições: velocidade média do vento por direção

O Gráfico 19 deixa nítido que, em perfeita convergência com os registros do IAG/USP (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018), os ventos predominantes ao longo de todo o período de medições foram aqueles advindos da direção sudeste, que são os ventos predominantes da cidade de São Paulo.

Especificamente no período de 09/12/2018 a 13/12/2018, período escolhido para simulação, os ventos mais frequentes foram aqueles entre as direções Sudeste, Leste e Nordeste. Fica claro, no entanto, que os ventos predominantes pelo percentual de tempo de medição advêm da direção SE, representando cerca de 24% do tempo de medição na divisão da rosa dos ventos em 8 faixas (N, NE, E, SE, S...) ou 14% na divisão em 16 faixas (N, NNE, NE, ENE, E...). Os ventos do quadrante Sudeste ultrapassam 50% do tempo de medição.

O Gráfico 20 contribui para verificar a relevância dos ventos advindos de Sudeste, com velocidade média entre as mais altas, mas também, junto ao Gráfico 21, mostra que, em concordância com os registros do IAG/USP (SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2018), as maiores rajadas de vento e maiores velocidades de vento foram aquelas advindas das direções Oeste e Noroeste, sobretudo Noroeste.

Gráfico 21 - Medições: velocidade máxima do vento por direção

Enquanto isso, o Gráfico 22 mostra que, apesar de terem sido registradas significativas parcelas de ventos com velocidades acima de 2 m/s e mesmo terem sido registrados ventos com velocidades superiores aos 5 m/s, em aproximadamente 50% do período de medições, os ventos se mantiveram com velocidades entre 0,50 m/s e 1,50 m/s, e cerca de 80% do tempo com velocidades de vento de até 2,0 m/s.

Gráfico 22 - Medições: percentual de tempo de incidência de vento por faixa de velocidade

6.2.5. Escolha e caracterização do período de análise para estudo com as simulações

Como se pode ver, a Tabela 8 registrou as sugestões de dias recomendados para uso nos estudos de simulação em função dos seguintes critérios: maiores números de dias consecutivos com condições ensolaradas e sem chuva (máximo de 4 dias consecutivos), condições de céu limpo e ensolarado, maiores valores de Temperatura do Ar (maior valor de 34°C) e menores valores de Umidade Relativa (menor valor de 36%).

Foi realizada a simulação de 1 dia envolto em períodos de 6 horas antes e 6 horas depois do período, isto é, com início às 18h do dia anterior ao dia que é o objeto de estudo e encerramento às 6h do dia seguinte. Através das medições, foram encontradas 5 opções de dias para a simulação: 12/12/2018, 14/12/2018, 17/12/2018, 07/01/2019 e 09/01/2019.

Todos estes períodos apresentaram dias ensolarados com céu limpo e não tiveram precipitação, apresentando altas temperaturas e baixos valores de Umidade Relativa. Ainda que outros períodos tenham apresentado maiores temperatura, tendo o dia 14/12/2018 tendo registrado uma temperatura máxima de 38°C, foi escolhido o dia 12/12/2018 como objeto de avaliação pois foi o dia que apresentou condição meteorológica mais estável, isto é, foi o quarto dia consecutivo sem nenhuma precipitação, sendo que no dia 13/12/2018 pela manhã o dia permaneceu ensolarado e sem precipitação, além de uma temperatura máxima alta e baixa Umidade Relativa, céu limpo e tempo ensolarado.

Gráfico 23 - Medições: Temperatura do Ar no período de análise

Como pode-se ver pelo Gráfico 23, a Temperatura do Ar máxima (valores da maior Temperatura do Ar entre os três medidores em cada horário) registrada foi próxima a 35°C dentre os subpontos de medições e a 34°C especificamente no *hobo* da laje de cobertura. A Temperatura de Ar mínima foi próxima a 23°C dentre os subpontos de medições e a 22°C especificamente no *hobo* da laje de cobertura. Nota-se que a temperatura mínima foi ainda altíssima e ocorreu por volta das 6h. No mesmo gráfico é possível verificar um ciclo "perfeito" de Temperatura do Ar nas 36h de simulação (18h do dia 11/12 às 6h do dia 13/12).

Gráfico 24 - Medições: Umidade Relativa no período de análise

Já no Gráfico 24, a Umidade Relativa máxima registrada foi próxima a 58% dentre os três subpontos de medições e a 68% especificamente no *hobo* da laje de cobertura, o que é uma UR máxima extremamente baixa. A Umidade Relativa mínima foi próxima a 20% dentre os três subpontos de medições e 30% especificamente no *hobo* da laje de cobertura. Isto é, o dia, além das altas temperaturas, foi bastante seco. Houve queda da UR durante o dia com aumento até a noite, mas a UR se manteve baixa (abaixo dos 70%) em todo o período, mesmo durante a noite, o que é interessante para o estudo.

A Tabela 9, por sua vez, mostra que, no período de análise (de 09/12/2018 00h00 a 13/12/2018 09h00), a direção predominante do vento pelo cálculo da média ponderada das velocidades foi a direção Sudeste, em congruência com o contexto geral das medições e com a média histórica de São Paulo.

A direção média ponderada calculada foi de $138,7^\circ$, enquanto que a velocidade média calculada pela ponderação das direções incidentes de ventos foi de 1,47 m/s. A velocidade média dos ventos da direção sudeste foi de 1,52 m/s, considerando somente 8 direções da rosa dos ventos, ou 1,53 m/s, considerando 16 direções da rosa dos ventos. Sendo assim, considerou-se a velocidade de vento de 1,50 m/s para as simulações.

Tabela 9 - Medições: velocidade e Direção do Vento no período de análise

ESTUDO DOS VENTOS PREDOMINANTES DURANTE O PERÍODO DE ANÁLISE (09/12/2018 00:00 A 13/12/2018 06:00): IDENTIFICAÇÃO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE E DAS VELOCIDADES DOS VENTOS					
	DIREÇÃO DO VENTO PONDERADA PELAS VELOCIDADES DE VENTO EM CADA MEDIÇÃO			VELOCIDADE DO AR PONDERADA PELAS INCIDÊNCIAS DE CADA DIREÇÃO DE VENTO	
	DIREÇÃO DO VENTO (°)	DIREÇÃO (8 FAIXAS)	DIREÇÃO (16 FAIXAS)	VELOCIDADE DO AR (m/s)	VELOCIDADE (10 FAIXAS)
MÉDIA PONDERADA	138,6998	SE	SE	1,4668	1,0 - 1,5 m/s
MÉDIA	130,7912	SE	SE	1,3832	1,0 - 1,5 m/s
MODA	80,0000	E	NE	1,2400	1,0 - 1,5 m/s
DESVIO PADRÃO	92,6947			0,7935	
MÁXIMO	357,0000			4,6600	
MÍNIMO	1,0000			0,0500	
VENTO PREDOMINANTE SUDESTE: MÉDIA, MODA E FAIXA DE VELOCIDADE PREDOMINANTE			DIREÇÃO (8 FAIXAS)	DIREÇÃO (16 FAIXAS)	
		VELOCIDADE DO AR (m/s)	VELOCIDADE (10 FAIXAS)	VELOCIDADE DO AR (m/s)	VELOCIDADE (10 FAIXAS)
	MÉDIA	1,5229	1,5 - 2,0 m/s	1,5318	1,5 - 2,0 m/s
	MODA	1,7900	1,5 - 2,0 m/s	1,7200	1,5 - 2,0 m/s
	DESVIO PADRÃO	0,7514		0,7622	

SEÇÃO IV: SIMULAÇÕES TERMODINÂMICAS

7. MATERIAL E METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES

Através do *software* ENVI-met, foram estudados diferentes modelos de simulação representando cenários típicos de bairros da cidade em função de suas condições térmicas em dias quentes. Os modelos foram criados a partir dos mapas georreferenciados da cidade de São Paulo (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2019), com quadras viárias, áreas asfaltas e edificações. Para esta operação, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Computador Desktop Dell Optiplex 9010, de propriedade do LABAUT: Intel Core i7-3770 3,40 GHz, 16 Gb RAM, HD 2 Tb, AMD Radeon HD 7000, Windows 10 Pro.
- Computador Desktop Dell XPS, de propriedade do aluno: Intel Core i7-4770 3,40 GHz, 8 Gb RAM, HD 1 Tb, NVIDIA GeForce GT 630 1 Gb, Windows 10 Home Single Language.
- Computador Desktop Dell XPS, de propriedade do LABAUT: Intel Core i7-3770 3,40 GHz, 24 Gb RAM, 2 HDs 250 Gb, HD 2 Tb, NVIDIA GeForce GTX 660, Windows 10 Pro.
- Computador Desktop Dell, de propriedade do LABAUT: Intel Core i7-6700 3,40 GHz, 16 Gb RAM, HD 2 Tb, AMD Radeon R9 370, Windows 10 Pro.

Foram utilizados também os seguintes *softwares*:

- *Mapa Digital da Cidade (MDC) GeoSampa da Prefeitura do Município de São Paulo*, disponível em http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2019)
- *Mapa Digital da Cidade (MDC) da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano – SMDU da Prefeitura do Município de São Paulo*, disponível em: <http://www.cesadweb.fau.usp.br> (CESAD FAU USP, 2019)
- *Software ENVI-met versão 4.4.3 Summer 19 com licença Science and Education* adquirida pelo LABAUT com validade até 01/10/2020.
- *Software QGIS nas versões 3.6 Noosa para macOC e 3.8 Zanzibar para macOS*, disponível em https://www.qgis.org/pt_BR/site/

8. O ENVI-MET, SEU HISTÓRICO E SUAS CARACTERÍSTICAS

O ENVI-met é um *software* que realiza, por meio de uma série de simulações numéricas, cálculos preditivos das condições microclimáticas de ambientes urbanos abertos através de princípios aplicados a partir da mecânica dos fluídos – para análise das movimentações do ar – e a partir da termodinâmica – para análise das trocas de calor entre os diversos elementos (objetos, edifícios, corpos construídos) e suas superfícies no ambiente em estudo. É um *software* capacitado para avaliar os ambientes urbanos abertos através de considerações das características e parâmetros físicos das massas construídas, das superfícies, dos solos e das vegetações, bem como das interações entre eles elementos: as edificações que representam a geometria e a morfologia da cidade, os arquivos climáticos, as superfícies, etc.

O ENVI-met é um modelo tridimensional para simular as interações entre superfície, vegetação e atmosfera para ambientes urbanos com resoluções a partir de 0,5m no espaço horizontal e vertical e intervalos de tempo de até 10 segundos, permitindo, assim, analisar a interação entre o desenho urbano e o microclima. O modelo se baseia em mecânica dos fluídos e termodinâmica, incluindo o fluxo de ar nas vias e entre os edifícios, as trocas de calor e vapor nas superfícies dos pisos e fachadas, as turbulências na circulação do ar, os parâmetros de trocas de calor com a vegetação, a dispersão de partículas poluentes. (SHINZATO, 2014)

Trata-se da principal ferramenta de análise preditiva para os modelos de composições morfológicas urbanas deste trabalho. A versão BASIC/TEST do ENVI-met V4 é gratuita e acompanha modelagem completa incluindo o motor de simulação para aplicações não comerciais, mas é restrita com relação ao domínio e às ferramentas de cálculo. Além da versão gratuita, existem ainda a versão BUSINESS e a versão SCIENCE, que incluem ferramentas avançadas de modelagem. (ENVI_MET GMBH, 2018) Com o uso do ENVI-met SCIENCE, neste projeto de pesquisa, foram investigados os diferentes impactos que as variações morfológicas urbanas (altura, distribuição e dimensões horizontais das edificações) podem ter sobre o microclima local na escala de um pequeno conjunto de quadras da cidade.

O uso de ferramentas computacionais para simular as condições térmicas dos edifícios e de áreas urbanas vem ganhando cada vez mais espaço, sendo que, em especial na verificação

e concepção de projetos. (BARBOSA, 2018) A criação de modelos como forma de representar e analisar a realidade não é novidade e abrange todas as áreas da arquitetura e do urbanismo, como também grande parte das ciências práticas e aplicadas que têm como trabalho estudar, projetar e/ou planejar a realidade presente ou a intenção de uma realidade futura.

A modelagem na arquitetura e urbanismo se inicia com a criação de protótipos físicos dos objetos de estudo, como maquetes de edifícios ou de áreas urbanas. A análise da eficiência climática de soluções de projeto como forma de buscar as melhores alternativas antes de sua execução começou com avaliações realizadas em modelos físicos, em que os protótipos, em escala, podem ser avaliados quanto à características de insolação e fluxos de ar e ventos, por exemplo, fazendo uso de ferramentas como heliodon, túneis de ventos e túneis de fluídos.

Obviamente os modelos físicos, por vezes, não podem comportar avaliações mais complexas envolvendo as edificações e espaços urbanos, para as quais são necessários modelos digitais do objeto de estudo – e, no caso da arquitetura e urbanismo, os modelos devem ser tridimensionais e considerarem ainda a passagem do tempo – e métodos de simulação numérica, isto é, algoritmos de cálculos solucionados por meio de processamento computacional. Este é o caso, dentre outros tantos temas que abarcam às avaliações técnicas dos espaços construídos, das simulações de condições térmicas microclimáticas dos edifícios e dos espaços urbanos abertos. Os modelos devem considerar a tridimensionalidade das estruturas e dos objetos construídos, as características e os aspectos de seus materiais e superfícies, e o balanço termoenergético entre os diferentes elementos do espaço.

Diante desta necessidade, surgem os *softwares* de simulação termoenergética e termodinâmica para edificações e para espaços urbanos abertos, que, para cada segmento de área do espaço analisado, para cada segmento de tempo programado, calculam as interações térmicas entre os diferentes elementos do espaço (superfícies, massas de materiais, ar, equipamentos, etc.), a partir de cálculos derivados de princípios de termodinâmica, mecânica dos fluídos e balanço térmico. O ENVI-met surge neste contexto, como um dos *softwares* de simulação numérica para elaborar modelos preditivos de condições microclimáticas em espaços urbanos abertos. O modelo numérico simula aerodinâmica, termodinâmica e balanço térmico, de acordo com a posição do sol, com a geometria urbana, e com as características da vegetação, do solo e dos materiais de construção. (BRANCO, 2009)

Inicialmente como um *software* gratuito e em desenvolvimento contínuo, o ENVI-met surgiu do meio acadêmico para alimentar o próprio meio acadêmico, isto é, surgiu como uma aplicação direta de modelos de cálculo de balanço térmico baseados em estudos científicos da Universidade de Bochum, Alemanha, desde o início do século XXI, por Michael Bruse. A primeira referência pública do *software* por Michael Bruse foi em 1998 (BRUSE e FLEER, 1998), e já foi utilizado em pesquisas acadêmicas e em aplicações reais, como, por exemplo, um trabalho em Seoul, que investigou as mudanças do microclima e a redução na escala urbana da refrigeração resultantes do córrego Cheonggye, alimentando soluções do projeto de revitalização da área.

Sendo assim, o modelo do ENVI-met foi projetado para simular as interações térmicas entre a superfície, a vegetação e a atmosfera, através do cálculo do balanço térmico por meio de um conjunto de variáveis: radiação em suas várias ondas (curta e longa) diretas, difusas ou refletidas, reflexão, sombreamento de edifícios, vegetação, fluxo do ar, Temperatura do Ar, temperaturas de superfície, umidade, turbulências na circulação do ar, trocas de água e calor no solo. O objetivo é analisar os efeitos de mudanças microclimáticas a partir de características, de pequena escala, do desenho urbano, no microclima. (BARBOSA, 2018)

Desde então, o ENVI-met se difundiu primordialmente no meio científico. Sua flexibilidade de funções e de inserção de dados climáticos permite uma grande adaptabilidade ao uso em localidades diversas, gerando uma série de exemplos de pesquisas, com os mais diversos objetos de estudos e os mais variados focos temáticos. O *software* obteve grande aceitação e, desde então, foi aplicado em diversos trabalhos pelo mundo, em projetos e pesquisas nos diversos continentes, em países como Singapura, Grécia, Portugal, China, Hong Kong, Alemanha, entre outros. No Brasil, há projetos e pesquisas desenvolvidos em São Paulo, Teresina, Cuiabá, Curitiba, Brasília, Bauru, etc. (BARBOSA, 2018)

No próprio Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Ergonomia (LABAUT) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), várias pesquisas associadas a trabalhos científicos para programas de mestrado, doutorado e pós-doutorado, foram realizadas utilizando o ENVI-met, como, por exemplo, os estudos dos impactos da vegetação no microclima urbano (SHINZATO, 2014) ou no estudo do efeito da densidade urbana em suas condições microclimáticas (GUSSON, 2014).

8.1. PROCESSO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO E SUAS VANTAGENS

BARBOSA (2018) sintetiza o ENVI-met como uma ferramenta eficiente para simular em grandes ou pequenas áreas urbanas o desempenho térmico e as alterações climáticas ocasionadas pelas trocas de calor no ar, nos edifícios, na vegetação e no solo, através de alguns modelos principais de simulação da realidade: modelo atmosférico (vento, Temperatura do Ar, umidade, turbulência, fluxos radiativos e dispersão de poluentes), modelo de solo (temperatura das superfícies e do solo, água do solo, água das vegetações corpos de água), modelo de vegetação (geometria das plantas, temperatura de folhagem, processos da vegetação com o meio ambiente e condições de crescimento), modelo físico (ambiente construído, geometria das construções, materiais de construção, termodinâmica e parede e telhados verdes). Isto é feito com diversos parâmetros ambientais, incluindo a radiação de onda curta e longa, o fluxo de sombreamento, a reflexão e a irradiação do edifício e a vegetação, geometria do local, solo, materiais e vegetação. (BARBOSA, 2018)

Aprofundando na questão do funcionamento e processo de uso do *software*, de acordo com SHINAZATO, o modelo do ENVI-met simula as interações entre superfície, vegetação e atmosfera a partir de um sistema de modelagem e cálculo holístico que abrange as dinâmicas atmosféricas, os processos físicos do solo, os processos de troca de calor por radiação direta e indireta, condução, convecção e evaporação entre os elementos do ambiente e suas superfícies e a movimentação dos ventos. O modelo é um prognóstico baseado nas leis fundamentais de dinâmica dos fluídos e termodinâmica. (SHINZATO, 2018)

Este modelo permite analisar as interações entre edifícios individuais, superfícies e vegetações, em um modelo de cálculo que inclui: o cálculo dos índices biometeorológicos (como PMV, PET ou UTCI), cálculos das temperaturas dinâmicas de superfícies para cada elemento de fachada e cobertura, dispersão de gases e partículas, fluxos de radiação de ondas curtas e de ondas longas com respeito à reflexão e à irradiação indireta a partir de edifícios e vegetação, fluxos de evaporação e de calor sensível da vegetação para a atmosfera, representação 3D da vegetação, trocas de calor e água no solo. (ENVI_MET GMBH, 2018)

Sendo assim, o ENVI-met trabalha com uma série de processos de modelagem para a criação de um mesmo modelo. Isto significa que um modelo do ENVI-met representa e traduz a realidade simulada a partir de uma série de conjuntos de características, que incluem, para os elementos construídos, para o espaço natural, para o solo e para a atmosfera, séries de parâmetros físicos, dimensionais, geográficos, meteorológicos e climáticos, podendo assim calcular os resultados preditivos para as condições microclimáticas dos ambiente estudados.

Ou seja, a criação do modelo não envolve somente a sua “modelagem geométrica tridimensional”, mas também toda a sua parametrização, isto é, a definição dos aspectos que englobem minimamente os seguintes conjuntos de informações: localização geográfica (cidade, latitude e longitude), altitude do ponto estudado em relação ao nível do mar, características do clima local, período de simulação com período definido de análise (dias e horários), temperatura inicial do modelo, características físicas das superfícies e materiais das massas construídas, características do solo, características físicas e biológicas da vegetação do modelo, características atmosféricas locais, condições de nebulosidade do céu no período de simulação e modelagem geométrica e parametrização das características físicas do ambiente construído e de seus elementos (edifícios, superfícies, pisos, etc.).

Em sinergia com a Figura 39, o processo do ENVI-met se resume da seguinte maneira:

1. Definição dos dados de entrada, com a geolocalização do modelo, as características do clima local, as condições microclimáticas do período da simulação (nebulosidade do céu, por exemplo), as velocidades e direções predominantes dos ventos locais, as dimensões horizontais e verticais dos pixels.
2. Elaboração do modelo geométrico do ambiente estudado, incluindo objetos e elementos construídos e as características físicas de seus componentes, materiais e superfícies, inclusive do solo, de fachadas e coberturas dos edifícios.
3. Determinação do modelo da atmosfera (parâmetros climáticos e microclimáticos locais, velocidades dos ventos, etc.), do modelo do solo (tipo de solo, concentração de água, corpos de água, comportamento da vegetação com relação à absorção de água do solo, porosidade, temperatura do solo, etc.) e dos modelos de vegetação (espécies vegetais, seus portes, seus estados de folhagem e cobertura, índices de áreas foliares).

4. Definições dos processos de cálculo, com período de simulação (dias e horários), intervalo de tempo da simulação, etc.
5. Processamento da simulação pelo *software* através dos procedimentos de cálculos até obter os resultados para os locais e períodos selecionados, trazendo como resultados os dados de saída em bancos de dados numéricos.
6. Extração dos arquivos com os resultados da simulação, que devem ser visualizados numericamente em planilhas de cálculo ou graficamente em *software* específico que acompanha o pacote do ENVI-met.

Figura 39 - Fluxograma do processo de operação do ENVI-met

Fonte: (BARBOSA, 2018)

O *software* utiliza valores de entrada que são inseridos pelo usuário, no que diz respeito aos dados sobre edifícios, vegetação, solos e superfícies, condições climáticas, e então simula o balanço térmico a partir das propostas de formas de edifícios, sombreamentos, orientações, etc. O *software* utiliza o cálculo de dinâmica dos fluídos, o cálculo de fluxos e turbulência de ar e o cálculo dos processos termodinâmicos nas superfícies do solo, nas paredes, nas coberturas e nas plantas. Leva em conta todos os tipos de radiação solar (direta, refletida e difusa) e calcula

a TRM das superfícies através do cálculo das temperaturas de superfície e dos fluxos de radiação, analisando o sombreamento proporcionado pela vegetação, a absorção e reflexão da radiação pelas superfícies e sua absorção. (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

No cálculo da Temperatura Radiante Média das superfícies, o ENVI-met leva em conta todo os fluxos de radiação solar, direta, difusa e refletida, bem como os fluxos de radiação de ondas longas a partir da atmosfera, do solo e das superfícies das edificações. A Temperatura Radiante Média é calculada para cada pixel do modelo em todas as direções e em todos os intervalos de tempo. Antes do início dos cálculos da simulação, deve-se realizar a edição dos dados de entrada da área urbana a ser estudada, para qual são necessárias as dimensões horizontais e verticais do ambiente construído junto com todas as especificidades arquitetônicas do local como brises, beirais, varandas, materiais de superfície, cobertura do solo, vegetação, etc. Os dados de entrada do modelo são projetados em um ambiente 3D onde se inserem os componentes construtivos, as massas construídas, a vegetação e as superfícies, representados por várias células de *grid*¹⁹ (grade ortogonal). (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

Posteriormente, deve-se realizar a configuração do arquivo climático e de informações do local que balizará os cálculos, onde deve-se fornecer ao *software* as informações sobre o local, a temperatura, a Velocidade do Ar (vento), a umidade, parâmetros de conforto, o terreno, e bases de dados do solo e da vegetação. A simulação é, então, processada utilizando os dados de entrada do modelo e do arquivo de configuração. Diante do exposto, entendemos que o modelo parte inicialmente de informações primordiais de localização e situação geográfica do local de estudo: cada modelo é associado a uma determinada cidade e às coordenadas de localização, em latitude, longitude e altitude. É associado também a um determinado período do dia e do ano para avaliação, isto é, as simulações são calculadas considerando para horários, dias e épocas do ano determinados. (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

Com estas informações, então, como é abordado mais adiante neste trabalho, o usuário é capaz de introduzir ao *software* uma série de dados climáticos que traduzem a climatologia

¹⁹ Malha de pontos distribuídos em uma grade ortogonal. No caso do ENVI-met, o grid é tridimensional pois é composto por uma grade de pontos distribuídos nos eixos horizontais e vertical (x,y, z).

local, dados que dizem respeito às condições locais de Temperatura do Ar, Umidade do Ar, ventos e radiação. Os dados a serem inseridos devem ser obtidos por meio de fontes confiáveis com levantamento meteorológico histórico e estatístico e devem conter dados mínimos como temperatura a 2500m de altura, temperatura próximo à superfície, Umidade do Ar próximo à superfície, características principais de radiação solar e ventos.

A configuração básica do programa requer dados que podem ser obtidos com a localização do modelo simulado, e o próprio programa já dispõe de acesso e informações sobre diversos locais através do acesso a servidores apropriados. São dados, por exemplo, de: Temperatura do Ar (K) a 2500m de altitude, Umidade Absoluta (g água/Kg de ar) a 2500m de altitude, Umidade Relativa (%), Temperatura do Ar (K), Velocidade do Ar a 10m (m/s), Direção dos Ventos a 10 m. (BARBOSA, 2018)

Os dados podem ser fornecidos por meio de arquivos climáticos consolidados e conhecidos, como, por exemplo, em São Paulo existem os arquivos climáticos fornecidos pelo Aeroporto de Congonhas ou pela equipe do LABEEE, os mesmos arquivos climáticos utilizados em *softwares* de simulações termo-energéticas para edifícios, como EnergyPlus. Por esta razão que o ENVI-met permite introduzir dados obtidos por meio de medições empíricas em um determinado local como forma de calibrar o seu arquivo climático para a simulação por meio das ferramentas de *simple forcing* e *full forcing*. As condições de céu (nebulosidade) também devem ser especificadas para o período da simulação. Pode-se inserir dados de medições reais a partir de bases de dados de estações meteorológicas ou de medições empíricas in loco.

É possível informar ao programa quais dados estão sendo inseridos e em que situação e altura eles foram medidos e coletados. É possível inserir dados medidos de Temperatura do Ar, Umidade Relativa, velocidade e direção dos ventos, radiação direta, radiação difusa, radiação de onda longa e nebulosidade. Os dados inseridos são adotados para cada intervalo de tempo de simulação nas bordas limítrofes do modelo. Para este trabalho foi utilizado o *full forcing*, ferramenta que permite ao usuário inserir como dado de entrada da borda do modelo geométrico os valores medidos in loco de condições microclimáticas, neste caso, de condições medidas in loco de Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Velocidade do Ar, Direção do Vento e condições de nebulosidade medidas em estação meteorológica.

Para a realização das análises, o *software* disponibiliza uma plataforma com um conjunto de aplicativos, sendo que cada aplicativo tem sua própria função para a edição do modelo geométrico, para a extração de dados físicos e geográficos de plataformas conhecidas como Google Earth ou NASA, para a configuração do arquivo climático, para a configuração dos materiais e componentes construtivos, para a realização da simulação e para a leitura e mapeamento dos resultados. O processo de simulação se divide em seis etapas principais: configuração da base de dados, modelagem, configuração climática, processamento da simulação, pós-processamento, e visualização dos resultados. O *Area Input File Editor* permite a criação da geometria do modelo com a especificação de detalhes do ambiente, o *Configuration File Editor* determina os dados básicos de entrada para a simulação como data e horário, Velocidade do Ar (Vento) a 10 metros de altura, Direção do Vento, rugosidade das superfícies, temperatura inicial da atmosfera, umidade específica a 2500m de altura e Umidade Relativa a 2m de altura, o *ENVI-met Interface* é o *software* de simulação, enquanto que a visualização dos dados pode ser feita por meio do programa *Leonardo*. (BARBOSA, 2018)

Há ainda a modelagem tridimensional geométrica do ambiente estudado e a parametrização de seus elementos, isto é, a criação das formas das massas construídas, elaborando no modelo os espaços de ruas e avenidas, blocos construídos de edificações, muros e outros elementos construídos, inserção de vegetação, etc., e a determinação de suas características físicas. Para a construção geométrica tridimensional do modelo, este é realizado em uma malha ortogonal cúbica de pixels em três eixos nas direções horizontais e vertical. Cada pixel na horizontal recebe um dimensionamento entre 0,50 e 10m, enquanto que cada pixel na vertical também o recebe, em escala constante ou variável (telescópico), dando assim as dimensões do modelo. (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

Como a unidade geométrica mínima de análise é o quadrado ou paralelepípedo formado a partir dos pixels horizontais e verticais, não há suporte para formas curvas, diagonais ou triangulares, estas sempre são feitas a partir da aproximação de pixels quadrados. Isto significa que o modelo exige uma simplificação das formas quando comparado ao projeto ou espaço original e a modelos tridimensionais virtuais que representem visualmente projetos ou levantamentos de arquitetura e urbanismo.

As superfícies dos elementos construídos, por sua vez, são planos no espaço do modelo sem espessura, ou seja, cada superfície é um elemento bidimensional. Sua espessura real para análise deve ser atribuída por meio da parametrização do elemento, na qual é definida para cada elemento de superfície a sua composição em termos de camadas de materiais, atribuindo as características de cada material e a espessura de cada camada. Ou seja, cada elemento de superfície individualmente é tridimensional somente em sua parametrização, mas não visualmente no modelo. Isto é comum no processo de modelagem de diversos *softwares* de simulação termodinâmica, onde graficamente não é relevante o aspecto visual do material, como por exemplo no uso de diversos *softwares* baseados nos cálculos termo-energéticos para edificações do EnergyPlus, como o uso de EnergyPlus no *Rhinoceros + Grasshopper*.

Outras características relevantes do modelo devem ser igualmente parametrizadas: características do solo como porosidade, umidade e temperatura; características dos corpos de água enquanto parametrização da água como um material do modelo; características das superfícies de piso (por exemplo, concreto, asfalto, terra, forração vegetal, etc.); características da vegetação inserida no modelo (espécies vegetais, índices de áreas foliares, condições, etc.).

Todas estas informações são cruciais para o procedimento de cálculo do ENVI-met, uma vez que se baseia no balanço térmico em cada pixel do modelo geométrico para cada intervalo de tempo determinado, ou seja, todas as variáveis são levadas em conta para que o cálculo possa visualizar em cada intervalo de tempo os fluxos de calor dentro do modelo e de entrada e saída, a partir do resultado nulo do balanço térmico para cada ponto do espaço. Na prática, o algoritmo leva em conta os fluxos de calor latente e sensível entre todos os elementos do espaço e seus componentes a partir de trocas de condução (contato entre os elementos), radiação (energia radiativa solar direta, fluxos de radiação entre interiores dos volumes edificadas e ambiente externo ou indireta refletida pelas superfícies), convecção (a partir da convecção natural e da convecção forçada pela movimentação dos ventos), evaporação (evaporação de água presentes nas superfícies e pela evapotranspiração da vegetação).

São levados em conta ainda, a partir de princípios de mecânica dos fluídos, os movimentos dos ventos e seus efeitos, como turbulências ocasionadas pelo vento incidente nas massas construídas. Fluxos de calor entre solo e atmosfera, entre solo e vegetação e entre solo e edificações são também levadas em conta, bem como os fluxos de calor no interior do

solo e pelo carregamento de águas no solo e absorção pela vegetação. Trocas de calor entre superfícies e atmosfera e entre edifícios e atmosfera estão entre as principais no modelo. Para tal, os parâmetros expostos acima se tornam cruciais para o bom funcionamento do modelo. (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

Por fim, são extraídos os dados com os resultados da simulação do ENVI-met. Os dados de saída são compilados em arquivos binários específicos do ENVI-met que contêm todos os dados referentes à simulação para cada célula do *grid*²⁰ (grade ortogonal) tridimensional. O ENVI-met oferece muitas opções de dados de saída para analisar os resultados, em mapas e planilhas com informações climáticas no espaço e nos espaços de tempo determinados, entre estas informações, pode-se extrair temperatura e umidade do ar, temperaturas de superfície, TRM, Var (vento), FVC, PMV, etc. (BARBOSA, 2018) Com o uso destes arquivos, a partir do uso de um visualizador que vem no próprio ENVI-met, é possível extrair uma vasta gama de opções de dados climáticos para o ambiente analisado, variando-os conforme o plano de análise, a altura do plano de análise em relação ao solo, etc. (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

Apesar da ausência de flexibilidade do *software* em reproduzir formas curvas e linhas diagonais (em função da formatação do ambiente de modelagem em um *grid* tridimensional de células retangulares dispostas em três eixos), e das limitações associadas às dimensões das células do *grid* de modelagem, o sistema de modelagem do ENVI-met apresenta grande permissividade à elaboração de conjuntos de formas tridimensionais complexas que representam bem – de forma simplificada – o espaço urbano.

O sistema de modelagem, ainda que mais complexo e visualmente menos amigável que o de *softwares* específicos de modelagem tridimensional, faz uso dos mesmos conceitos de modelagem das formas a partir de pontos, linhas e superfícies dispostos em coordenadas X, Y e Z de planos cartesianos formados por três eixos (horizontais e vertical), sendo assim, uma linguagem de fácil associação à quem já está habituado com o trabalho em *softwares* comuns da arquitetura e urbanismo, como AutoCAD, Google Sketchup, 3DS Max, entre outros.

²⁰ Malha de pontos distribuídos em uma grelha ortogonal. No caso do ENVI-met, o *grid* é tridimensional pois é composto por uma grade de pontos distribuídos nos eixos horizontais e vertical (x,y, z).

As simplificações das formas e linhas curvas e diagonais para formas retas dispostas em uma malha ortogonal – podem trazer aproximações e requerer um certo esforço do usuário – mas trazem uma facilitação do processo de modelagem, que pode ser encarado como um processo de traçado de superfícies no plano horizontal e a extrusão e movimentação das mesmas para volumes no plano vertical. A parametrização do ambiente, por sua vez, e de seus componentes e elementos e das características geográficas e climáticas do local de avaliação é a principal característica do ENVI-met que traz sua boa pertinência ao uso em pesquisas acerca do desempenho térmico de espaços urbanos abertos no Brasil.

O processo de modelagem do ENVI-met, muito adequado a áreas urbanas em microescala (segmentos de cidade em conjuntos de quadras), permite a definição e especificação das características técnicas de todos os elementos inseridos no modelo e de suas superfícies. É possível definir os materiais de envoltória dos edifícios posicionados no modelo (camadas de materiais de paredes de fachadas e coberturas) e suas respectivas características de albedo, absorvância, transmitância térmicas, bem como dos materiais de superfícies do solo, seja revestimento de piso, seja solo natural, seja cobertura vegetal.

É possível ainda determinar as espécies vegetais da vegetação inserida no modelo, bem como seu porte, índice de área foliar e condição de folhagem. Quanto ao local de avaliação, como explorado anteriormente, o ENVI-met permite a inserção de dados climáticos de qualquer localidade do planeta, bem como o uso de dados e medições de estações meteorológicas e de estudos empíricos *in loco* para a inclusão de dados do clima local.

8.2. PRINCIPAIS DESAFIOS DO SOFTWARE E DIFICULDADES ENCONTRADAS

O ENVI-met possui certas limitações. As ferramentas para criar o ambiente urbano são limitadas aos edifícios, aos solos e pavimento e às árvores e vegetação. Não há ferramentas para criar quaisquer outros elementos como estruturas de sombreamento independentes dos blocos edificados. Outra significativa limitação é que as massas construídas não apresentam massa térmica própria, mas somente uma única temperatura interna constante. Ainda, o

albedo e a resistência térmica das superfícies dos edifícios são constantes e não podem ser variados. (ROSHEIDAT, HOFFMAN e BRYAN, 2008)

Notadamente, em todos depoimentos de pesquisadores e profissionais que utilizam ou já utilizaram o ENVI-met, as principais dificuldades que são recorrentemente apontadas são a grande complexidade de uso e manuseio do *software* para a criação e parametrização do modelo de simulação e a enorme capacidade computacional requerida para a simulação. A complexidade do uso da ferramenta decorre da enorme quantidade de dados e informações que devem ser inseridas no modelo de simulação para a correta parametrização do modelo e dos cálculos. Como uma ferramenta completa e arrojada, sua simulação se constitui em um conjunto de milhares de cálculos parametrizados das condições térmicas em cada pixel do modelo (os pixels são a unidade padrão da simulação e, podem, geometricamente serem associados a distâncias no espaço simulado, em centímetros ou em metros) e a cada intervalo temporal definido (tempo entre cada registro, em minutos ou em horas).

Para cada um destes cálculos, para cada ponto da malha, para cada intervalo de tempo, o *software* deve realizar, por meio de uma série de equações, o balanço energético do espaço, considerando as trocas de calor por meio de radiação, condução, convecção e evaporação entre todos os elementos desenhados. Por esta razão, o modelo requer informações que possam caracterizar, não só geometricamente, mas também fisicamente todos os elementos inseridos no modelo, como a própria atmosfera local, as condições de céu, o solo, as massas edificadas, as vegetações, etc. Estes dados devem ser obtidos por meio de bibliografia, aproximação ou medição empírica e devem alimentar o modelo de cálculos do ENVI-met.

Além da complexidade de uso do *software* pelo operador, a grande quantidade de informações – e ressalta-se, informações estas absolutamente necessárias – ocasiona também a própria complexidade dos cálculos realizados, que, em uma grande quantidade de operações levam, conforme mencionado acima, à intensa necessidade de processamento pelo computador. Note que, de acordo com o site do ENVI-met (ENVI_MET GMBH, 2018)²¹, os requisitos do sistema para funcionamento das simulações são bastante exigentes: é solicitado

²¹ < <https://www.envi-met.com/trial/> > Acesso em 28 de dezembro de 2018

um sistema operacional e processador em 64-bit, minimamente com 3 Gb de memória RAM e, no mínimo, um núcleo de processamento para cada simulação ativa.

Quanto ao espaço em disco, não há um requisito específico, a empresa indica que haja abundância de espaço no computador, uma vez que, de acordo com o site do ENVI-met, cada simulação de um período de 24 horas ocupa em torno de 5 Gb de armazenamento aproximadamente. Neste projeto de pesquisa, cada simulação com duração de cerca de 36 horas simuladas, ocupa um espaço aproximado entre 18 Gb e 25 Gb de dados e informações. É comum que as simulações realizadas pelo ENVI-met realizadas em computadores pessoais domésticos, a depender do tamanho e complexidade do modelo e parametrizações dos algoritmos de cálculo e necessidades para os resultados, possam levar horas ou até mesmo dias devido aos milhares de operações realizadas para uma única simulação.

Por exemplo, de acordo com SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS (2017), isto não impõe nenhum problema na simulação de um pequeno número de edifícios, mas assim que o modelo atinge uma escala urbana, como o ENVI-met está adotando uma abordagem holística para calcular detalhes finos em escala urbana, o tempo de computação e a potência do computador se tornam substanciais, o que torna o modelo menos fácil de usar. Apesar do ENVI-met possuir uma das mais altas resoluções espaciais disponíveis para a modelagem microclimática, é necessário fazer um compromisso para reduzir o tempo de computação. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Este acaba sendo um desafio para grande parte dos pesquisadores, que precisam destinar máquinas que possam operar ininterruptamente por longos períodos para a realização das simulações. Neste projeto de pesquisa, as simulações realizadas tiveram períodos de cálculo que variaram entre 70 e 100 horas (entre 3,0 e 4,5 dias) aproximadamente. Estes períodos de cálculo foram obtidos já com grandes simplificações dos modelos que, associaram uma resolução horizontal mais baixa (1 pixel para cada 3 metros), com função *telescoping* (reduzindo o número de pixels na vertical), e com menores áreas de simulação (300 x 300 m). No caso das primeiras tentativas de simulação, os prazos de simulação ultrapassavam os 10 dias, e até mesmo em alguns casos, os 16 dias.

Nestes casos, a impossibilidade de pausar ou de retomar uma simulação que fora previamente interrompida, coloca em risco os prazos e os resultados de simulações que podem ser acidentalmente interrompidas por diversas razões como o desligamento acidental do computador, interrupção ou instabilidade no fornecimento de energia, falhas e erros no sistema operacional da máquina e mesmo falhas e erros no próprio processamento da simulação, que podem ser registrados com a consequente interrupção da simulação somente após um longo prazo em que esta já estava sendo processada.

Em função disto, o uso do ENVI-met para realização das simulações demanda do usuário o uso de máquinas adequadas com configurações mínimas e recomendadas mais avançadas, tanto de hardware quanto de *software*, e uma gestão de riscos que seja considerativa aos longos prazos naturalmente demandados para o processamento das simulações e a extensão de prazos para a nova realização e para a repetição das simulações em caso de erros, interrupções ou resultados inconsistentes. Ainda acerca da grande quantidade e complexidade de dados que devem ser gerados e inseridos nos modelos e algoritmos do *software* pelo usuário, é necessário extremo cuidado com as informações, e, principalmente, com a confiabilidade da origem dos dados utilizados, uma vez que pequenas variações nos ajustes de dados climáticos ou do ambiente construído, podem gerar erros na simulação, uma grande variabilidade nos dados simulados e/ou a inconsistência dos resultados.

Por esta razão, todos os dados inseridos no *software* devem ter respaldo de fontes confiáveis notadamente reconhecidas pela bibliografia adequada ou comprovar o rigor técnico e científico na obtenção das informações, ou devem ser dados gerados pelo próprio usuário com base em dados obtidos empiricamente em experimentos pertinentes ao modelo simulado. A versão BASIC / TRIAL do ENVI-met é gratuita e acompanha modelagem completa e simulação para aplicações não comerciais, mas é restrita com relação às ferramentas de cálculo, bem como às dimensões do modelo geométrico. (ENVI_MET GMBH, 2018)

Por exemplo, para valores de albedo, transmitância e absortância de superfícies de massas construídas, rugosidade e características do solo, os dados podem ser obtidos na bibliografia local a partir do levantamento das características reais da região onde se encontra o modelo estudado. Enquanto isso, dados climatológicos como condições predominante de Temperatura do Ar próximo à superfície, Temperatura do Ar a 2500m de altitude, Umidade

Relativa, umidade específica a 2500m de altitude, radiação solar, direção e Velocidade do Ar, condição de céu, etc., podem ser obtidos através dos registros históricos e estatísticos das diversas estações meteorológicas presentes no país, e podem ainda ser complementados e/ou calibrados por dados medidos empiricamente na região do modelo estudado.

Há ainda uma limitação no uso do ENVI-met em sua versão básica gratuita que ocasiona provavelmente a maior restrição prática na elaboração e simulação dos modelos. A versão básica gratuita (ENVI-met BASIC) não dispõe de todas as ferramentas de cálculo das versões mais avançadas, entretanto, se mostra inviabilizada para análises mais detalhadas de parâmetros termo-energéticos das edificações e de características físicas dos edifícios como temperaturas de superfícies das fachadas e fluxos de calor junto às fachadas.

Para este projeto de pesquisa, no entanto, a ferramenta de cálculo cuja ausência seria restritiva seria a ausência da opção *full forcing*. O conjunto de ferramentas *forcing* para o cálculo das simulações permite que o usuário insira dados reais de medições empíricas do local simulado de hora em hora no modelo, trazendo uma maior calibração e aderência dos resultados simulados às condições reais medidas no local estudado.

Na versão gratuita, está disponível somente a ferramenta *simple forcing* que permite que o usuário insira de hora em hora valores derivados de medições de Temperatura do Ar próximo à superfície e/ou a 10m de altura e a Umidade Relativa do ar. A opção *full forcing* permite que o usuário insira os valores horários de radiação solar direta, velocidade e direção dos ventos. Para este projeto de pesquisa, no entanto, foi utilizada a ferramenta *full forcing* para a calibração dos modelos estudados e para a execução das simulações finais das áreas estudadas. Foi utilizada a versão SCIENCE do ENVI-met 4 com a licença do LABAUT.

A versão gratuita do ENVI-met apresenta ainda mais uma limitação restritiva em seu processo de modelagem: os modelos originados nas versões gratuitas são limitados a uma malha de 50 x 50 x 40 pixels, isto é, a uma área em projeção horizontal de 50 x 50 pixels e a uma altura de 40 pixels. Mais um argumento pelo qual foi necessário utilizar a versão científica do *software* neste trabalho, visto que os modelos com áreas de 400 x 400m de área edificada e mínimo de 500 x 500m de área total contando o as margens de entorno dos edifícios, ultrapassam os 167 x 167 pixels de dimensões horizontais totais. Na altura, também chegam

aos 40 pixels, em função da altura dos edifícios dos modelos, chegando a mais de 120m de altura em um dos modelos. Lembrando que o motor de cálculo do ENVI-met exige que o modelo tenha uma altura total mínima que seja o dobro do edifício mais alto do modelo.

No caso da malha horizontal, a cada pixel é atribuído um valor de distância, medida, por exemplo, em metros. Ou seja, um pixel na horizontal pode representar uma distância de 1 metro ou uma distância de 10 metros, por exemplo. Se cada pixel representar 1 metro, teremos uma simulação com uma altíssima resolução nos cálculos e na apresentação dos resultados, porém teremos uma malha de somente 50 x 50 metros, inapropriada e insuficiente para os propósitos deste projeto de pesquisa. Agora no caso de cada pixel representar 10 metros, por exemplo, teremos uma simulação com uma malha horizontal de 500 x 500 metros (aproximadamente 5 x 5 quadras, num total de 25 quadras), adequada aos propósitos da pesquisa, mas, provavelmente com uma resolução cujos resultados não sejam adequados e fielmente representativos do espaço estudado, uma vez que deve-se pensar que cada informação dirá respeito a áreas de 25 m², 5 x 5 metros cada.

Ao mesmo tempo, a dimensão do pixel é vital para o estudo requerido neste projeto de pesquisa, pois os pixels trarão as dimensões em planta das edificações e as larguras das vias. É necessário lembrar que, no modelo criado, geometricamente falando, as dimensões em planta dos edifícios e das quadras, bem como as larguras das vias, são múltiplos inteiros da dimensão escolhida para os pixels. Pixels de tamanhos muito grandes, como 10m podem resultar em edificações e larguras de vias cujas dimensões sejam múltiplos de 10m, ou seja, um edifício ou uma via poderá ter largura de 10m, 20m, 30m, o que é inadequado para a simulação em microescala, do conjunto de quadras. Pixels de tamanhos muito pequenos, no entanto, apesar de sua flexibilidade e adaptabilidade para dimensões em planta mais variadas, acabam por limitar o espaço horizontal máximo que pode ser simulado.

Desta forma, quando na criação dos modelos de estudo para este projeto de pesquisa, as dimensões dos pixels tiveram de ser estudadas e planejadas, adotando pixels que representem valores medianos e que possam gerar dimensões múltiplas que sejam representativas do espaço construído da cidade de São Paulo. Foram utilizados neste trabalho pixels de 3m de dimensão na horizontal, pois são representativos dos tamanhos de vias com

9m, 12m, 15m, 18m, 21m, de largura, são igualmente representativos dos edifícios e lotes com profundidades e larguras que são facilmente aproximadas para múltiplos de 3m.

Estes são valores representativos da cidade, como, por exemplo, ruas de 12 metros de largura, ou 14 metros de largura são comuns em bairros residenciais de São Paulo. Pixels de 2m de largura geram uma necessidade computacional de processamento que inviabilizaria a execução das simulações deste trabalho em tempo hábil, e pixels de 4m de largura seriam pouco representativos das dimensões de lotes, edifícios e vias da cidade. Pixels de maiores dimensões ocasionam uma baixa resolução no cálculo e na análise dos dados, que inviabiliza os resultados na escala necessária. Vale ressaltar que o detalhamento das superfícies, como a divisão entre passeios de pedestres e leitos carroçáveis nas vias, deve igualmente ser criado pela caracterização das superfícies em pixels. Ou seja, para diferenciar o passeio de pedestres do leito carroçável em asfalto, por exemplo, é necessário que os pixels do *grid* permitam esta divisão, caso contrário, será necessário simplificar a superfície pela característica predominante se a resolução escolhida para os pixels não permitir esta diferenciação. Este é um dos principais paradigmas encontrados na criação dos modelos.

Os pixels verticais, que geram a altura do modelo, por sua vez, podem ser apresentados em uma escala diferenciada e, para estes, segue a mesma regra: cada pixel representará uma distância na vertical, que gera a altura do modelo e as alturas de seus respectivos objetos. Assim, portanto, um pixel de 10m poderá gerar, em 40 pixels de altura, modelos com 400m de altura, por exemplo, muito mais do que suficientes para a realização do modelo. Ressaltando que, no caso, do eixo vertical, a exigência de resolução para este projeto de pesquisa é menor, uma vez que serão avaliadas as condições microclimáticas próximas à superfície do solo e nas superfícies das massas edificadas. Há ainda a opção de uso da função de grade telescópica para o eixo vertical, em que os pixels mais próximos ao solo possuem dimensões menores, mais adequadas a um maior detalhamento da simulação a menores alturas, onde há maiores interações térmicas entre diferentes elementos, e maiores dimensões conforme se distancia do solo, onde há menos interações e menor necessidade de detalhamento.

Ressalta-se que é recomendável que a altura total do modelo, isto é, do solo até a borda do *grid* do modelo de simulação seja, no mínimo, duas vezes maior do que a altura do maior edifício. Isto é, se o maior edifício, por exemplo, possuir aproximadamente 100m de altura, é

recomendável que o modelo possua minimamente 200m de altura, para comportar melhor os cálculos e simulações das movimentações de massas de ar sobre as edificações. Por fim, vale lembrar que as simulações do ENVI-met ainda não dispõem de suporte para alguns tipos de elementos da paisagem, o que cria algumas limitações de simulação que são menos – ou não são – impactantes para este trabalho, que foca somente na questão da morfologia urbana.

Fora isso, em algumas pesquisas no Brasil e em outros países, há algumas questões envolvendo a supervalorização de certas variáveis microclimáticas. Por exemplo, SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS (2017), observam que, em seus estudos, os valores de TRM eram superestimados, a menos que as informações climáticas específicas do local fossem usadas como entrada. De acordo com os autores, o ENVI-met tem alguns problemas com o cálculo dos fluxos de radiação, o que ocorre por algumas razões: a dispersão da radiação difusa na vertical é considerada isotrópica, a radiação difusa de ondas curtas não é absorvida durante a passagem pelas plantas, a radiação de ondas curtas refletida para cima a partir do solo e as plantas não é contada, a radiação de ondas longas emitida pela vegetação e outras superfícies diferentes não é calculada com base em cada categoria de superfície, mas sim com base em uma temperatura média de todas as superfícies dentro do campo de visão. Devido aos erros na estimativa de radiação direta, difusa e refletida de ondas curtas e ondas longas, o cálculo da TRM pode produzir desvios em relação às medições no local. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Esta dificuldade também foi registrada neste trabalho, em que, foram realizados cerca de 22 modelos de controle e calibração, antes da realização das simulações dos modelos finais. Em vários modelos de controle, registrou-se um excesso de radiação direta incidente no período da tarde, quando, a radiação direta começava a crescer a partir do meio-dia até às 18h, atingindo valores, em alguns modelos, impraticáveis, chegando a 1500 W/m^2 e, com isso, gerando temperaturas radiantes médias não representativas das condições reais do terreno, de mais de 90°C , 100°C . Este problema ocorria quando se utilizava o *full forcing* com dados inseridos de radiação solar, mas não ocorreu quando se utilizou o *simple forcing*, isto é, sem a inserção de dados de radiação nem de nebulosidade, e nem quando se utilizou o *full forcing* inserindo dados de nebulosidade ao invés de dados de radiação. Para os modelos finais, foi utilizado o *full forcing* inserindo dados de nebulosidade, que gerou dados confiáveis e adequados às medições in loco nos modelos de calibração.

Ainda de acordo com SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS (2017), é necessário usar as informações meteorológicas mais características das áreas de estudo como condições de contorno para produzir resultados confiáveis. Os resultados produzidos dessa maneira podem revelar diferenças na geometria urbana e suas consequências em condições microclimáticas. Assim, embora o ENVI-met seja uma ferramenta útil para examinar condições meteorológicas típicas, a complexidade das formas urbanas das cidades reais oferece importantes vantagens ambientais e riqueza que não devem ser negligenciadas. A TRM nas simulações é superestimada devido a uma tendência de calcular uma radiação direta mais alta durante o dia, e, outros erros relatados no cálculo da radiação de ondas difusa, refletida e de ondas longas. Além disso, a exposição à radiação solar direta também pode ser calculada incorretamente pela estimativa aproximada das alturas dos edifícios, bem como pela resolução da grade vertical. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Neste caso, é por esta razão que para este trabalho a resolução adotada é o pixel de 3m de largura, que é suficientemente representativo das características dimensionais de edifícios, lotes e vias em São Paulo, bem como tem uma dimensão pequena o suficiente para uma boa resolução para o cálculo do balanço térmico e do fluxo de radiações e para a apresentação dos resultados. Fora isso, ao invés de adotar a aproximação das dimensões horizontais e de altura dos edifícios e vias com base na verificação in loco, foram adotados os dados reais medidos por satélite das imagens georreferenciadas do mapa digital da cidade da Prefeitura de São Paulo, com as devidas retificações de informações, onde necessário.

Sugere-se que o ENVI-met tem uma tendência a subestimar a amplitude diurna da Tar quando a simulação é realizada sem *forcing* uma vez que os efeitos regionais não são levados em consideração, ou quando o aquecimento e o resfriamento das camadas de ar devido à divergência da radiação de ondas longas verticais não estão incluídos nas equações da Tar. Nestes casos, embora os resultados sejam bons na previsão de Tar quando se utiliza o *forcing*, o programa é incapaz de distinguir os efeitos dos detalhes finos nos recursos de geometria urbana que podem causar variações nas condições microclimáticas, pois os fluxos de ondas longas dentro dos ambientes urbanos são muito complexos e impulsionados também por fluxos horizontais. Portanto, ainda é essencial usar informações específicas do local para produzir resultados autênticos. (SHARMIN, STEEMERS e MATZARAKIS, 2017)

Esta dificuldade não foi experimentada neste trabalho, visto que, desde os modelos de calibração, foi utilizada a ferramenta *full forcing* para as simulações dos modelos. No caso deste trabalho especificamente, o *full forcing* foi realizado com dados de entrada para as bordas do modelo de meia em meia hora, e não de hora em hora, que é a resolução máxima de inserção de dados de entrada permitida pelo *software*.

Além disso, o objeto deste trabalho é o impacto das grandes alterações de geometria urbana nas condições microclimáticas do meio urbano aberto, e não dos detalhes finos da geometria das edificações. O objeto de estudo neste caso é a morfologia e a tipologia das edificações, com grandes variações nos formatos, alturas e dimensões em planta dos edifícios, bem como da variabilidade destas características nos modelos, recuos e distâncias entre edifícios, larguras e orientações das vias. Conforme apresentado anteriormente, o ENVI-met se mostra adequado e com resultados precisos para simular estas variações da geometria urbana, comprovado por diversos trabalhos.

Por outro lado, KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011) afirmam que em seus estudos algumas limitações do ENVI-met se tornaram aparentes, com relação à Velocidade do Ar (Vento), para a qual a precisão do modelo é reduzida se a Velocidade do Ar (Vento) de entrada for maior que 2 m/s. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011) Esta dificuldade não foi registrada neste trabalho. Foram utilizados os dados de entrada de ventos com diversas velocidades nos modelos de calibração até se obter a velocidade correta na posição do receptor que representava o ponto de medições in loco. A velocidade de entrada foi constante ao longo de todo o período de simulação e o modelo apresentou precisão suficiente para o estudo, com velocidades de vento que chegaram a diferenças de até 10% em relação ao valor registrado.

Além disso, KRÜGER, MINELLA e RASIA (2011) colocam outras limitações encontradas com relação à simulação de dispersão de poluentes e do uso de vegetação que podem não representar com precisão as espécies locais. (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011) Estas últimas limitações não geraram impactos neste trabalho visto que não foram utilizadas as ferramentas de simulação de poluentes e tampouco foi utilizada vegetação nos modelos estudados.

8.3. ANÁLISE CRÍTICA DA ADEQUAÇÃO DO ENVI-MET E SEU USO NO BRASIL

O *software* ENVI-met se mostra o mais adequado para a simulação de espaços urbanos abertos em microescala, isto é, na escala de análise de pequenas áreas do ambiente urbano, em raios de poucas quadras. Essa análise do ambiente urbano em uma escala local e próxima da geometria da edificação permite associar a morfologia do espaço urbano à própria percepção da pessoa na cidade.

As simulações numéricas realizadas são confiáveis e fazem uso de motores de cálculo fundamentados em teorias consolidadas e consagradas na bibliografia internacional com base em modelos físicos de termodinâmica e de mecânica dos fluídos, para determinar as trocas de calor e o balanço energético entre os diversos elementos e objetos do sistema (solo, edificações, massas vegetais, ar, superfícies, etc.) e a movimentação dos ventos pela geometria urbana através de sua relação direta com as condições predominantes locais, geometria e morfologia do local e influência mútua com as demais condições microclimáticas.

Além disso, o *software* permite o uso de dados climáticos da cidade de São Paulo, através da inserção de dados históricos da climatologia local, permitindo ainda que, através de ferramentas como *full forcing* e *simple forcing*, sejam utilizadas medições empíricas reais para a calibração do motor de cálculo e características climatológicas locais para a simulação, aumentando a confiabilidade dos resultados encontrados.

Especialmente no meio acadêmico, o ENVI-met já foi e tem sido utilizado como ferramenta para uma série de linhas de pesquisas no Brasil com foco em análises de condições ambientais e microclimatológicas em espaços urbanos abertos. O *software* permite a simulação de cenários diversos de características físicas dos ambientes e de características climáticas, permitindo estudar comparativamente os impactos de diversas soluções e/ou condições de ambiente urbano para a climatologia local.

Primeiramente, na criação do modelo, é definida e informada ao *software* a localização do espaço que está sendo simulado. Atribui-se ao modelo a cidade e país, junto às informações de latitude e longitude. Todos os modelos são georreferenciados e o *software* apresenta nativamente o suporte a uma série de cidades brasileiras. Em um segundo momento, após as

definições do modelo, assim como em outros *softwares* de simulação computacional de condicionantes térmicas, o ENVI-met faz uso de um conjunto de informações climatológicas com base histórica e estatística do local de simulação, que são resumidas sob a forma de um arquivo climático configurado e editado no próprio *software*.

Este arquivo climático, configurado e calibrado no *software* do ENVI-met conforme as necessidades da simulação e características do local de simulação, deve ser representativo do clima local e seus dados podem ser obtidos, de forma única ou separadamente, para uma série de cidades brasileiras. Estes arquivos são produzidos por meio dos registros históricos de estações meteorológicas confiáveis associadas, em sua maioria, a instituições de pesquisa e desenvolvimento, laboratórios e universidades, controles de tráfego aéreo e/ou marítimo, etc.

Neste caso, o *software* permite a opção de inserir dados para a simulação, e os dados que deverão ser inseridos perpassam condicionantes térmicas microclimáticas do local do empreendimento simulado (Temperatura do Ar, umidade, características dos ventos, radiação solar, etc.) e características físicas do modelo simulado (características das superfícies, vegetações e massas construídas).

E, então, a partir das estações meteorológicas, inserem-se os dados referentes às direções e velocidades predominantes dos ventos locais, dados medidos a 10m de altura, a partir de registros como, no caso da cidade de São Paulo, das estações meteorológicas do INMET – Mirante de Santana, do IAG USP – Água Funda, do Aeroporto de Congonhas, por exemplo. Inserem-se ainda os valores de Temperatura do Ar inicial, isto é, do início da simulação, rugosidade da pavimentação da área, albedo das superfícies das edificações, características das vegetações.

Outros elementos podem ainda ser informados para a correta parametrização do modelo, como as características do solo, condições de céu e nebulosidade (que afetam diretamente as condições de insolação), características das edificações (que são simuladas como corpos inseridos no ambiente urbano aberto), condições atmosféricas de poluição, fatores de ajuste da radiação solar, etc.

Conforme GUSSON (2014), ainda há, no entanto, algumas dificuldades nas simulações com ENVI-met em cidades brasileiras, visto que em algumas pesquisas realizadas foram

registradas limitações no que se refere ao ajuste da curva de Temperatura do Ar para o clima tropical, para a qual já foram verificadas diferenças expressivas entre dados medidos e simulados pelo ENVI-met. Entretanto, esta é uma dificuldade ao uso local do ENVI-met que foi contornada e melhorada com a implementação da versão v4.0 do *software* com as ferramentas *forcing* e *simple forcing*, que permitem que o *software* seja alimentado com registros de medições empíricas locais efetivamente realizadas in loco pelos pesquisadores.

GUSSEON (2014) comenta que, nas versões anteriores do programa, as condições atmosféricas de contorno da simulação só poderiam ser introduzidas no modelo nos valores iniciais a partir dos quais o modelo passa a deduzir a variação das condições microclimáticas. Isto quer dizer que o *software* permite informar a variação das condições atmosféricas e da radiação incidente, o que permite uma melhor comparação entre os valores medidos em campo e as simulações. O *full forcing* permite a inserção de mais dados climáticos além da Temperatura do Ar e da Umidade Relativa, tais como: radiação solar, direção e Velocidade do Ar, uma calibração muito melhor entre os dados medidos e simulados. (GUSSEON, 2014)

Para este trabalho, por exemplo, foram utilizados e inseridos como dados de entrada o levantamento dos dados climáticos e atmosféricos da região onde se encontra a cidade de São Paulo de acordo com o sistema de georreferenciamento do modelo do próprio ENVI-met. Foi inserido o arquivo climáticos histórico do Aeroporto de Congonhas com os dados climáticos e meteorológicos completos da cidade de São Paulo para todo o ano. E, sobrescrevendo os dados do arquivo climático dos dias específicos de estudo, foram inseridos os dados de medições empíricas reais de Temperatura do Ar, velocidade e direção dos ventos e Umidade Relativa no ponto onde se realizaram as medições.

O *software* permite especificar a altura na qual foram coletados os dados e permite alocar um ponto receptor de coleta de dados para comparar os resultados da simulação no ponto de medição com as medições reais, verificando a calibração e a acurácia do modelo. Além disso, foram inseridos os dados de nebulosidade reais coletados pela estação meteorológica do IAG Água Funda, geograficamente mais próxima do ponto de medição, para os mesmos dias. É interessante verificar que esta inserção de dados climatológicos permite a completa parametrização da simulação para as condições locais, inclusive para simulações em ambientes brasileiros. O *software* ainda permite inserir no algoritmo de simulação as diretrizes

para cálculo de índices de conforto térmico diretamente, o que, além de poder abordar índices como o PET e o PMV (ANDREAS MATZARAKIS e BAS AMELUNG, 2008), poderia abordar os cálculos do TEP (MONTEIRO, 2008); (MONTEIRO, 2018).

Este processo é usualmente chamado de *calibração do modelo climático do ENVI-met*, trazendo uma significativamente maior aderência do modelo simulado aos dados reais medidos. A ferramenta *full forcing* permite que sejam inseridos no *software*, para efeitos de calibração, também os valores medidos de radiação solar, Velocidade do Ar e direção dos ventos. Com estas funções, o ENVI-met se torna totalmente adaptável e flexível para simulações em ambientes brasileiros, correspondendo a todas as necessidades de simulação numérica deste projeto de pesquisa, uma vez que o modelo climático do *software* pode ser calibrado por meio da simulação com *full forcing* para um modelo geométrico equivalente ao local das medições reais realizadas, para então replicar as condições climáticas e modelos diversos ou estender suas características para análise de outros períodos.

9. PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DO ENVI-MET

A calibração do ENVI-met para uso neste trabalho foi feita por meio de sucessivas simulações de um recorte do bairro Mirandópolis a partir de dados microclimáticos reais obtidos por meio de medições *in loco*, utilizando a ferramenta *full forcing* e realizando a comparação dos resultados de variáveis microclimáticas obtidos para o receptor locado no modelo no ponto onde se realizaram as medições a 7,50m de altura. Foram executados 22 diferentes modelos de simulação até a composição do modelo calibrado, com critérios de aderência para as diferenças máximas entre medição e simulação, apresentados a seguir.

9.1. ELABORAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO MODELO GEOMÉTRICO DE CALIBRAÇÃO

Através do Mapa Digital da Cidade de São Paulo (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2019), foram extraídos, com o *software* QGIS, os dados georreferenciados dos traçados de ruas e suas respectivas áreas de leito carroçável asfaltado e calçadas, bem como o traçado e geometria das edificações construídas existentes, incluindo áreas de projeção e alturas. Com estes dados, um recorte do bairro em torno do ponto de medições foi realizado com uma área de 300 x 300 metros de edifícios (originalmente 400 x 400 m) e 400 x 400 metros de vias e quadras (originalmente 500 x 500 m). Com uso da ferramenta *Monde* do ENVI-met, os arquivos de exportação georreferenciados da área de análise puderam ser importados e utilizados para a composição do modelo geométrico tridimensional.

O *software* ENVI-met *Monde* georreferencia o modelo através do Google Earth e inclui a topografia local através dos levantamentos da NASA. Por padrão, foi adotado o uso dos modelos sem topografia, isto é, totalmente planos, para que os eventuais efeitos da topografia nas condições microclimáticas não gerassem impactos que pudessem mascarar os efeitos da geometria urbana. Por esta razão, todos os modelos de simulação escolhidos são de regiões existentes aproximadamente planas. Foi definido ainda o uso do asfalto preto comum como superfície do leito carroçável das vias e o pavimento de concreto “sujo” para as áreas de calçadas e interior de quadras. Ambos são padrões de materiais existentes no banco de dados

oferecidos pelo ENVI-met. Estas superfícies foram colocadas sobre terreno argiloso-arenoso melhor representativo da cidade de São Paulo, conforme (GUSSON, 2014) e (SHINZATO, 2014), como pode ser visto na Figura 40 e na Figura 41.

Figura 40 - Configuração do solo e pavimento de concreto sujo nas simulações

Figura 41 - Configuração do solo e da superfície de asfalto nas simulações

Além disso, foram utilizados para todas as edificações nos modelos os padrões de vedações verticais das construções em alvenaria de blocos cerâmicos maciços de 25cm de

espessura com revestimentos interno e externo em argamassa de 3,0cm de espessura e coberturas de telhas cerâmicas de 1,0cm sobre camada de ar de 25cm e laje de concreto maciça de 10cm de espessura, como fica evidente na Figura 42 e na Figura 43, lembrando que o ENVI-met permite somente 3 camadas de materiais por componente construtivo.

Figura 42 - Configuração da parede de alvenaria de blocos cerâmicos maciços

Figura 43 - Configuração da cobertura de telhas cerâmicas sobre laje de concreto

Esta seleção de paredes e coberturas padronizadas é representativa do bairro, onde a maior parte das construções é formada por casas e sobrados com paredes de alvenaria de blocos cerâmicos maciços e coberturas de telhas cerâmicas sobre laje ou forro. Para a caracterização das paredes de fachadas e coberturas foram utilizados os valores de referência

de transmitância térmica, condutividade térmica, absorptância de superfície, emissividade e massa específica conforme a “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” (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e o “ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS” (INMETRO, 2017), como pode ser verificado na Figura 44.

Figura 44 - Configuração dos materiais de construção para a simulação

Database-ID: [0100C6] Name: LAJE DE CONCRETO MACICA Color:	Database-ID: [0100R3] Name: TELHAS CERAMICAS Color:	Database-ID: [010003] Name: CAMADA DE AR Color:
<table><tr><th>Parameter</th><th>Value</th></tr><tr><td>Default Thickness</td><td>0.10000</td></tr><tr><td>Absorption</td><td>0.80000</td></tr><tr><td>Transmission</td><td>0.00000</td></tr><tr><td>Reflection</td><td>0.20000</td></tr><tr><td>Emissivity</td><td>0.95000</td></tr><tr><td>Specific Heat</td><td>1000.00000</td></tr><tr><td>Thermal Conductivity</td><td>1.75000</td></tr><tr><td>Density</td><td>2200.00000</td></tr><tr><td>Extra ID</td><td>0</td></tr></table>	Parameter	Value	Default Thickness	0.10000	Absorption	0.80000	Transmission	0.00000	Reflection	0.20000	Emissivity	0.95000	Specific Heat	1000.00000	Thermal Conductivity	1.75000	Density	2200.00000	Extra ID	0	<table><tr><th>Parameter</th><th>Value</th></tr><tr><td>Default Thickness</td><td>0.01000</td></tr><tr><td>Absorption</td><td>0.80000</td></tr><tr><td>Transmission</td><td>0.00000</td></tr><tr><td>Reflection</td><td>0.20000</td></tr><tr><td>Emissivity</td><td>0.95000</td></tr><tr><td>Specific Heat</td><td>920.00000</td></tr><tr><td>Thermal Conductivity</td><td>1.05000</td></tr><tr><td>Density</td><td>2000.00000</td></tr><tr><td>Extra ID</td><td>0</td></tr></table>	Parameter	Value	Default Thickness	0.01000	Absorption	0.80000	Transmission	0.00000	Reflection	0.20000	Emissivity	0.95000	Specific Heat	920.00000	Thermal Conductivity	1.05000	Density	2000.00000	Extra ID	0	<table><tr><th>Parameter</th><th>Value</th></tr><tr><td>Default Thickness</td><td>0.25000</td></tr><tr><td>Absorption</td><td>0.00000</td></tr><tr><td>Transmission</td><td>1.00000</td></tr><tr><td>Reflection</td><td>0.00000</td></tr><tr><td>Emissivity</td><td>0.96000</td></tr><tr><td>Specific Heat</td><td>1006.00000</td></tr><tr><td>Thermal Conductivity</td><td>1.19000</td></tr><tr><td>Density</td><td>1.20410</td></tr><tr><td>Extra ID</td><td>0</td></tr></table>	Parameter	Value	Default Thickness	0.25000	Absorption	0.00000	Transmission	1.00000	Reflection	0.00000	Emissivity	0.96000	Specific Heat	1006.00000	Thermal Conductivity	1.19000	Density	1.20410	Extra ID	0
Parameter	Value																																																													
Default Thickness	0.10000																																																													
Absorption	0.80000																																																													
Transmission	0.00000																																																													
Reflection	0.20000																																																													
Emissivity	0.95000																																																													
Specific Heat	1000.00000																																																													
Thermal Conductivity	1.75000																																																													
Density	2200.00000																																																													
Extra ID	0																																																													
Parameter	Value																																																													
Default Thickness	0.01000																																																													
Absorption	0.80000																																																													
Transmission	0.00000																																																													
Reflection	0.20000																																																													
Emissivity	0.95000																																																													
Specific Heat	920.00000																																																													
Thermal Conductivity	1.05000																																																													
Density	2000.00000																																																													
Extra ID	0																																																													
Parameter	Value																																																													
Default Thickness	0.25000																																																													
Absorption	0.00000																																																													
Transmission	1.00000																																																													
Reflection	0.00000																																																													
Emissivity	0.96000																																																													
Specific Heat	1006.00000																																																													
Thermal Conductivity	1.19000																																																													
Density	1.20410																																																													
Extra ID	0																																																													
Database-ID: [0100MZ] Name: ALVENARIA DE BLOCOS CERAMICOS MACICOS Color:	Database-ID: [0100C7] Name: REVESTIMENTO DE ARGAMASSA Color:
<table><tr><th>Parameter</th><th>Value</th></tr><tr><td>Default Thickness</td><td>0.25000</td></tr><tr><td>Absorption</td><td>0.60000</td></tr><tr><td>Transmission</td><td>0.00000</td></tr><tr><td>Reflection</td><td>0.40000</td></tr><tr><td>Emissivity</td><td>0.90000</td></tr><tr><td>Specific Heat</td><td>920.00000</td></tr><tr><td>Thermal Conductivity</td><td>0.90000</td></tr><tr><td>Density</td><td>1600.00000</td></tr><tr><td>Extra ID</td><td>0</td></tr></table>	Parameter	Value	Default Thickness	0.25000	Absorption	0.60000	Transmission	0.00000	Reflection	0.40000	Emissivity	0.90000	Specific Heat	920.00000	Thermal Conductivity	0.90000	Density	1600.00000	Extra ID	0	<table><tr><th>Parameter</th><th>Value</th></tr><tr><td>Default Thickness</td><td>0.03000</td></tr><tr><td>Absorption</td><td>0.60000</td></tr><tr><td>Transmission</td><td>0.00000</td></tr><tr><td>Reflection</td><td>0.40000</td></tr><tr><td>Emissivity</td><td>0.90000</td></tr><tr><td>Specific Heat</td><td>1000.00000</td></tr><tr><td>Thermal Conductivity</td><td>1.15000</td></tr><tr><td>Density</td><td>2000.00000</td></tr><tr><td>Extra ID</td><td>0</td></tr></table>		Parameter	Value	Default Thickness	0.03000	Absorption	0.60000	Transmission	0.00000	Reflection	0.40000	Emissivity	0.90000	Specific Heat	1000.00000	Thermal Conductivity	1.15000	Density	2000.00000	Extra ID	0																				
Parameter	Value																																																													
Default Thickness	0.25000																																																													
Absorption	0.60000																																																													
Transmission	0.00000																																																													
Reflection	0.40000																																																													
Emissivity	0.90000																																																													
Specific Heat	920.00000																																																													
Thermal Conductivity	0.90000																																																													
Density	1600.00000																																																													
Extra ID	0																																																													
Parameter	Value																																																													
Default Thickness	0.03000																																																													
Absorption	0.60000																																																													
Transmission	0.00000																																																													
Reflection	0.40000																																																													
Emissivity	0.90000																																																													
Specific Heat	1000.00000																																																													
Thermal Conductivity	1.15000																																																													
Density	2000.00000																																																													
Extra ID	0																																																													

Os modelos foram ajustados, com uso da ferramenta ENVI-met *Spaces*, onde foram realizadas adequações nas alturas das edificações, uma vez que no Mapa Digital da Cidade em casas e sobrados pode haver uma pequena distorção com relação à altura, já que podem haver áreas parcialmente cobertas, edículas mais baixas, etc. Além disso, o ENVI-met trabalha com alturas com resolução de 1m, portanto, nas edificações mais baixas com até 4m as alturas foram padronizadas para 4m (casas), nas edificações com altura entre 4m e 6m para 6m (sobrados) e as demais alturas para os números inteiros mais próximos. O último modelo de calibração (Mirandópolis 22) pode ser visto na Figura 45, na Figura 46 e na Figura 47.

Figura 45 - Modelo Mirandópolis 22: planta

Figura 46 - Modelo Mirandópolis 22: planta

Figura 47 - Modelo Mirandópolis 22: vista 3D

9.2. PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DO MODELO CLIMÁTICO E DE SIMULAÇÃO

Primeiramente foi especificada a localização georreferenciada do modelo, o que permite ao ENVI-met trazer dados locais: aspectos do clima local, altitude em relação ao nível

do mar, características de temperatura e umidade a 2000m de altitude com relação ao nível do mar e suas interações com o clima local. Foram realizados 22 diferentes modelos para a calibração do *software*, buscando o modelo climático com a maior acurácia possível na reprodução das condições microclimáticas das medições realizadas no mesmo ponto. A Tabela 10 expõe o histórico de ajustes e conclusões das simulações de calibração realizadas.

Os ajustes dos diferentes modelos de calibração envolveram: adoção ou não do arquivo climático do Aeroporto de Congonhas como base dos dados, uso da ferramenta *forcing* somente com dados de Temperatura do Ar e Umidade Relativa das medições, uso da ferramenta *full forcing* incluindo também o input de velocidade e Direção do Vento, uso da ferramenta *full forcing* incluindo também o input de radiação (direta, difusa e de onda longa) com base em dados de estação meteorológica, uso da ferramenta *full forcing* incluindo também o input de nebulosidade ao invés da radiação com base em dados de estação meteorológica.

Tabela 10 - Histórico dos modelos de calibração do ENVI-met

REGISTRO DAS ALTERAÇÕES NO MODELO E DOS RESULTADOS OBTIDOS	
1	Primeiro modelo com 500 x 500m em planta com 1 pixel = 2m nos eixos horizontais e 1 pixel = 3m no eixo vertical. Vento a 1,39 m/s. Simulação não concluída . Houve erros nos modelos: materiais associados não correspondentes à data-base. Necessidade de correção da database de materiais e componentes construtivos e da atribuição de materiais aos elementos do modelo geométrico.
2	Novo modelo com nova data-base de materiais, refeita e corrigindo os erros encontrados. Simulação não concluída . Houve erros nos modelos: pouco espaço entre os edifícios e bordas dos modelos, na horizontal e vertical. Necessidade de alteração do modelo geométrico com a criação de maiores espaços vazios em grandes quantidades de pixels nas bordas dos modelos na horizontal e também na vertical.
3	Novo modelo com acréscimo de pixels vazios no entorno do modelo, na horizontal e na vertical. Cerca de 30 pixels vazios em cada borda do modelo . Simulação cancelada devido ao tempo necessário para os cálculos, pelas estimativas, aproximadamente 16 dias. Necessidade de redução das dimensões do modelo geométrico para sua simplificação e consequente redução do tempo de processamento.
4	Redução do modelo para uma área de análise de 400 x 400m em planta com mais cerca de 30 pixels vazios em cada borda do modelo . Simulação cancelada devido ao tempo necessário para os cálculos, pelas estimativas, aproximadamente 10 dias. Necessidade de redução das dimensões do modelo geométrico para sua simplificação e consequente redução do tempo de processamento da simulação.

REGISTRO DAS ALTERAÇÕES NO MODELO E DOS RESULTADOS OBTIDOS

5	<p>Redução do modelo para uma área de análise de 300 x 300m em planta com mais cerca de 30 pixels vazios em cada borda do modelo. Simulação cancelada devido ao tempo necessário para os cálculos, pelas estimativas, aproximadamente 8 dias. Necessidade de redução da resolução do modelo geométrico para sua simplificação e consequente redução do tempo de processamento da simulação. Não é mais possível reduzir as dimensões do modelo geométrico para não comprometer a qualidade dos resultados.</p>
6	<p>Redução da resolução do modelo nos eixos horizontais para 1 pixel = 3m em planta. Boa aderência do modelo simulado às medições reais no período noturno, mas tendência a maiores temperaturas de ar e menor Umidade Relativa no período diurno, acima da tolerância admitida. Modelo não pode ser aceito. Excesso de radiação solar direta à tarde, crescente até às 18h.</p>
7	<p>Simulação cancelada, uma vez que o teste realizado em outro computador (Mirandópolis 6) foi bem-sucedido.</p>
8	<p>Vento a 1,47 m/s, velocidade média ponderada nas medições empíricas no período de análise. Boa aderência do modelo simulado às medições reais no período noturno, mas tendência a maiores temperaturas de ar e menor Umidade Relativa no período diurno, acima da tolerância admitida. Verificou-se um excesso de radiação direta no período da tarde. A Velocidade do Ar ficou inferior às medições.</p>
9	<p>Correções nas alturas das edificações, simplificando as alturas de 1,0 a 4,0m para 4,0 m, e entre 4,0 e 6,0m para 6,0 m. Vento a 1,50 m/s, simplificação da velocidade de entrada do modelo para melhor representação da velocidade média ponderada por direção e média da direção predominante sudeste. Modelo ainda reproduz um excesso de insolação direta no período da tarde, gerando maiores temperaturas do ar (cerca de 3°C de diferença máxima) e menores umidades relativas (cerca de 10% de diferença máxima) no período da tarde. Diferença em relação ao modelo anterior praticamente nula. Excesso de radiação direta à tarde, crescente até 18h.</p>
10	<p>Correção para 7m na altura de realização da medição dos dados de entrada. Houve aproximação da Temperatura do Ar, da Umidade Relativa e da Velocidade do Ar em direção às medições. No entanto, ainda mostra à tarde tempo mais quente e mais seco com altas radiações diretas, crescentes até 18h.</p>
11	<p>Vento a 2 m/s na entrada da borda do modelo, a 7m de altura. Principalmente a Velocidade do Ar se aproximou muito das medições reais. Temperatura do Ar e Umidade Relativa se aproximaram ainda mais. No entanto, o modelo ainda reproduz no período da tarde um tempo mais quente e mais seco. Altas radiações solares diretas no período da tarde, crescentes até às 18h.</p>
12	<p>Vento a 2,20 m/s, medições a 7,50m de altura. <i>Simple forcing</i>: opção por não utilizar os dados de radiação direta, difusa e de onda longa no <i>forcing</i> do ENVI-met, e nem tampouco os dados de nebulosidade. Aproximação significativa dos gráficos de Temperatura do Ar e Umidade Relativa em sinergia com os das medições reais. Aproximação significativa das velocidades e direções dos ventos também em direção aos dados reais de medição, mas levemente mais altos do que o aceitável. No entanto, há enormes e inaceitáveis diferenças entre os gráficos de todos os tipos de radiação da simulação e do IAG.</p>

REGISTRO DAS ALTERAÇÕES NO MODELO E DOS RESULTADOS OBTIDOS

- 13 Simulação com os dados de nebulosidade levantados pelo IAG na Estação Água Funda ao invés dos dados de radiação. Os dados do IAG de nebulosidade são trabalhados em uma escala de 0 a 10, sendo que o ENVI-met trabalha com uma escala de 0 a 8, sendo assim, os dados foram reescalados proporcionalmente para o formato do ENVI-met. Melhores resultados e melhor simulação a ser utilizada, cabendo somente o ajuste dos ventos, da temperatura e da umidade no *forcing* conforme a Simulação 20, mas utilizando a nebulosidade da Simulação 13. Aproximação significativa dos gráficos de Temperatura do Ar e Umidade Relativa em sinergia com os das medições reais. Aproximação significativa das velocidades e direções dos ventos também em direção aos dados reais de medição, mas levemente mais altos do que o aceitável. No entanto, aumentaram as diferenças entre os gráficos de todos os tipos de radiação da simulação e da estação do IAG. Melhores resultados obtidos para Temperatura do Ar, em comparação com todas as outras simulações. Boa aderência da Umidade Relativa, muito melhor do que praticamente todas as demais simulações, com as menores diferenças máximas entre umidade simulada e medida. Menor aderência dos valores de radiação do que no *forcing* com radiação, mas ainda assim boa aderência dos gráficos, das tendências de variação e dos valores de radiação, principalmente boa tendência nos casos da radiação difusa e razoável aderência na radiação direta e na radiação de onda longa.
-
- 14 Inclusão dos dados climáticos do arquivo climático EPW do Aeroporto de Congonhas. Uso do full *forcing* com dados de nebulosidade, adotando como zero os valores de nebulosidade para todos os tipos de nuvens ao longo de todo o período da análise. Ventos na borda do modelo a 2,1 m/s. Aproximação significativa dos gráficos de Temperatura do Ar e Umidade Relativa em sinergia com os das medições reais. Aproximação significativa das velocidades e direções dos ventos também em direção aos dados reais de medição, mas levemente mais altos do que o aceitável. No entanto, aumentaram as diferenças entre os gráficos de todos os tipos de radiação da simulação e da estação do IAG. Não é possível mesclar o *forcing* de dados medidos com EPW (por exemplo temperatura de um e radiação de outro) nos mesmos dias e horários. Resultados piores, mais distantes em relação à Simulação 13 que tinha nebulosidade real. Ainda assim, resultados mais aderentes e mais confiáveis do que as demais simulações. Menor e fraca aderência nos valores de radiação difusa e de onda longa.
-
- 15 Inclusão dos dados climáticos do arquivo climático EPW do Aeroporto de Congonhas, São Paulo, obtido no site do Energy Plus. Uso do full *forcing* com dados de radiação do IAG, zerando todos os dados de radiação direta entre 20h e 4h30. Ventos na borda do modelo a 2,1 m/s. Resultados similares aos anteriormente encontrados, sem diferenças relevantes com relação às demais simulações forçando a radiação, em especial a Simulação 12. Leve tendência a obter temperaturas mais altas e umidades mais baixas durante o dia, em especial no período da tarde.
-
- 16 Simulação utilizando para o *forcing* somente os dados do arquivo climático EPW do Aeroporto de Congonhas, São Paulo, obtido no site do Energy Plus, para todos os parâmetros dos dados de entrada (Temperatura do Ar, radiação, umidade, vento, etc.). Não é possível mesclar o *forcing* de dados medidos com EPW (por exemplo temperatura de um e radiação de outro) nos mesmos dias e horários. Simulação não concluída. Descartada. Resultados incompletos, que não chegam às 6h do dia 13/12, param ao final da tarde do dia 12/12. Não é possível mesclar o *forcing* de dados medidos com EPW (por exemplo temperatura de um e radiação de outro) nos mesmos dias e horários. Baixíssima aderência das velocidades e direções dos ventos com relação aos dados médios de entrada a partir das medições empíricas. Excelente aderência dos ventos, da direção e da velocidade. Baixíssima aderência dos gráficos de Temperatura do Ar e Umidade Relativa quando em comparação com os demais. Leve tendência a obter temperaturas mais altas e umidades mais baixas durante o dia, em especial no período da tarde.

REGISTRO DAS ALTERAÇÕES NO MODELO E DOS RESULTADOS OBTIDOS

- 17 Aumento do período de dados de entrada de 09/12 a 14/12 (antes 11/12 a 13/12), utilizando os valores médios de temperatura, umidade e radiação dentre os horários quebrados (Xh05, Xh10, Xh15...) para os horários do ENVI-met (Xh00, Xh30...). Excelente aderência dos ventos, da direção e da velocidade. Melhores resultados de aderência da Temperatura do Ar e da Umidade Relativa. Ainda assim, os resultados podem melhorar e ter melhor aderência. Os resultados forçando a nebulosidade são melhores. **Leve tendência a obter temperaturas mais altas e umidades mais baixas durante o dia, em especial no período da tarde. Aumento desproporcional e inaceitável da radiação direta à tarde.**

- 18 Aumento do período de simulação, iniciando às 20h do dia 11/12 (ao invés de 22h) e finalizando ainda assim às 6h do dia 13/12 (34 horas de simulação, não mais 32 horas), como tentativa de trazer maior ajuste e adequação aos dados calculados. Arquivo *forcing* da Simulação 17, forçando os dados de radiação. Excelente aderência dos ventos, da direção e da velocidade. Melhores resultados de aderência da Temperatura do Ar e da Umidade Relativa. Ainda assim, os resultados podem melhorar e ter melhor aderência. Os resultados forçando a nebulosidade são melhores. Leve tendência a obter temperaturas mais altas e umidades mais baixas durante o dia, em especial no período da tarde. Boa aderência dos valores de radiação difusa e radiação de onda longa, e também da radiação direta de manhã, mas forte **aumento desproporcional e inaceitável da radiação direta à tarde.**

- 19 Aumento do período de simulação, iniciando às 18h do dia 11/12 (ao invés de 20h) e finalizando ainda assim às 6h do dia 13/12 (36 horas de simulação, não mais 34 horas), como tentativa de trazer maior ajuste e adequação aos dados calculados. Arquivo *forcing* da Simulação 17, forçando os dados de radiação. **Simulação não concluída.** Houve queda de energia por longo período na FAU USP, interrompendo o processo de simulação.

- 20 Aumento do período de simulação, iniciando às 18h do dia 11/12 (ao invés de 20h) e finalizando ainda assim às 6h do dia 13/12, para maior ajuste e adequação aos dados calculados. Arquivo *forcing* da Simulação 17, forçando os dados de radiação. **Melhor resultado de ventos possível: maior aderência de velocidade e direção. Velocidade média dos ventos mais próxima da velocidade alvo (1,48 m/s no modelo simulado contra 1,47 m/s na medição empírica). Diferenças nas velocidades dos ventos inferiores a 5% em todo o período de interesse para a análise (do dia 12/12 à 1h50 ao dia 13/12 às 6h) e inferiores a 3% em todo o período de interesse para a análise (do dia 12/12 às 5h00 ao dia 13/12 à 00h50). Diferença entre modelo e medição menor ou igual a 0,11 m/s em todo o período, diferença média de 0,1 m/s. Diferença média da Direção do Vento é de somente 0,01% (0,01°) e máxima de 0,12% (0,16°). Direção média do modelo foi 138,70° igual ao medido. Um dos melhores resultados obtidos de Temperatura do Ar e Umidade Relativa. Leve tendência a obter temperaturas mais altas e umidades mais baixas no período da tarde. A Simulação 13, forçando nebulosidade, apresentou melhores resultados de Temperatura do Ar, de radiação e de Umidade Relativa. Melhor resultado com maior aderência dos valores de radiação difusa e radiação de onda longa, mas **aumento desproporcional da radiação direta à tarde.****

Modelos 21 E 22. CONCLUSÃO: realizar a simulação do período de 18h00 do dia 11/12/2018 a 06h00 do dia 13/12/2018 (36 horas) utilizando a opção Full *Forcing* com inputs de dados de Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Velocidade do Ar, Direção do Vento e nebulosidade. Utilizar a velocidade média ponderada (2,20 m/s) e direção (138,70°) do vento conforme medição, de acordo com o adotado na Simulação Mirandópolis 20. Utilizar a nebulosidade da Estação Água Funda do IAG USP, conforme adotado na Simulação Mirandópolis 13 (não esquecer de fazer a transformação proporcional da escala de nebulosidade de 1-10 para 1-8). Utilizar o arquivo climático .EPW de São Paulo Congonhas como base de fundo. Montar arquivo de *forcing* .FOX com dados reais de medição entre 00h00 de 09/12/2018 e 06h00 de 14/12/2018, e dados do arquivo climático .EPW para o ano inteiro. Inserir como altura das medições in loco de dados climáticos o valor de 7,50m.

A Figura 48 mostra os dados de entrada para o dia 12/12/2018 de dados provenientes das medições e das estações meteorológicas. Outros ajustes foram sendo realizados e delineados, como, por exemplo, a altura do ponto de medições com relação ao solo em relação ao que foi efetivamente realizado em campo, o ajuste da Velocidade do Ar de entrada até se obter a velocidade de vento correta.

Figura 48 - Modelo Mirandópolis 21: Valores de entrada das simulações em 12/12/2018

Por fim, com o processo de calibração, encontrou-se a melhor configuração para o modelo climático da simulação:

1. Período de simulação de 36 horas com início às 18h do dia 11/12/2018 e encerramento às 6h do dia 13/12/2018.
2. Uso da ferramenta *full forcing* adotando dados de entrada do arquivo climático do Aeroporto de Congonhas (EPW) para o ano todo e, sobrescrevendo os dados do arquivo climático, o que fica nítido na Tabela 11, os seguintes dados medidos e de estações meteorológicas entre 09/12/2018 00h00 e 14/12/2018 06h00:
 - a. Dados constantes da média ponderada da Direção do Vento (138,7°) e Velocidade do Ar da borda do modelo de 2,2 m/s para obter no ponto de medições 1,5 m/s²² com diferença máxima de 10%.

²² No caso da Velocidade do Ar, o objetivo da calibração era obter a velocidade de vento mais próxima possível daquela medida in loco (1,50 m/s) no ponto do modelo físico que simula o ponto real onde foram feitas as medições, que fica no centro do modelo. Para isto, como os inputs do modelo meteorológico de cálculo são feitos nas bordas do modelo, há um

- b. Nebulosidade registrada com intervalos de 60 minutos pela Estação Meteorológica da Água Funda (Parque do Estado) e inseridas em intervalos de 30 minutos (dados médios entre os registros).
- c. Temperatura do Ar e Umidade Relativa com intervalos de 30 minutos como médias das medições reais a cada 10 minutos, atingindo uma diferença máxima de 10% entre o modelo simulado e as medições reais.

Tabela 11 - Dados de entrada do arquivo climático e das medições / estações meteorológicas

9.3. ADEQUAÇÃO E PRECISÃO DO MODELO CALIBRADO

O modelo calibrado, correspondente aos modelos Mirandópolis 21 e 22 (iguais entre si, simulados em computadores diferentes), apresentou excelentes resultados de calibração, com grande acurácia e precisão na reprodução dos dados das medições reais realizadas in loco. Para cada modelo de calibração executado foram realizadas comparações entre as medições reais e os resultados encontrados no receptor do modelo locado no ponto de medições a 7,50m de altura, comparando as aderências dos valores de Temperatura do Ar, Umidade Relativa, velocidade e Direção do Vento. Uma comparação também dos valores de radiação (onda curta, onda longa e difusa) também foi feita, para efeito de calibração nos casos em que se utilizaram os dados de radiação da estação meteorológica, e nos casos em que se utilizou a nebulosidade.

ajuste que deve ser feito no input da Velocidade do Ar na borda, para assegurar a velocidade correta no ponto de medição no centro do modelo, já que há perda de Velocidade do Ar no meio do modelo físico em função dos edifícios.

9.3.1. Temperatura do Ar e Umidade Relativa

No Gráfico 25 e no Gráfico 26, as curvas de medições e dados simulados quase se sobrepõem comprovando a precisão do modelo calibrado. A Tabela 12 e a Tabela 13 mostram que as diferenças máximas entre o modelo final calibrado e as medições reais foram de somente 4,9%, ou 1,5°C, para a Temperatura do Ar, e de 12,4%, ou 5,4% UR, para a Umidade Relativa. Verificou-se uma leve tendência, como visto anteriormente, de supervalorizar o efeito de aquecimento diurno e queda de Umidade Relativa que o acompanha. O Gráfico 27 e o Gráfico 28 apresentam os resultados de todos os modelos de calibração em comparação com os dados reais de medição, passando por todos os ajustes até a obtenção do modelo final.

Tabela 12 - Comparação entre modelo calibrado e medições in loco: Temperatura do Ar

TEMPERATURA DO AR (°C)	MEDIÇÃO: TEMPERATURA DO AR (°C)	SIMULAÇÃO MIRANDOPOLIS 21: TEMPERATURA DO AR (°C)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO MIRANDOPOLIS 21 - MEDIÇÃO (°C)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO MIRANDOPOLIS 21 - 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%

Tabela 13 - Comparação entre modelo calibrado e medições in loco: Umidade Relativa

UMIDADE RELATIVA (% UR)	MEDIÇÃO: UMIDADE RELATIVA (% UR)	SIMULAÇÃO MIRANDOPOLIS 21: UMIDADE RELATIVA (% UR)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO MIRANDOPOLIS 21 - MEDIÇÃO (% UR)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO MIRANDOPOLIS 21 - 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%

Gráfico 25 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Temperatura do Ar

Gráfico 26 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Umidade Relativa

Gráfico 27 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Temperatura do Ar

Gráfico 28 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Umidade Relativa

9.3.2. Velocidade e Direção do Vento

O modelo final calibrado apresentou excelente aderência às medições reais inseridas, como fica nítido no Gráfico 29 e no Gráfico 30, nos quais as curvas de medições e dados simulados ficam praticamente sobrepostas e só podem ter a diferença visualizada com muito zoom no eixo vertical, comprovando a precisão do modelo calibrado. A Tabela 14 e a Tabela 15 mostram que as diferenças máximas entre o modelo final calibrado e das medições reais foram de somente 7,7%, ou 0,11 m/s, para a Velocidade do Ar, e de 0,27%, ou 0,37°, para a Direção do Vento. O Gráfico 29 e o Gráfico 30, por sua vez, apresentam todos os resultados obtidos em todos os modelos de calibração em comparação com os dados reais de medição, passando por todos os ajustes e adequações, até a obtenção do modelo final calibrado.

Tabela 14 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Velocidade do Ar

VELOCIDADE DO AR (m/s)	DADO DE ENTRADA: VELOCIDADE DO AR (m/s)	SIMULAÇÃO Mirandópolis 21: VELOCIDADE DO AR (m/s)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO 21 - DADO DE ENTRADA (m/s)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO 21 - DADO DE ENTRADA (%)
MÉDIA	1,47	1,47	0,0042	0,289%
MÁXIMO	1,47	1,59	0,1132	7,72%
MÍNIMO	1,47	1,40	-0,0668	-4,55%
DESVIO PADRÃO	0,00	0,05	0,0490	3,34%

Tabela 15 - Comparação entre modelo calibrado e medições: Direção do Vento

DIREÇÃO DO VENTO (°)	DADO DE ENTRADA: DIREÇÃO DO VENTO (°)	SIMULAÇÃO Mirandópolis 21: DIREÇÃO DO VENTO (°)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO 21 - DADO DE ENTRADA (°)	DIFERENÇA: SIMULAÇÃO 21 - DADO DE ENTRADA (%)
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%

Gráfico 29 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Velocidade do Ar

Gráfico 30 - Comparação entre os modelos de calibração e medições: Direção do Vento

9.3.3. Incidência de Radiação

A comparação entre a incidência de radiação do modelo final calibrado e da Estação do IAG não deve ser utilizada para validação do modelo, mas sim para efeito de verificação e estudo, uma vez que no modelo final calibrado foram utilizados os dados de nebulosidade da Estação Água Funda, que forneceu somente os dados de nebulosidade, para o *full forcing* ao invés dos dados de radiação da Estação do IAG, que forneceu somente os dados de radiação).

Verifica-se que o modelo final calibrado apresentou razoável aderência aos dados de insolação da Estação do IAG, como fica nítido no Gráfico 31, no Gráfico 32 e no Gráfico 33, nos quais as curvas da Estação e dados simulados ficam próximas. A Tabela 16 mostra, de forma comparativa, a proximidade entre os valores máximos e mínimos de radiação direta, difusa e de onda longa registrados pela Estação do IAG e pela simulação com os dados de nebulosidade da Estação Água Funda. Nota-se que há grande proximidade entre os valores registrados, sendo a radiação direta máxima da ordem de 1000 W/m², o que é esperado para São Paulo no verão.

O Gráfico 31, o Gráfico 32 e o Gráfico 33, por sua vez, apresentam todos os resultados obtidos em todos os modelos de calibração em comparação com os dados da Estação do IAG, passando por todos os ajustes e adequações, até a obtenção do modelo final calibrado. Com o *full forcing* utilizando os dados de radiação, o *software* apresentava perfeita adesão dos valores de radiação difusa e de onda longa, mas superestimava os valores de radiação direta no período da tarde, maximizando as diferenças nas demais variáveis entre medição e simulação, como Temperatura do Ar, Temperatura Radiante Média e Umidade Relativa.

Tabela 16 - Comparação entre modelo calibrado e Estação IAG: Incidência de Radiação

	RADIAÇÃO DIRETA (ONDA CURTA)		RADIAÇÃO DIFUSA		RADIAÇÃO DE ONDA LONGA	
	ESTAÇÃO IAG (W/m ²)	SIMUL. 21 (W/m ²)	ESTAÇÃO IAG (W/m ²)	SIMUL. 21 (W/m ²)	ESTAÇÃO IAG (W/m ²)	SIMUL. 21 (W/m ²)
MÁXIMO	1.068,15	939,31	299,13	288,54	515,57	545,57
MÍNIMO	0,00	0,00	0,00	0,00	385,08	353,95

Gráfico 31 - Comparação entre os modelos de calibração e Estação IAG: Radiação Direta

Gráfico 32 - Comparação entre os modelos de calibração e Estação IAG: Radiação Difusa

Gráfico 33 - Comparação entre os modelos de calibração e Estação IAG: Rad. de Onda Longa

10.ASPECTOS DAS SIMULAÇÕES E CARACTERÍSTICAS ADOTADAS

10.1. PREMISSAS E PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Dois objetivos foram estabelecidos para a execução das simulações: assegurar a comparabilidade entre os cinco modelos simulados e assegurar que todas as diferenças de resultados entre os modelos decorram exclusivamente das diferenças morfológicas entre os modelos. Por esta razão, foram adotadas as seguintes premissas para os modelos de simulação:

1. Todos os modelos possuem exatamente as mesmas características (topografia, materiais, etc.), variando somente os aspectos morfológicos da tipologia urbana (traçado, largura e orientação das vias, dimensões e alturas dos edifícios, etc.).
2. Todos os modelos foram simulados sob as mesmas condições microclimáticas de borda, isto é, utilizando o mesmo arquivo de configuração climática.
3. Todos os modelos utilizaram os mesmos materiais para as superfícies de calçadas (concreto sujo), de vias (asfalto comum) e de solo (argiloso-arenoso).
4. Todos os modelos utilizaram os mesmos materiais para as fachadas de edifícios (alvenaria de blocos de concreto) e para as coberturas (laje impermeabilizada).
5. Todos os modelos foram criados sem topografia, e, para manter maior verossimilhança, foram selecionadas áreas predominantemente planas com pequenas variações de relevo.
6. Todos os modelos foram simulados georreferenciados à cidade de São Paulo, com aspectos climáticos e geográficos locais.
7. Todos os modelos foram criados sem vegetação, evitando assim impactos microclimáticos ligados à permeabilidade do solo ou à vegetação. Além disso, evita-se utilizar vegetação nos modelos em função das diferenças de vegetação existente nas áreas reais estudadas.

Foram executadas as simulações dos cinco modelos descritos (Ipiranga, Itaim Bibi, Mirandópolis, Moema e República) de forma independente e desconexa. Isto é, cada modelo

foi objeto de uma simulação independente sem nenhuma interferência com outro modelo. O mesmo arquivo climático, calibrado de acordo com as medições e com os modelos de calibração descrito, foi utilizado para todos os modelos, permitindo a comparabilidade dos resultados, uma vez que todos os modelos geométricos urbanos foram simulados sobre a influência das mesmas condições microclimáticas de borda.

Isto significa que todos os cinco modelos geométricos de cidade foram submetidos à entrada das mesmas condições microclimáticas em suas bordas, isto é, em seus limites externos. A simulação numérica calcula, portanto, a evolução das condições microclimáticas no interior do modelo em todos os seus segmentos ao longo do período estudado. Ou seja, submetidos às mesmas condições microclimáticas de borda, o objetivo deste estudo é verificar às respostas e condições microclimáticas decorrentes no interior dos modelos.

10.2. ASPECTOS GEOMÉTRICOS E LIMITES DOS MODELOS

A geometria dos modelos foi desenvolvida de forma a reproduzir fielmente a geometria das edificações construídas no local. Devido às limitações do modelo de simulação, muros e paredes não são considerados, mas somente as massas edificadas, tais como prédios e casas. Além disso, como informado, não foram incluídos na simulação outros objetos além das edificações, como vegetação, por exemplo. Todos os modelos possuem uma área de edificações com 400 x 400m no plano horizontal, resultando em 160.000m², envolta uma área de superfície para as bordas do modelo de pelo menos 500 x 500 m, resultando em pelo menos 250.000m². Como resolução horizontal do modelo, adotou-se cada pixel do *software* equivalendo a 3m de largura e comprimento. Ou seja, os modelos possuem uma área total de pelo menos 167 x167 pixels, sendo 134 x134 pixels de área edificada. Este contorno de pelo menos 50m em volta de cada borda do modelo contém somente as superfícies de vias e quadras, sem edificações e foi levemente sempre que necessário até cerca de 60 a 70 m, em função das exigências de simulação do próprio ENVI-met, que demanda uma distância mínima entre os edifícios e as bordas do modelo, em função de sua altura.

Todos os modelos tiveram altura total pelo menos igual ao dobro da altura do edifício mais alto. Na resolução vertical, foi adotada a função *telescoping* a partir dos 10m de altura com fator de 10%, isto significa que pelo menos nos primeiros 10m de altura os pixels verticais têm altura de 3m, resultando em 4 pixels verticais com altura de 3m até os 12m, e após este limite, os pixels têm sua altura aumentada gradualmente em 10% por pixel, permitindo assim uma redução do número de pixels na vertical e, com isso, permitindo a simplificação do modelo e redução do tempo de processamento da simulação. Não há nenhum tipo de prejuízo no uso da função *telescoping* no caso deste trabalho uma vez que o objetivo é a análise das condições microclimáticas incidentes sobre a escala do pedestre e, portanto, a 1,50m de altura.

As alturas das edificações foram todas arredondadas para números inteiros com precisão de 1m devido à restrição de modelagem do *software*, e, além disso, edificações com altura em 1m e 4m foram padronizadas com 4m no modelo e edificações com alturas entre 5m e 6m foram padronizadas com 6m, para evitar alturas quebradas, principalmente abaixo de 4m, que não representassem bem a natureza das casas e dos sobrados nos modelos.

10.3. ASPECTOS DO PERÍODO SIMULADO

O período de simulação compreende um total de 36 horas das 18h00 do dia 11/12/2018 às 6h00 do dia 13/12/2018. O dia que é objeto de estudo e avaliação é o dia 12/12/2018, sendo o ciclo de análise entre 6h00 do dia 12/12/2018 e 6h00 do dia 13/12/2018. Assim, o período de simulação tem 6 horas anteriores ao início do dia objeto de estudo e 12 horas anteriores ao início do ciclo de análise de variação microclimática, o que permite que o modelo de simulação possa se estabilizar corretamente com antecedência em relação às análises.

O ENVI-met trabalha com cálculos de balanços térmicos em cada pixel do modelo em intervalos de 1 segundo, trazendo como input dos dados de entrada as informações microclimáticas do *forcing file* nas bordas externas do modelo. Para a correta simulação deste modelo, foram inseridos os dados do arquivo climático do Aeroporto de Congonhas para todos os dias do ano e, estes foram sobrescritos pela inserção dos dados das medições empíricas no período de 09/12/2018 à 00h00 até 14/12/2018 às 6h.

10.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS E DE NEBULOSIDADE (AUSÊNCIA DE NUVENS)

Foi utilizado o mesmo arquivo de configuração climática (*forcing file*) para todos os modelos, isto é, todos os modelos foram submetidos às mesmas condições microclimáticas de borda, resultantes do processo de calibração dos modelos, cujas características e aspectos podem ser visualizados nos dados climáticos obtidos nas medições descritos nos gráficos apresentados. Fora isso, o modelo foi simulado sem nebulosidade, isto é, com a ausência de nuvens (céu limpo). Sendo assim, o modelo climático resultante pode ser exemplificado de acordo com as informações do dia 12/12/2018 na Figura 49, com dados de Tar e UR das medições, Var = 2,2 m/s, Direção do Vento = 138,7° e nebulosidade nula.

Figura 49 - Dados climáticos de entrada dos modelos finais de simulação em 12/12/2018

Com o objetivo de maximizar os efeitos de insolação no período de diurno, a fim de intensificar os ganhos de calor por radiação, nos modelos finais de simulação, foi efetuada uma mudança no modelo meteorológico do ENVI-met com relação aos modelos de calibração previamente simulados: foi retirada toda a nebulosidade, isto é, foi simulada uma condição de céu totalmente limpo e aberto, com condição totalmente ensolarada.

Anular a nebulosidade foi uma opção adotada nos modelos finais de simulação para uma maior exposição dos modelos às condições mais extremas de insolação. Com relação à

comparabilidade dos modelos, entende-se que a nebulosidade contribui, não só para um menor ganho de calor por radiação no período diurno, mas também para uma perda mais lenta de calor no período noturno, isto porque as nuvens no período noturno auxiliam na manutenção do calor pela cidade. Anular a nebulosidade implica necessariamente em contribuir para que qualquer diferença de comportamento dos modelos decorra de sua geometria, e não de outro aspecto, como, por exemplo, a nebulosidade.

Além disso, não ter nebulosidade no céu, auxilia para que os modelos permaneçam sempre expostos às condições de céu limpo, isto é, à insolação direta. Além de maximizar os ganhos de calor por radiação, esta medida elimina diferenças de que poderiam decorrer pelas diferentes condições de insolação e sombreamento que os modelos poderiam apresentar de forma diversa um do outro nos horários em que há maior ou menor nebulosidade. Por exemplo, um modelo poderia ter maior área sombreada por sua volumetria de edifícios em um horário em que há maior nebulosidade, enquanto outro modelo poderia ter a mesma condição geométrica para um horário de menor nebulosidade.

Por outro lado, nota-se também que foi escolhido um período das medições para reproduzir nas simulações com base, dentre outros critérios, nas condições de céu e de insolação. Isto é o dia escolhido para a análise foi justamente um dia de altas temperaturas combinadas a uma condição de céu limpo, com baixa nebulosidade, com grande incidência de radiação solar direta e que somava o maior número de dias sem chuva.

Neste caso, foi evidenciado que o dia escolhido, naturalmente, já apresentava baixa nebulosidade. Como pode-se ver na Figura 48, em praticamente todo o dia 12/12, não houve nuvens de média altura (*medium high clouds*), com exceção somente do final da noite, após às 21h. Ao mesmo tempo, houve diversos momentos ao longo do dia em que a incidência de nuvens baixas foi mediana e baixa, ou até mesmo nula, sendo que das 6h às 14h a incidência foi baixa ou nula. Por fim, a incidência de nuvens altas foi mediana ao longo de todo o dia.

Para tal, foi feita uma nova simulação do modelo de calibração, Mirandópolis 22, sem as nuvens. Para validação, foi realizada uma comparação entre os modelos de calibração finais Mirandópolis 21, com a nebulosidade do registro apresentado, e Mirandópolis 22, sem nebulosidade nenhuma. Foram verificadas algumas pequenas diferenças entre os resultados

de Temperatura do Ar, Umidade Relativa e radiação incidente no receptor equivalente ao ponto de medições do modelo, isto é, ao receptor de calibração do modelo.

Como pode ser visto na Tabela 17, houve um leve aumento do efeito de calor e de perda de umidade durante o dia, isto é, podemos ver que a Temperatura do Ar média e a temperatura máxima tiveram um aumento 0,05°C e 0,50°C respectivamente, e a mínima uma redução de 0,07°C, com relação ao modelo com nebulosidade de acordo com a Estação Água Funda, além de uma leve redução dos valores médio e mínimo da Umidade Relativa, de 0,05% e 0,83% respectivamente, enquanto a UR máxima aumentou em 0,30%. A diferença foi tão pequena justamente por o período de simulação foi composto por dias ensolarados com céu predominantemente limpo na maior parte do período, sem precipitações.

Tabela 17 - Comparação da simulação com nuvens e sem nuvens

	TEMPERATURA DO AR (°C)			UMIDADE RELATIVA (% UR)		
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO MIRANDOP. 21 (C/ NUVENS)	SIMULAÇÃO MIRANDOP. 22 (S/ NUVENS)	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO MIRANDOP. 21 (C/ NUVENS)	SIMULAÇÃO MIRANDOP. 22 (S/ NUVENS)
MÉDIA	26,47	26,86	26,91	53,80	52,80	52,75
MÁXIMO	33,65	34,04	34,54	67,94	67,11	67,41
MÍNIMO	21,89	21,87	21,80	29,94	30,61	29,78
DESVIO PADRÃO	3,64	3,96	4,13	10,92	11,47	11,85

Tabela 18 - Comparação da simulação com nuvens e sem nuvens

	TEMPERATURA DO AR (°C)		UMIDADE RELATIVA (% UR)	
	DIFERENÇA (°C)	DIFERENÇA (%)	DIFERENÇA (% UR)	DIFERENÇA (%)
MÉDIA	0,06	0,14%	-0,06	-0,33%
MÁXIMO	0,57	1,69%	0,59	0,97%
MÍNIMO	-0,16	-0,67%	-1,01	-3,17%
DESVIO PADRÃO	0,20	0,64%	0,44	1,12%

Gráfico 34 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens - Tar

Gráfico 35 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens - UR

O que se nota é que de maneira muito leve, a retirada da nebulosidade trouxe uma mínima maximização da amplitude térmica diária, com o aumento da temperatura máxima e da Umidade Relativa máxima e a redução da temperatura mínima e da Umidade Relativa mínima. Mas esta diferença foi mínima, visto que a diferença máxima da Temperatura do Ar foi de somente 1,7% e a diferença máxima da Umidade Relativa foi de somente 3,2%. Os gráficos mostram as pequenas diferenças entre as simulações com e sem nebulosidade, que ocorrem majoritariamente entre 12h e 16. Para a Velocidade do Ar, a diferença foi irrelevante, sendo a diferença máxima de 0,01 m/s, o correspondente a 0,7% da menor velocidade de vento. O mesmo ocorre para a Direção do Vento, cuja diferença máxima foi de 0,03°.

Já para a radiação incidente, como esperado, houve mudanças significativas entre os modelos para determinados horários. Houve uma redução da radiação de onda longa (radiação refletida do céu), em especial no período da tarde e no período da noite, quando havia maior incidência de nuvens baixas. Nota-se que a radiação de onda longa se manteve similar em todos os períodos onde houve baixa incidência de nuvens de baixa altura, como entre 6h e 14h e em alguns trechos da noite. A maior diferença da radiação de onda longa ocorreu às 17h, chegando a 98 W/m², o equivalente a 18%.

Já para a radiação difusa, houve também uma queda significativa no período entre 10h e 17h. Curiosamente no início da manhã e final da tarde, antes das 10h e após às 17h, as curvas de radiação difusa foram basicamente as mesmas. Neste caso, houve também uma diferença grande no formato da curva, que, sem nuvens, se tornou regular e simétrica, eliminando as diferenças horárias em função da maior incidência de nebulosidade no início da tarde. A maior diferença ocorreu às 12h, chegando a 167 W/m², o equivalente a 57%.

Por fim, a radiação direta, como esperado, aumentou em todos os horários que antes tinham maior nebulosidade. A curva mudou drasticamente para um formato regular e simétrico. Até às 10h, a curva foi a mesma, mas, a partir deste horário, a radiação direta permaneceu maior ao longo de todo o dia. Houve uma aproximação em relação à curva da estação do IAG (apenas referência). Antes o modelo apresentava radiação direta nula após às 16h em função da nebulosidade, e, agora passou a apresentar radiação direta até o pôr do sol.

Gráfico 36 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens – Radiação de Onda Longa

Gráfico 37 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens – Radiação Difusa

Gráfico 38 – Comparação dos modelos com nuvens e sem nuvens – Radiação Direta

10.5. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

As superfícies das vias são compostas por leitos carroçáveis de asfalto e passeios de pavimento de concreto sujo sobre solo de argila arenosa, de acordo com a Figura 40 e a Figura 41. Não foram adotadas superfícies vegetalizadas ou variações de piso. Para as edificações foram adotadas padronizações dos materiais de paredes de fachadas e de coberturas.

Nas paredes de fachadas, alvenaria de blocos de concreto de dois furos com espessura de 14cm, com revestimentos internos e externos de argamassa de 2,5 cm, conforme Figura 50, extraída do “ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS” do PBE Edifica (INMETRO, 2017). As propriedades físicas e térmicas dos materiais foram determinadas a partir da ABNT NBR 15.220-2 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e do estudo do LABEEE, “Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus” (LAMBERTS, WEBER, *et al.*, 2017), conforme Tabela 19.

Figura 50 - Composição das paredes de fachadas nos modelos

Fonte: (INMETRO, 2017)

Tabela 19 - Propriedades físicas e térmicas das camadas dos componentes de fachadas

Argamassa interna	2,50	1,15	2000	1,00	0,022	2,68	272
Concreto	3,00	1,75	2400	1,00	0,017		
Câmara de Ar	8,00	0,636	-	-	0,126		
Concreto	3,00	1,75	2400	1,00	0,017		
Argamassa externa	2,50	1,15	2000	1,00	0,022		

Como o ENVI-met só permite um máximo de 3 camadas por componente construtivo e só permite a inserção das espessuras de camadas em centímetros em números inteiros, foi considerado que as camadas de revestimentos possuem 3cm e, para efeito de modelagem, foi considerada uma camada única de concreto de 6cm somando a camada de concreto do bloco e a camada de revestimento de argamassa, conforme Figura 51.

As coberturas das edificações foram padronizadas com lajes maciças de concreto armado de 15cm de espessura com revestimento interno de argamassa de 3cm (o *software* não aceita dimensões decimais) e camada externa de contrapiso de concreto com 5cm de espessura. Devido à limitação de três camadas por componente construtivo, optou-se por não incluir camadas de impermeabilização, camadas de e forro nas coberturas das edificações. A estrutura dos componentes de cobertura dos modelos pode ser checada na imagem abaixo.

Figura 51 - Composição das paredes de fachadas no ENVI-met

Figura 52 - Composição das coberturas no ENVI-met

11. MODELOS DE COMPOSIÇÕES MORFOLÓGICAS URBANAS UTILIZADOS

Foram executados e comparados 5 modelos geométricos representativos de segmentos de distritos característicos da cidade de São Paulo. As áreas escolhidas são todas regiões de uso predominantemente residência ou uso misto, localizadas no centro expandido de São Paulo, entre a região central, a Zona Sul e a Zona Oeste. Cada um dos distritos apresenta características de formação urbana diferentes, com tipologias, morfologias e geometrias diversas. Os critérios para a seleção das regiões de estudo foram os que se detalham abaixo em ordem de prioridade de sua adoção:

- 1º Áreas urbanas consolidadas de ocupação regular com assentamentos formais
- 2º Áreas densamente construídas do centro expandido de São Paulo
- 3º Áreas de uso predominantemente residencial com uso misto ou de uso misto
- 4º Áreas de topografia mais plana para maior verossimilhança dos modelos
- 5º Áreas variando de baixa verticalização a grande verticalização
- 6º Áreas variando entre edifícios espaçados entre si e edifícios geminados
- 7º Áreas distantes de significativas áreas vegetadas da cidade, como parques
- 8º Áreas distantes de corpos d'água, como rios, córregos, riachos, etc.
- 9º Áreas que não contenham praças ou espaços urbanos abertos maiores
- 10º Áreas com relações similares de superfícies de piso (asfalto e concreto)
- 11º Áreas com vias com orientações em direções similares em relação ao norte

A partir destes critérios, os modelos escolhidos foram trechos de bairros da cidade, na seguinte escala de análise conforme verticalização / adensamento construído:

- **1º - Modelo 1: Mirandópolis**

Localizado em região entre as estações Santa Cruz e Praça da Árvore do Metrô, trata-se do modelo mais horizontal de todos, composto basicamente por casas e sobrados geminados, em sua maioria, com recuos frontais, mas sem recuos

laterais, com a presença muito incipiente e pouco significativa de edificações de maior porte em planta ou em altura.

- **2º - Modelo 2: Ipiranga**

Localizado na região do Museu Paulista da USP (“Museu do Ipiranga”), trata-se de modelo de bairro de ocupação antiga com a presença marcante de muitas casas e sobrados de pequeno porte geminados entre si, em sua maioria, com recuos frontais, mas sem recuos laterais, com uma presença incipiente e significativa de novas edificações residenciais em formato de torres: edifícios verticalizados e média e grande altura, com pequenas e médias dimensões horizontais, com recuos laterais e frontais.

- **3º - Modelo 3: Moema**

Localizado na região da Av. Indianópolis e Av. Ibirapuera, a região na área mais central de Moema traz, na realidade, um aspecto visual de uma área muito adensada e verticalizada. No entanto, a região traz ainda uma enorme e significativa quantidade de edificações de pequena altura, como casas e sobrados residuais e estabelecimentos comerciais de pequeno e médio porte. Simultaneamente, traz ainda muitas edificações de grande porte, verticalizadas, em torres, com recuos frontais e laterais.

- **4º - Modelo 4: Itaim Bibi**

Área próxima à Vila Nova Conceição, onde há praticamente a total verticalização dos terrenos. Há muitos edifícios dispostos em torres com recuos frontais e laterais, mas com perfeito alinhamento frontal dos edifícios de grande altura, formando cânions urbanos bem delineados. Há ainda alguns poucos edifícios de menor porte residuais como estabelecimentos comerciais e também o embasamento térreo e edifícios anexos de alguns dos edifícios existentes.

- **5º - Modelo 5: República**

Área próxima à Praça da República, incluindo grandes edifícios como o Ed. Itália. Perímetro marcado pela total verticalização dos espaços por edifícios sem recuos frontais e laterais, formando cânions urbanos muito profundos por edificações altas e vias estreitas.

11.1. MODELO 1: MIRANDÓPOLIS

Figura 53 - Vista tridimensional da região do Modelo 1 - Mirandópolis

Área no entorno da Rua das Orquídeas, no bairro Mirandópolis, na Zona Sul de São Paulo. O Mirandópolis é um bairro com adensamento residencial dos últimos 50 anos, cujos bairros de entorno (Vila Clementino, Saúde, Chácara Inglesa, Vila Mariana) foram muito mais adensados e verticalizados nas três últimas décadas. Trata-se de área predominantemente residencial, com uso misto, de total urbanização e qualificação urbana.

O bairro, em função de restrições urbanísticas, não verificou a mesma verticalização que os bairros de entorno, poucas torres residenciais surgiram em meio aos terrenos residenciais que são em sua maioria estreitos e com grandes profundidades, gerando casas e sobrados tipicamente geminados em uma lateral, nas duas laterais ou parcialmente geminados em uma lateral e totalmente geminados na outra. Sendo assim, vemos um bairro com muitas edificações baixas e de pequenas dimensões em planta. Além disso, trata-se de um trecho do bairro muito plano, com traçado viário irregular, formando quadras irregulares de formatos retangulares, trapezoidais e triangulares. Neste trecho do bairro, as vias estão orientadas aproximadamente, em sua maioria, nas direções Sudoeste-Nordeste e Sudeste-Noroeste.

Com muitas casas e sobrados, nota-se a presença de poucas edificações levemente mais altas, como edifícios residenciais de 3 a 15 pavimentos. O Mirandópolis exemplifica de forma nítida um bairro que foi capaz de manter o aspecto horizontal, apesar do leve adensamento residencial, ao longo da urbanização e da centralização da região.

Figura 54 - Mapa do Modelo 1 - Mirandópolis com Escala de Altura dos Edifícios

Figura 55 - Vista 3D do Modelo 1 - Mirandópolis

Como o modelo não incorpora a planta interna das edificações e tampouco as subdivisões de seus pavimentos, foi feita uma estimativa do número médio de 2 pavimentos por edificação, com uma área total construída estimada de 228.441,88m², resultando em um Coeficiente de Aproveitamento (CA) estimado de 1,43. Nota-se que 80,16% da área de projeção tem até 6m de altura e 15,77% entre 6m e 12m (casas, sobrados, estabelecimentos comerciais), sendo os demais 4,08% marcados por edifícios residenciais de pequeno e médio porte (até 60m de altura). 74,68% da área de edifícios tem área de projeção até 200m² (perfil típico das casas e sobrados da região) e cerca de 21,16% entre 200m² e 500m² (casas e sobrados maiores e edifícios residenciais). Há 4,16% com áreas de projeção entre 500m² e 1000m² (algumas torres residenciais). Não há edificações com mais de 1000m² de área de projeção.

Gráfico 39 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis

Gráfico 40 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis

Gráfico 41 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis

ÁREA DE PROJEÇÃO x ALTURA DOS EDIFÍCIOS - MIRANDÓPOLIS

Gráfico 42 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis

PERFIL DA RAZÃO ALTURA / ÁREA DE PROJEÇÃO - MIRANDÓPOLIS

O Gráfico 41 mostra a concentração de edifícios de pequenas alturas (até 10m) e pequenas áreas de projeção (até 300m²), como casas, sobrados, estabelecimentos comerciais. Há alguns pontos dispersos correspondendo a torres de pequeno e médio porte em dimensões horizontais, mas de médio e grande porte em dimensões verticais. 63,34% da área ocupada corresponde a edificações com razão H/Aproj de até 0,05, o que denota um grande volume de edificações baixas (casas, sobrados, estabelecimentos comerciais). 35,50% 0,05 a 0,25 (algumas torres residenciais) e 1,16% acima de 0,25 e algumas chegando inclusive a ultrapassar 0,50, correspondendo a edificações altas com pequenas dimensões em planta (torres). No modelo, há uma distância frontal entre as edificações que varia de aprox. 10 a 20m e distâncias laterais entre 0 e 6m entre casas. As torres mais altas estão espalhadas, distantes entre si. Esta

relação traz, para as casas, valores de fator H/W entre 0,1 e 1,0 no sentido frontal e entre 1,7 e infinito no sentido lateral, o que resulta em Fator de Visão de Céu variando entre 0,45 e 0,89, sendo entre 0,63 e 0,81 na maior parte das vias. Assim, há acesso à luz do sol, no dia 11/12, de 5,5 a 13,5 horas por dia, sendo na maior parte dos espaços entre 9,5 e 12,2 horas.

Figura 56 - Fator de Visão de Céu no Modelo 1 - Mirandópolis

Figura 57 - Acesso à Luz Solar no Modelo 1 - Mirandópolis

Com muitas casas e sobrados e edificações de até 3 pavimentos, nota-se a presença incipiente de alguns edifícios altos em meio a edificações mais baixas, sendo torres altas dispersas e espaçadas, sem geminação lateral. O Ipiranga é um bairro que exemplifica de forma nítida o típico processo de adensamento e reurbanização vivido por bairros residenciais do centro expandido de São Paulo em valorização imobiliária nas últimas décadas.

Figura 59 - Mapa do Modelo 2 - Ipiranga com Escala de Altura dos Edifícios

Figura 60 - Vista 3D do Modelo 2 - Ipiranga

Tabela 21 - Dados do Modelo 2 - Ipiranga

PERFIL DOS EDIFÍCIOS			PERFIL DA SUPERFÍCIE	
	ÁREA DE PROJEÇÃO (m²)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)	ÁREA TOTAL "EXTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 500 X 500 ALÉM DOS EDIFÍCIOS)
MÁXIMO	4.186,62	76,06	49.569,89	250.000,00
MÍNIMO	3,20	2,81	9,68	ÁREA TOTAL ASFALTADA (m²)
MÉDIA	167,33	10,09	1.670,80	45.638,49
DESVIO PADRÃO	298,99	13,70	3.695,49	ÁREA TOTAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO (m²)
				204.361,51
				PERCENTUAL DE ÁREA DE ASFALTO (%)
				18,26%
				PERCENTUAL DE ÁREA DE PAVIMENTO DE CONCRETO (%)
				81,74%

NÚMERO DE EDIFICAÇÕES (DESCONTANDO OS EDIFÍCIOS COM ALTURA ZERO)	613	LEITURAS DO PERFIL DE EDIFÍCIOS	
ÁREA TOTAL "INTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 400 X 400 ONDE HÁ EDIFÍCIOS)	160.000,00	NÚMERO MÉDIO ESTIMADO DE PAVIMENTOS	4
ÁREA TOTAL OCUPADA (m²)	102.575,40	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA ESTIMADA (m²)	397.127,21
TAXA DE OCUPAÇÃO (TO) (%)	64,11%	COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA) ESTIMADO	2,48
VOLUMETRIA TOTAL CONSTRUÍDA (m³)	1.024.200,41	RELAÇÃO ALTURA/ÁREA DE PROJEÇÃO (H/Aproj) MÉDIA	0,16

O modelo conta com uma área total de projeção de edificações de 102.574,40m², o que resulta em uma Taxa de Ocupação (TO) de 64,11%. A relação de superfícies de piso foi de 18,26% em asfalto e 81,74% em pavimento de concreto (contando calçadas e interior das quadras, inclusive sob as edificações). As áreas de projeções dos edifícios variaram de 3,20m² (pequenas edículas ou massas edificadas) até 4.186,62m² (galpões de indústria, logística e de lojas de fábrica presentes na região), com uma média²⁵ de 167,33m² (correspondente à área de projeção de um sobrado típico da região) e desvio padrão de 298,99m², isto é, edificações que, em sua maioria variam de casas até edifícios de médio porte em dimensões horizontais.

Como mostrado, as edificações têm altura variando de 3m (casa de 1 pavimento)²⁶ a 76m (edifício de 25 pavimentos), com uma altura média de 10m (edificação de 3 pavimentos). Com um desvio padrão de 13,7m, isto é, superior que a própria média e representando 18,0% do máximo, vemos que há uma grande variabilidade das alturas das edificações do modelo, variando, em sua maioria, entre edificações de até 8 pavimentos.

²⁵ Edículas, portarias e outras pequenas massas edificadas no interior dos terrenos são contabilizadas com seus pequenos valores de áreas de projeção, podendo reduzir a média.

²⁶ O mapeamento da Prefeitura traz as alturas medidas por satélite, sendo a altura média com relação ao nível do terreno e à(s) cobertura(s) da edificação. Especialmente para casas pequenas e sobrados os valores fornecidos pelo levantamento podem não corresponder à altura total da edificação, mas sim a um ponto de referência de sua cobertura.

Foi feita uma estimativa do número médio de 4 pavimentos, com uma área total construída estimada de 397.127,21m², resultando em um Coeficiente de Aproveitamento (CA) estimado de 2,48. Nota-se que 55,37% da área de projeção tem até 6m de altura (casas e sobrados), 30,57% tem entre 6m e 12m (2 a 3 pavimentos), sendo os demais 14,06% em torres mais altas de diversas alturas. 39,10% corresponde a edificações com área de projeção de até 200m² (essencialmente casas e sobrados), 25,70% entre 200m² e 500m² (edifícios de pequeno e médio porte em dimensões horizontais, como torres residenciais, por exemplo) e 16,68% entre 500m² e 1000m² (edifícios maiores, galpões, estabelecimentos comerciais, etc.). Há uma parcela significativa (18,52%) de edificações com mais de 1000m² de área de projeção (grandes edifícios em planta), sendo 11,43% com mais de 2000m² (como galpões e grandes lojas).

Gráfico 43 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 2 - Ipiranga

Gráfico 44 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 2 - Ipiranga

Gráfico 45 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 2 - Ipiranga

Gráfico 46 - Perfil das razões altura / área de projeção das edificações do Modelo 2 - Ipiranga

No Gráfico 45, há uma concentração de casas e sobrados: alturas até 10m e áreas de projeção até 200m². Há uma dispersão de edificações com 30m a 70m de altura com área de projeção até 300m², correspondendo a torres residenciais de pequeno e médio porte em dimensões horizontais e de médio porte em dimensões verticais. Há alguns edifícios de grande porte em dimensões horizontais. 69,55% da área ocupada tem índice H/Aproj de até 0,05, o que denota uma região com edificações tipicamente baixas (casas, sobrados, galpões), 26,33% de 0,05 a 0,25 (maior parte das torres residenciais e comerciais), 4,12% acima de 0,25 e algumas chegando a ultrapassar 0,50, correspondendo a torres altas com pequenas dimensões em planta. Há uma distância frontal entre as edificações que varia de 15 a 20m e distâncias laterais entre os edifícios entre 0m e 15 m, trazendo valores de fator H/W (altura/largura) entre

0,1 e 5,1 no sentido frontal e entre 5,1 e infinito no sentido lateral. Esta geometria resulta em valores de Fator de Visão de Céu (FVC, ou SVF) que variam entre 0,30 e 0,83 nas vias. Assim, nas regiões mais centrais das vias do modelo se atingiu valores de acesso à luz do sol, no dia 11/12, de 4,4 a 13,5 horas por dia, sendo na maior parte dos espaços entre 7,0 e 12,2 horas.

Figura 61 - Fator de Visão de Céu no Modelo 2 - Ipiranga

Figura 62 - Acesso à Luz Solar no Modelo 2 - Ipiranga

11.3. MODELO 3: MOEMA

Figura 63 - Vista tridimensional da região do Modelo 3 - Moema

Área no entorno da Travessa Jornalista Otávio Muniz, no bairro Moema, na Zona Sul de São Paulo. Moema é um bairro de intensa urbanização nas últimas décadas, marcado pelo uso misto, mesclando edifícios residenciais e comerciais, casas, sobrados, empresas e serviços. É uma área urbanizada e qualificada, com grande verticalização, mas ainda com a presença marcante de edificações mais baixas como casas, sobrados, estabelecimentos comerciais.

O bairro, em função de restrições relativas à proximidade com o Aeroporto de Congonhas, dispõe de torres de médio port. A intensa verticalização dá ao bairro grande densidade visual e construtiva, ainda que a densidade habitacional não seja muito alta. Sendo assim, trata-se de um bairro que mescla grande quantidade de torres permeadas por grande quantidade de edificações mais baixas remanescentes, inclusive os embasamentos e edículas das torres. Além disso, trata-se de uma região muito plana, com traçado viário razoavelmente regular, formando quadras retangulares, mas também, em função de algumas vias diagonais, algumas quadras trapezoidais e triangulares. Neste trecho do bairro, as vias estão orientadas aproximadamente, em sua maioria, nas direções Sudoeste-Nordeste e Sudeste-Noroeste.

Com muitas casas e sobrados e estabelecimentos comerciais em edificações baixas, o bairro apresenta ainda uma exuberante quantidade de torres distribuídas pelo terreno, criando um aspecto de que o bairro é mais verticalizado do que efetivamente é. Vemos que se trata de um modelo de verticalização intermediária entre os modelos do Ipiranga e do Itaim Bibi.

Figura 64 - Mapa do Modelo 3 - Moema com Escala de Altura dos Edifícios

Figura 65 - Vista 3D do Modelo 3 - Moema

Tabela 22 - Dados do Modelo 3 - Moema

PERFIL DOS EDIFÍCIOS			PERFIL DA SUPERFÍCIE		
	ÁREA DE PROJEÇÃO (m²)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)	ÁREA TOTAL "EXTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 500 X 500 ALÉM DOS EDIFÍCIOS)	250.000,00
MÁXIMO	2.853,60	73,74	36.462,87	ÁREA TOTAL ASFALTADA (m²)	34.748,21
MÍNIMO	3,87	2,81	10,84	ÁREA TOTAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO (m²)	215.251,79
MÉDIA	356,67	17,04	5.588,98	PERCENTUAL DE ÁREA DE ASFALTO (%)	13,90%
DESVIO PADRÃO	372,30	20,96	7.937,20	PERCENTUAL DE ÁREA DE PAVIMENTO DE CONCRETO (%)	86,10%

NÚMERO DE EDIFICAÇÕES (DESCONTANDO OS EDIFÍCIOS COM ALTURA ZERO)		299	LEITURAS DO PERFIL DE EDIFÍCIOS	
ÁREA TOTAL "INTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 400 X 400 ONDE HÁ EDIFÍCIOS)		160.000,00	NÚMERO MÉDIO ESTIMADO DE PAVIMENTOS	6
ÁREA TOTAL OCUPADA (m²)		106.643,65	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA ESTIMADA (m²)	630.145,27
TAXA DE OCUPAÇÃO (TO) (%)		66,65%	COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA) ESTIMADO	3,94
VOLUMETRIA TOTAL CONSTRUÍDA (m³)		1.671.105,93	RELAÇÃO ALTURA/ÁREA DE PROJEÇÃO (H/Aproj) MÉDIA	0,09

O modelo conta com uma área total de projeção de edificações de 106.643,65m², o que resulta em uma Taxa de Ocupação (TO) de 66,65%. A relação de superfícies de piso foi de 13,90% em asfalto e 86,10% em pavimento de concreto (contando calçadas e interior das quadras, inclusive sob as edificações). As áreas de projeções dos edifícios variaram de 3,87m² (pequenas edículas, portarias ou massas edificadas) até 2.853,60m² (grandes edifícios, embasamentos das torres e estabelecimentos comerciais), com uma média²⁷ de 356,67m² (correspondente à área de projeção de uma torre residencial) e desvio padrão de 372,30m², isto é, resultando em edificações, em sua maioria, com áreas de até aproximadamente 730m².

As edificações têm altura variando de 3m (1 pavimento, casas, estabelecimentos comerciais, portarias, embasamentos das torres, etc.)²⁸ a 74m (24 pavimentos de 3m), com uma altura média de 17m (5 pavimentos). Com um desvio padrão de 20,96 m, isto é, superior à média e representando 28,4% do máximo, vemos que há muita variabilidade das alturas das massas edificadas, o que mostra que o modelo se caracteriza efetivamente, em sua maioria, por construções de até 13 pavimentos. Como o modelo não incorpora a planta interna das

²⁷ Edículas, portarias e outras pequenas massas edificadas no interior dos terrenos são contabilizadas com seus pequenos valores de áreas de projeção, podendo reduzir a média.

²⁸ O mapeamento da Prefeitura traz as alturas medidas por satélite, sendo a altura média com relação ao nível do terreno e à(s) cobertura(s) da edificação. Especialmente para casas pequenas e sobrados os valores fornecidos pelo levantamento podem não corresponder à altura total da edificação, mas sim a um ponto de referência de sua cobertura.

edificações e tampouco as subdivisões de seus pavimentos, foi feita uma estimativa do número médio de 6 pavimentos por edificação, com uma área total construída estimada de 630.145,27m², resultando em um Coeficiente de Aproveitamento (CA) estimado de 3,94.

Nota-se que 66,16% da área de projeção tem até 6m de altura e 7,44% entre 6m e 12m (casas, sobrados, estabelecimentos comerciais, portarias, embasamentos das torres), sendo os demais 26,40% marcados por edifícios residenciais de médio porte (na maioria até 70m de altura). 11,57% da área de edifícios tem área de projeção até 200m² (casas, sobrados, estabelecimentos comerciais pequenos) e cerca de 36,30% entre 200m² e 500m² (casas, sobrados, estabelecimentos comerciais, torres residenciais). Há 28,69% com áreas de projeção entre 500m² e 1000m² (casas, sobrados, estabelecimentos comerciais, torres residenciais). Há ainda 23,44% de edificações com mais de 1000m² de área de projeção.

Gráfico 47 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 3 - Moema

PERFIL DE ALTURA DOS EDIFÍCIOS - MOEMA

Gráfico 48 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 3 - Moema

PERFIL DE ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS - MOEMA

Gráfico 49 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 3 - Moema

ÁREA DE PROJEÇÃO x ALTURA DOS EDIFÍCIOS - MOEMA

Gráfico 50 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 1 - Mirandópolis

PERFIL DA RAZÃO ALTURA / ÁREA DE PROJEÇÃO - MOEMA

O Gráfico 49 mostra a concentração de edifícios de pequenas alturas (até 10m) com diversas áreas de projeção, como casas, sobrados, estabelecimentos comerciais, etc. Há outra concentração para edifícios entre 30 e 60m de altura com áreas de projeção entre 200 e 500m², correspondendo ao perfil de torres de médio porte em dimensões horizontais e verticais. 69,13% da área ocupada por edifícios corresponde a edificações com razão H/Aproj de até 0,05, o que denota um grande volume de edificações baixas (casas, sobrados, comércio), 0,05 a 0,25 (torres residenciais), 2,38% acima de 0,25 e algumas chegando a ultrapassar 0,50, correspondendo a edificações altas com pequenas dimensões em planta (torres verticalizadas). Há uma distância frontal entre as edificações que varia de 20 a 40m e distâncias laterais entre 10 e 30m. Esta relação traz valores de fator 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 Fator de Visão de Céu variando entre 0,28 e 0,78, sendo entre 0,28 e 0,62 na maior parte das vias. Assim, há acesso à luz do sol, no dia 11/12, de 2,8 a 13,5 horas por dia, sendo na maior parte dos espaços entre 4,2 e 6,8 horas.

Figura 66 - Fator de Visão de Céu no Modelo 3 - Moema

Figura 67 - Acesso à Luz Solar no Modelo 3 - Moema

11.1. MODELO 4: ITAIM BIBI

Figura 68 - Vista tridimensional da região do Modelo 4 - Itaim Bibi

Área no entorno da R. Pedroso Alvarenga, no bairro Itaim Bibi, entre a Zona Sul e a Zona Oeste de São Paulo, que passou por um processo de intensa verticalização e adensamento nas últimas décadas, passando a configurar um dos novos centros empresariais da cidade. Trata-se de uma área de uso misto, verticalizada quase em sua totalidade, com torres marcadas por grande proximidade lateral e com marcante alinhamento frontal, formando cânions urbanos.

O bairro passou por uma praticamente completa verticalização nas últimas décadas, com o surgimento de torres residenciais e comerciais, únicas nos terrenos. São muitas edificações altas dispostas de forma independente em seus terrenos, em sua maioria pequenos, permeados por diversas edificações mais baixas remanescentes e pelos embasamentos baixos e mais largos das torres. Uma restrição quanto ao gabarito de alturas na região traz uma relativa padronização das alturas das torres. Além disso, trata-se de uma região muito plana, com traçado viário reticulado, mas com quadras em sua maioria retangulares com dimensões muito maiores em um sentido do que em outro. Neste trecho do bairro, as vias estão orientadas aproximadamente como cânions na direção Sudoeste-Nordeste.

Com muitas torres de média e grande altura, há também a presença remanescente de algumas edificações mais baixas, como sobrados e estabelecimentos comerciais, exemplificando de forma nítida a intensa verticalização vivida por bairros do centro expandido em função da valorização imobiliária que passaram a abrigar as novas centralidades da cidade.

Figura 69 - Mapa do Modelo 4 - Itaim Bibi com Escala de Altura dos Edifícios

Figura 70 - Vista 3D do Modelo 4 - Itaim Bibi

Tabela 23 - Dados do Modelo 4 - Itaim Bibi

PERFIL DOS EDIFÍCIOS			PERFIL DA SUPERFÍCIE	
	ÁREA DE PROJEÇÃO (m²)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)	ÁREA TOTAL "EXTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 500 X 500 ALÉM DOS EDIFÍCIOS)
MÁXIMO	1.589,79	89,11	42.665,33	250.000,00
MÍNIMO	12,81	2,82	39,06	ÁREA TOTAL ASFALTADA (m²)
MÉDIA	313,51	19,22	6.305,96	28.886,57
DESVIO PADRÃO	279,03	20,35	8.457,33	ÁREA TOTAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO (m²)
				221.113,43
				PERCENTUAL DE ÁREA DE ASFALTO (%)
				11,55%
				PERCENTUAL DE ÁREA DE PAVIMENTO DE CONCRETO (%)
				88,45%

NÚMERO DE EDIFICAÇÕES (DESCONTANDO OS EDIFÍCIOS COM ALTURA ZERO)	277	LEITURAS DO PERFIL DE EDIFÍCIOS	
ÁREA TOTAL "INTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 400 X 400 ONDE HÁ EDIFÍCIOS)	160.000,00	NÚMERO MÉDIO ESTIMADO DE PAVIMENTOS	7
ÁREA TOTAL OCUPADA (m²)	86.842,12	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA ESTIMADA (m²)	639.583,75
TAXA DE OCUPAÇÃO (TO) (%)	54,28%	COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA) ESTIMADO	4,00
VOLUMETRIA TOTAL CONSTRUÍDA (m³)	1.746.751,22	RELAÇÃO ALTURA/ÁREA DE PROJEÇÃO (H/Aproj) MÉDIA	0,10

O modelo conta com uma área total de projeção de edificações de 86.842,12m², o que resulta em uma Taxa de Ocupação (TO) de 54,28%. A relação de superfícies de piso foi de 11,55% em asfalto e 88,45% em pavimento de concreto (contando calçadas e interior das quadras, inclusive sob as edificações). As áreas de projeções dos edifícios variaram de 12,81m² (pequenas edículas, portarias ou massas edificadas) até 1.589,79m² (torres residenciais, torres comerciais, embasamento mais largo das torres nos primeiros pavimentos e estabelecimentos comerciais), com uma média²⁹ de 313,51m² (torre típica da região) e desvio padrão de 279,03m², isto é, maioria de torres variando dimensões horizontais com embasamento maior.

Como mostrado, as edificações têm altura variando de 3m (1 pavimento)³⁰ a 89m (29 pavimentos de 3m), com uma altura média de 19m (6 pavimentos de 3m). Com um desvio padrão de 20,35m, isto é, superior que a média e representando 22,8% do máximo, vemos que há uma variabilidade das alturas das massas edificadas, o que representa principalmente as diferenças entre as torres e seus embasamentos mais largos. Como o modelo não incorpora a planta interna das edificações e as subdivisões de seus pavimentos, foi feita uma estimativa do

²⁹ Edículas, portarias e outras pequenas massas edificadas no interior dos terrenos são contabilizadas com seus pequenos valores de áreas de projeção, podendo reduzir a média.

³⁰ O mapeamento da Prefeitura traz as alturas medidas por satélite, sendo a altura média com relação ao nível do terreno e à(s) cobertura(s) da edificação. Especialmente para casas pequenas e sobrados os valores fornecidos pelo levantamento podem não corresponder à altura total da edificação, mas sim a um ponto de referência de sua cobertura.

número médio de 7 pavimentos, com uma área total construída estimada de 639.582,73m², resultando em Coeficiente de Aproveitamento (CA) estimado de 4,00.

Nota-se que 52,90% da área de projeção de edifícios tem até 6m de altura (sobrados, estabelecimentos comerciais e embasamentos das torres), 7,21% entre 6m e 12m, e os demais 39,90% divididos em edifícios de diversas alturas maiores, marcados principalmente (35,93%) por torres de 30m a 70m de altura. 12,34% da área de edifícios tem área de projeção de até 200m² (casas e sobrados, pequenos estabelecimentos comerciais), 49,24% entre 200m² e 500m² (perfil típico das torres residenciais e comerciais da região) e 38,41% entre 500m² e 2000m² (torres maiores, estabelecimentos comerciais e embasamentos das torres). Não há edificações com mais de 2000m² de área de projeção.

Gráfico 51 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi

PERFIL DE ALTURA DOS EDIFÍCIOS - ITAIM BIBI

Gráfico 52 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi

PERFIL DE ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS - ITAIM BIBI

Gráfico 53 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi

Gráfico 54 – Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 4 - Itaim Bibi

No Gráfico 53, há uma concentração de edifícios de pequenas alturas (até 10m) e pequenas e médias áreas de projeção (até 500m²), sobrados remanescentes, embasamentos das torres, etc. Nota-se outra concentração de edificações com 30m a 70m de altura com média área de projeção (de 200m² a 800m²), correspondendo ao perfil de torres de pequeno e médio porte em dimensões horizontais, mas de médio e grande porte em dimensões verticais. 57,71% da área ocupada tem índice H/Aproj de até 0,05, o que denota um grande volume de edificações baixas (sobrados, estabelecimentos comerciais). 40,50% de 0,05 a 0,25 (maior parte das torres residenciais e comerciais), 1,79% acima de 0,25 e algumas ultrapassando 0,50, correspondendo a torres altas com pequenas dimensões em planta. Há uma distância frontal entre as torres que varia de 18 a 30m e distâncias laterais em torno de 10 m, trazendo valores de fator H/W (altura/largura) entre 0,1 e 5,0 no sentido frontal e entre 0,3 e 8,9 no sentido

lateral. Esta geometria resulta em valores de Fator de Visão de Céu (FVC, ou SVF) que variam entre 0,24 e 0,64 nas vias, sendo entre 0,24 e 0,32 na via central, a R. Pedroso Alvarenga. Assim, nas regiões mais centrais das vias do modelo se atingiu valores de acesso à luz do sol, no dia 11/12, de 6,8 a 12,2 horas por dia, sendo na maior parte dos espaços entre 6,8 e 9,5 horas.

Figura 71 - Fator de Visão de Céu no Modelo 4 - Itaim Bibi

Figura 72 - Acesso à Luz Solar no Modelo 4 - Itaim Bibi

11.2. MODELO 5: REPÚBLICA

Figura 73 - Vista tridimensional da região do Modelo 5 - República

Área no entorno da Rua Barão de Itapetininga, no bairro República, centro histórico de São Paulo. A República é um bairro de urbanização antiga, com adensamento residencial da primeira metade do século XX e forte comercialização desde meados dos anos 1950. Trata-se de uma área predominantemente comercial, com uso misto, urbanizada e qualificada, muito verticalizada, com diversos edifícios altos geminados lateralmente e sem recuos frontais ou laterais, criando cânions urbanos. Há habitações, mas há principalmente comércio e serviços.

O bairro, com adensamento antigo, não adotou o modelo de verticalização em torres separadas, mas sim edificações próximas e geminadas, com relativa padronização. Ainda assim, ao longo do tempo, surgiram diversos edifícios e torres residenciais e comerciais de grande altura, com recuos laterais, inclusive torres de muito grande altura, como é o caso do Edifício Copan e do Edifício Itália, por exemplo. Além disso, trata-se de uma região muito plana, com traçado viário bastante irregular, formando quadras de formatos variados com vias de diversos portes, inclusive algumas exclusivamente pedonais. Neste trecho, as vias estão orientadas aproximadamente nas direções Sudoeste-Nordeste e Sudeste-Noroeste.

Com muitas edificações de médio porte muito próximas ou geminadas umas às outras, nota-se ainda a presença de algumas edificações mais altas, como edifícios residenciais e comerciais que se aproximam, ou mesmo chegam a ultrapassar, os 100m de altura. A República é uma exemplificação muito nítida de um modelo de urbanização adotado nas regiões mais centrais de São Paulo na primeira metade do século XX.

Figura 74 - Mapa do Modelo 5 - República com Escala de Altura dos Edifícios

Figura 75 - Vista 3D do Modelo 5 - República

Tabela 24 - Dados do Modelo 5 - República

PERFIL DOS EDIFÍCIOS				PERFIL DA SUPERFÍCIE	
	ÁREA DE PROJEÇÃO (m²)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)	ÁREA TOTAL "EXTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 500 X 500 ALÉM DOS EDIFÍCIOS)	250.000,00
MÁXIMO	2.709,68	125,33	116.985,03	ÁREA TOTAL ASFALTADA (m²)	32.155,97
MÍNIMO	2,12	3,00	48,62	ÁREA TOTAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO (m²)	217.844,03
MÉDIA	213,66	36,59	7.898,66	PERCENTUAL DE ÁREA DE ASFALTO (%)	12,86%
DESVIO PADRÃO	270,16	18,39	11.383,17	PERCENTUAL DE ÁREA DE PAVIMENTO DE CONCRETO (%)	87,14%

NÚMERO DE EDIFICAÇÕES (DESCONTANDO OS EDIFÍCIOS COM ALTURA ZERO)		448	LEITURAS DO PERFIL DE EDIFÍCIOS	
ÁREA TOTAL "INTERNA" DO MODELO (m²) (PERÍMETRO DE 400 X 400 ONDE HÁ EDIFÍCIOS)		160.000,00	NÚMERO MÉDIO ESTIMADO DE PAVIMENTOS	13
ÁREA TOTAL OCUPADA (m²)		95.721,22	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA ESTIMADA (m²)	1.223.895,00
TAXA DE OCUPAÇÃO (TO) (%)		59,83%	COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA) ESTIMADO	7,65
VOLUMETRIA TOTAL CONSTRUÍDA (m³)		3.538.599,55	RELAÇÃO ALTURA/ÁREA DE PROJEÇÃO (H/Aproj) MÉDIA	0,56

O modelo conta com uma área total de projeção de edificações de 95.721,22m², o que resulta em uma Taxa de Ocupação (TO) de 59,83%. A relação de superfícies de piso foi de 12,86% em asfalto e 87,14% em pavimento de concreto (contando calçadas e interior das quadras, inclusive sob as edificações). As áreas de projeção dos edifícios variaram de 2,12m² (pequenas edículas, portarias ou massas edificadas) até 2.709,68m² (edificações maiores e estabelecimentos comerciais), com uma média³¹ de 213,66m² (estabelecimentos comerciais e edifícios típicos da região) e desvio padrão de 270,16m², isto é, maioria de edifícios de pequeno e médio porte em planta com áreas de projeção de até aproximadamente 500m².

Como mostrado, as edificações têm altura variando de 3m (1 pavimento)³² a 125m (41 pavimentos de 3m), com uma altura média de 37m (12 pavimentos). Com um desvio padrão de 18,39m, isto é, inferior que a média e representando 14,7% do máximo, vemos que há razoável variabilidade das alturas das massas edificadas, o que mostra que o modelo se caracteriza efetivamente, em sua maioria, por construções de até 18 pavimentos. Foi feita uma

³¹ Edículas, portarias e outras pequenas massas edificadas no interior dos terrenos são contabilizadas com seus pequenos valores de áreas de projeção, podendo reduzir a média.

³² O mapeamento da Prefeitura traz as alturas medidas por satélite, sendo a altura média com relação ao nível do terreno e à(s) cobertura(s) da edificação. Especialmente para casas pequenas e sobrados os valores fornecidos pelo levantamento podem não corresponder à altura total da edificação, mas sim a um ponto de referência de sua cobertura.

estimativa da média de 13 pavimentos por edificação, com uma área total construída estimada de 1.223.895,00m², resultando em um Coeficiente de Aproveitamento (CA) estimado de 7,65.

Nota-se que 3,39% da área de projeção tem até 6m de altura e 8,61% entre 6m e 12m (estabelecimentos comerciais), sendo os demais 87,99% marcados por edifícios de pequeno, médio e grande porte (até 125m de altura). 25,04% da área de edifícios tem área de projeção até 200m² (estabelecimentos comerciais) e cerca de 40,15% entre 200m² e 500m² (edifícios e estabelecimentos variados). Há 22,62% com áreas de projeção entre 500m² e 1000m² (edifícios comerciais e residenciais). 12,19 com mais de 1000m² de área de projeção e significativa parcela de edificações grandes, sendo 5,11% acima de 2000m² de área de projeção.

Gráfico 55 - Perfil das alturas das edificações do Modelo 5 - República

PERFIL DE ALTURA DOS EDIFÍCIOS - REPÚBLICA

Gráfico 56 - Perfil das áreas de projeções das edificações do Modelo 5 - República

PERFIL DE ÁREA DE PROJEÇÃO DOS EDIFÍCIOS - REPÚBLICA

Gráfico 57 – Dispersão dos perfis HxAproj das edificações do Modelo 5 - República

ÁREA DE PROJEÇÃO x ALTURA DOS EDIFÍCIOS - REPÚBLICA

Gráfico 58 - Perfil das razões H/Aproj das edificações do Modelo 5 - República

PERFIL DA RAZÃO ALTURA / ÁREA DE PROJEÇÃO - REPÚBLICA

O Gráfico 57 mostra uma concentração de edifícios de pequenas alturas (até 20m) e pequenas áreas de projeção (até 200m²). Há grande concentração de edifícios entre 30 e 60m de altura com pequenas áreas de projeção (até 200m²), correspondendo ao perfil típico da região de edifícios de média altura com pequenas dimensões em planta. 26,92% da área ocupada por edifícios corresponde a edificações com razão H/Aproj de até 0,05, o que denota um razoável volume de edificações baixas (estabelecimentos comerciais), 56,84% de 0,05 a 0,25 (marcante presença de edifícios de média altura), 16,24% acima de 0,25 e algumas ultrapassando 0,50, correspondendo a edificações altas com pequenas dimensões em planta (torres verticalizadas). Há uma distância frontal entre as edificações que varia de 10 a 15m e distâncias laterais nulas (edifícios geminados). Esta relação traz, para as casas, valores de fator

H/W entre 0,1 e 4,7 no sentido frontal (ignorando a torres mais altas fora do padrão) e infinita no sentido lateral, o que resulta em Fator de Visão de Céu variando entre 0,08 e 0,58, sendo entre 0,08 e 0,33 na maior parte das vias. Assim, há acesso à luz do sol, no dia 11/12, de 0,2 a 9,5 horas por dia, sendo na maior parte dos espaços entre 0,2 e 5,5 horas.

Figura 76 - Fator de Visão de Céu no Modelo 5 - República

Figura 77 - Acesso à Luz Solar no Modelo 5 - República

11.3. COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Tabela 25 - Resumo de comparações entre os modelos

COMPARAÇÃO - ALTURAS DOS EDIFÍCIOS - MODELOS 1 A 5						COMPARAÇÃO - SUPERFÍCIES - MODELOS 1 A 5					
	MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI		MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI
MÁXIMO	52,63	73,74	76,06	125,33	89,11	PERCENTUAL DE ÁREA DE ASFALTO (%)	14,54%	13,90%	18,26%	12,86%	11,55%
MÉDIA	5,21	17,04	10,09	36,59	19,22	PERCENTUAL DE ÁREA DE PAVIMENTO (%)	85,46%	86,10%	81,74%	87,14%	88,45%
DESVIO PADRÃO	4,28	20,96	13,70	18,39	20,35						
COMPARAÇÃO - ASPECTOS CONSTRUTIVOS - MODELOS 1 A 5						COMPARAÇÃO - ASPECTOS MORFOLÓGICOS - MODELOS 1 A 5					
	MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI		MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI
TAXA DE OCUPAÇÃO (TO) (%)	56,65%	66,65%	64,11%	59,83%	54,28%	Altura até 6m	80,16%	66,16%	55,37%	3,39%	52,90%
COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA) ESTIMADO	1,43	3,94	2,48	7,65	4,00	Altura entre 6m e 12m	15,77%	7,44%	30,57%	8,61%	7,21%
						Altura entre 12m e 18m	0,49%	0,37%	3,25%	11,30%	0,87%
						Altura entre 18m e 30m	0,62%	1,20%	2,18%	14,77%	2,24%
						Altura entre 30m e 70m	2,97%	24,37%	8,04%	56,17%	35,33%
						Altura acima de 70m	0,00%	0,47%	0,59%	5,75%	0,87%
COMPARAÇÃO - ASPECTOS MORFOLÓGICOS - MODELOS 1 A 5						COMPARAÇÃO - ASPECTOS MORFOLÓGICOS - MODELOS 1 A 5					
	MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI		MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI
H/Aproj até 0,05	63,34%	69,13%	69,55%	26,92%	57,71%	Área de Projção até 200m²	74,68%	11,57%	39,10%	25,04%	12,34%
H/Aproj entre 0,05 e 0,25	35,50%	28,48%	26,33%	56,84%	40,50%	Área de Projção entre 200m² e 500m²	21,16%	36,30%	25,70%	40,15%	49,24%
H/Aproj acima de 0,25	1,16%	2,38%	4,12%	16,24%	1,79%	Área de Projção entre 500m² e 1000m²	4,16%	28,69%	16,68%	22,62%	21,68%
						Área de Projção entre 1000m² e 2000m²	0,00%	14,70%	7,10%	7,09%	16,74%
						Área de Projção entre 2000m² e 2500m²	0,00%	6,07%	1,97%	2,27%	0,00%
						Área de Projção acima de 2500m²	0,00%	2,68%	9,45%	2,83%	0,00%
COMPARAÇÃO - ASPECTOS GEOMÉTRICOS - MODELOS 1 A 5											
	MIRANDÓPOLIS	MOEMA	IPIRANGA	REPÚBLICA	ITAIM BIBI						
FVC (região central)	0,45 a 0,89	0,28 a 0,62	0,30 a 0,83	0,08 a 0,33	0,24 a 0,64						
Acesso à luz solar (região central)	9,5 a 12,2	4,2 a 6,8	7,0 a 12,2	0,2 a 9,5	6,8 a 12,2						
H/W	0,1 a 1,0 (frontal) 1,7 a inf. (lateral)	0,1 a 3,7 (frontal) 0,1 a 7,4 (lateral)	0,1 a 5,1 (frontal) 5,1 a inf. (lateral)	0,1 a 4,7 (frontal) inf. (lateral)	0,1 a 5,0 (frontal) 0,3 a 8,9 (lateral)						

As diretrizes de seleção das áreas de modelos foram atingidas:

- As regiões variam muito as alturas máximas de suas edificações e apresentam grandes variações da altura média e do desvio padrão das alturas, além de perfis de alturas de edificações bastante destoantes (Gráfico 59 e Gráfico 60).
- Da mesma forma há uma grande variação nos volumes totais de edificações construídas e no coeficiente de aproveitamento estimado (Gráfico 62).
- As áreas de pavimento e de asfalto também são muito similares (Gráfico 63).

Gráfico 59 - Comparação entre os modelos: alturas

Gráfico 60 - Comparação entre os modelos: perfis de alturas

COMPARAÇÃO DOS PERFIS DE ALTURAS DOS MODELOS

Gráfico 61 - Comparação entre os modelos: áreas ocupadas e taxas de ocupação

Gráfico 62 - Comparação entre os modelos: volumes e CA estimados

Gráfico 63 - Comparação entre os modelos: superfícies de asfalto e pavimento

As áreas de terreno ocupadas e taxas de ocupação são razoavelmente próxima, com a taxa de ocupação variando de 54,28% a 66,65% entre os modelos (Gráfico 61). Isto mostra que, nos modelos escolhidos, a área ocupada é muito parecida, variando principalmente a forma de ocupá-la, isto é, variando a morfologia.

Isto permite comparar a geometria morfológica da cidade a partir de um número menor de variáveis, precisados anteriormente como aqueles que variam entre os modelos: volume construído (Gráfico 62), coeficiente de aproveitamento estimado (Gráfico 62), média das alturas (Gráfico 58), desvio padrão das alturas (Gráfico 59), perfil de alturas de edificações (Gráfico 60). Através da Tabela 25, é possível comparar ainda os perfis de áreas de projeção das edificações e os perfis dos índices Altura / Área de Projeção (H / Aproj), que apresentam grande variabilidade entre os modelos.

SEÇÃO V: RESULTADOS E CONCLUSÕES

12.RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

12.1. TEMPERATURA DO AR

12.1.1. Receptores médios (nos cruzamentos mais centrais dos modelos)

Gráfico 64 - Receptores médios - Temperatura do Ar

Foram selecionados receptores no meio dos cruzamentos mais centrais dos modelos a 1,50m de altura (altura de percepção do pedestre). Do início da simulação às 18h do dia 11/12 até às 6h do dia 12/12 houve quase perfeita aderência entre as curvas de variação da Temperatura do Ar, fenômeno que se repete após às 21h do dia 12/12 até o final da simulação em 13/12 às 6h. Isto indica que as diferenças de Tar ocorrem principalmente no período diurno e são decorrentes dos fenômenos de aquecimento pela radiação ao longo do dia. Nos cinco modelos, a temperatura mínima ocorreu às 6h do dia 12/12/2018, quando todos os modelos registraram Tar = 21,8°C, com diferenças a partir da segunda casa decimal somente. Neste mesmo horário, ocorreu uma das menores diferenças de Temperatura do Ar entre os modelos:

de somente 0,05°C, o equivalente a 0,23%. A menor diferença de temperatura entre os modelos ocorreu às 03h30 do dia 12/12, correspondendo também a 0,05°C, mas que era o equivalente a 0,22% da temperatura naquele horário.

Em todos os modelos, o aquecimento da Temperatura do Ar é muito rápido, variando da casa dos 22°C às 6h a valores entre 34°C e 36°C às 15h. Ao longo do dia as diferenças de entre os modelos vão se maximizando até o período entre 15h e 18h. O maior registro de Temperatura do Ar ocorre nos cinco modelos às 15h, sendo 35,6°C no Ipiranga e no Mirandópolis, 34,8°C no Itaim Bibi, 34,3°C em Moema e 34,1°C na República. Neste horário, a maior diferença de temperatura se deu entre Ipiranga e Mirandópolis e República, sendo 1,5°C, correspondendo a 4,24% da temperatura máxima e 4,43% da temperatura mínima.

Às 15h20, foi registrada a maior diferença absoluta de Temperatura do Ar entre os modelos, equivalente a 1,5°C, equivalente a 4,33% da Tar dos modelos mais quentes (Ipiranga e Mirandópolis) e 4,53% do modelo mais frio (República). A maior diferença relativa, no entanto, ocorreu às 9h40, sendo de 4,68% em relação aos modelos mais quentes (Ipiranga e Mirandópolis com 29,1°C) e 4,91% em relação ao modelo mais frio (República com 27,7°C).

No ponto central, os modelos de Ipiranga e Mirandópolis registraram em todo o período diurno as maiores temperaturas do ar, que são muito similares entre si. Ou seja, os modelos com menor verticalização e maiores valores de fator de visão de céu, foram os que apresentaram as maiores temperaturas do período diurno. Os modelos do Itaim Bibi e de Moema tiveram temperaturas mais baixas ao longo de todo o dia até às 14h aproximadamente, quando o modelo da República, que é o que provê o maior sombreamento do espaço das vias foi o que apresentou a menor temperatura até o final do dia. A diferença máxima de temperatura é da ordem de 1,5°C entre os modelos. Esta configuração dos gráficos mostra que, no ponto mais central, a configuração urbana teve impacto pequeno na Temperatura do Ar no período noturno, no início da manhã, entre 6h e 8h, e no início da noite, entre 18h e 21h. Os maiores impactos se deram no final da manhã e à tarde, entre 8h e 18h, quando percebemos condições diferenciadas de aquecimento do espaço, com diferenças relevantes de Tar.

O aquecimento ocorre de forma mais rápida nos modelos menos verticalizados, uma vez que os espaços abertos são mais expostos à insolação direta, permitindo o maior

aquecimento de superfícies e consequente aumento da Temperatura do Ar por radiação direta e refletida. O modelo com menor aquecimento é o da República justamente por sua configuração que maximiza o efeito de cânion urbano, com edificações altas geminadas entre si, ocasionando maior sombreamento dos espaços urbanos abertos na escala do pedestre.

Na prática, vemos uma diferença máxima de temperatura ao meio dia de aproximadamente $+1,5^{\circ}\text{C}$ dos modelos do Ipiranga e Mirandópolis em comparação com Moema e República e de aproximadamente $+1^{\circ}\text{C}$ em comparação com o modelo do Itaim Bibi. A diferença de 1°C a $1,5^{\circ}\text{C}$, que corresponde a valores de 4% a 5% da temperatura registrada nos ambientes, pode impactar levemente a percepção da ambiência térmica do espaço urbano aberto pelo pedestre. Esta diferença pode também impactar de forma leve as demandas de funcionamento de sistemas de ventilação e de climatização das edificações.

Além disso, é importante ressaltar que esta diferença está associada a diferentes condições de sombreamento do espaço, que podem ser benéficas ou prejudiciais a depender do horário do dia e da época do ano, tanto com relação ao conforto térmico do pedestre, quanto com relação a outros aspectos da percepção humana do espaço, como, por exemplo aspectos de segurança, iluminação, etc. Por outro lado, para efeito de conforto térmico do pedestre, as vias podem proporcionar outras formas mais agradáveis de sombreamento, com arborização e com coberturas intermitentes de instalações de mobiliários urbanos, serviços e equipamentos, que são sabidamente mais eficazes do que o sombreamento de edifícios no que diz respeito à percepção do espaço pelo pedestre.

Ainda, nota-se que, apesar da pequena diferença de temperaturas no período noturno, o modelo de simulação identificou que há uma inversão entre dia e noite: durante o dia, os modelos menos verticalizados apresentam as maiores temperaturas em função do menor sombreamento, enquanto que à noite, os modelos mais verticalizados e com maior densidade construtiva apresentam as maiores temperaturas. No período noturno, são diferenças pequenas, inferiores a $0,5^{\circ}\text{C}$, mas perceptíveis na simulação. Nota-se que República é o modelo mais quente no período noturno. Isso se deve principalmente ao maior acúmulo de calor nas massas construídas mais volumosas e mais próximas e ao aprisionamento de calor pela reflexão de radiação no cânion urbano ao longo de todo o período noturno.

12.1.2. Mapas horários: início da manhã (12/12 às 6h)

Figura 78 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h

Figura 79 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h

Figura 80 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h

Figura 81 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h

Figura 82 – Modelo 5 - República – Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 6h

Em todos os modelos, a temperatura máxima é da condição de borda, correspondendo a 22,0°C. O modelo do Ipiranga é o que inicia o dia com a dispersão de menores temperaturas do ar nas vias e o da República é o mais aquecido. No entanto, a menor Temperatura do Ar é a do modelo de Mirandópolis. Ainda assim, as diferenças são mínimas, sendo a mínima do modelo do Mirandópolis 21,2°C e a máxima do modelo da República 22,0°C.

Nota-se que o modelo da República, com maior massa construída e menores condições de ventilação e circulação do ar, bem como de sombreamento, é o que proporciona a condição mais homogênea de Temperatura do Ar, ainda que não seja a condição mais quente encontrada. O que se observa é que, no geral, o modelo da República foi o que concentrou maior quantidade de calor no período noturno, permanecendo com a distribuição mais uniforme da maior Temperatura do Ar no período da noite, com temperaturas entre 21,7°C e 22,0°C em todos os espaços urbanos abertos às 6h do dia 12/12.

O modelo do Mirandópolis também apresentou comportamento uniforme das temperaturas do ar registradas nesse horário, e com grande aquecimento dos espaços, com temperaturas variando também de 21,8°C a 22,0°C. Percebe-se que o modelo do Mirandópolis, apesar da menor volumetria construída e da menor verticalização, foi igualmente marcado pela manutenção do calor no período noturno, o que pode-se dar pela baixa variabilidade de alturas das edificações (identificado pelo baixo desvio padrão das alturas) e pela geminação das casas e sobrados, o que cria, assim como no caso da República, condições de circulação dos ventos que passam sobre as edificações, mas não necessariamente circulam de formas diferenciais em zonas de alta e baixa pressão, permitindo a retirada de calor.

Os modelos de Moema e Itaim Bibi tiveram comportamento similar neste horário, com temperaturas variando de 21,8°C a 22,0°C na maior parte dos espaços e chegando em alguns espaços próximos à borda do modelo a uma temperatura maior de até 22,0°C. Nota-se que em Moema e Itaim Bibi, há uma distribuição das temperaturas mais baixas nas regiões norte e noroeste do modelo e mais altas nas faixas sul e sudeste, que são atingidas primeiramente pelos ventos incidentes da simulação.

O modelo do Ipiranga foi o que apresentou as temperaturas mais baixas e a maior heterogeneidade de temperaturas: na maior parte dos espaços a temperatura ficou entre 21,7°C e 21,8°C, chegando a 22,0°C nos limites das bordas sul e leste. Da mesma maneira que em Moema e Itaim Bibi, há uma distribuição das temperaturas mais baixas nas regiões norte e noroeste do modelo e mais altas nas faixas sul e sudeste, que são atingidas primeiramente pelos ventos incidentes da simulação.

Pode-se perceber que o aquecimento da Temperatura do Ar acompanha a Direção do Vento, isto é, advém de sudeste e a Temperatura do Ar vai aumentando gradativamente no espaço de sudeste para noroeste. O Ipiranga, que apresenta um traçado reticulado quadrangular com vias no sentido norte-sul e Leste-Oeste, apresentou uma permissividade de circulação dos ventos que permitiu uma distribuição de temperaturas mais amenas no interior do modelo. No modelo do Itaim Bibi, com grandes quadras, notamos que a faixa de edifícios funciona quase como uma barreira e, portanto, há grandes diferenças de temperatura entre uma via e outra, o que ocorre de forma similar, mas menos intensa, em Moema. Na República há uma temperatura homogênea, uma vez que a circulação de ventos é baixa.

12.1.3. Mapas horários: período da tarde (12/12 às 12h, às 15h e às 18h)

Figura 83 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h

Figura 84 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h

Figura 85 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h

Figura 86 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h

Figura 87 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 12h

Ao meio dia, o quadro de temperaturas do ar já mudou drasticamente. O modelo da República é o que mantém maior homogeneidade de temperaturas especificamente nas vias, isto por conta de sua geometria feita em vias estreitas e com direções irregulares entre edifícios altos e geminados, ou seja, é o cânion urbano mais evidente com maior relação H/W, menores valores de FVC e maior volumetria construída dentre os modelos e, além disso, é o único que apresenta edificações altas geminadas.

Sempre olhando para o interior da área edificada dos modelos somente, a temperatura nas vias, no caso da República, varia essencialmente entre 31,4°C e 35,0°C, uma diferença de mais de 3,0°C entre as vias mais sombreadas e mais estreitas com quadras menores e orientação sudoeste-nordeste (menos favoráveis à direção dos ventos) e os espaços mais abertos, vias mais largas e vias com orientação sudeste-nordeste (na direção dos ventos). Nas bordas do modelo, a área chegou a alguns focos de temperatura de 36,1°C. As vias com orientação sudeste-noroeste, que são os principais corredores do modelo, e as mais

permissivas à circulação do vento, bem como o espaço mais aberto junto à praça, são os espaços com maiores temperaturas, chegando a 36,1°C. Mas quando observamos mais atentamente, percebemos que as temperaturas vão se reduzindo conforme se adentra na via no sentido do percurso do vento, chegando a 31,4°C, uma diferença de quase 5°C.

O mesmo ocorre nas vias perpendiculares ao sentido de incidência dos ventos, que, protegidas da entrada dos ventos mais quentes, onde a Temperatura do Ar se manteve predominantemente entre 31,4°C e 32,6°C. Neste caso, deve-se compreender também que as vias mais estreitas, e, portanto, mais sombreadas pelas edificações, e também aquelas com menores incidências de ventos, são as com as menores temperaturas. Há uma diferença de 4,8°C entre a via mais quente e a via mais fria do modelo.

Mirandópolis, por sua vez, com vasta área exposta à insolação direta e pouco sombreamento de edificações, teve uma temperatura homogênea e razoavelmente alta: na maior parte dos espaços a Temperatura do Ar ficou entre 32,9°C e 33,5°C. Há uma via especificamente, a Rua das Rosas, com orientação sudeste-noroeste, isto é, um corredor de sobrados geminados por diversas quadras formado justamente na direção predominante de incidência dos ventos. Neste corredor, a Temperatura do Ar ficou mais alta que nas demais vias do modelo, chegando aos 34,6°C. Neste modelo, a temperatura variou somente 1,6°C.

Em Moema, olhando especificamente para o interior do trecho edificado, a temperatura também se manteve levemente mais baixa na maior parte dos espaços, variando predominantemente entre 32,1°C e 33,4°C. No entanto, duas vias, também cânions formados na direção sudeste-noroeste tiveram as maiores temperaturas registradas, variando de 33,8°C a 35,1°C. Pode-se perceber que as vias e os espaços mais protegidos com relação à direção dos ventos, isto é, as vias com sentido sudoeste-nordeste (perpendiculares ao vento) com a proteção das edificações, foram as que tiveram as temperaturas menores e, nesses espaços, verificamos ainda alguns pequenos pontos, protegidos por torres, onde as temperaturas foram menores, em 31,6°C. Ou seja, a temperatura chegou a variar 3,5°C.

No Itaim Bibi, as vias são posicionadas principalmente no sentido sudoeste-nordeste, ou seja, de forma perpendicular à incidência principal dos ventos. Mas as edificações, que não são geminadas, mas são próximas entre si, auxiliam na criação de zonas de baixa e alta pressão

que permitem a circulação dos ventos. Seguindo a mesma lógica percebida nos modelos da República, Mirandópolis e Moema, notamos que o sentido perpendicular à circulação dos ventos trouxe uma certa barreira à entrada do ar quente nas vias do modelo. As temperaturas variaram de 32,6°C a 35,0°C no interior do modelo, sendo que, cada via teve um perfil de temperaturas diferente: a primeira via no sentido da incidência do vento apresentou temperatura variando de 32,8°C a 35,0°C, a segunda via (central no modelo), de 32,5°C a 32,8°C, e a terceira, última no sentido da incidência dos ventos, de 32,0°C a 32,5°C. Houve uma diferença máxima de 3,0°C no modelo.

O Ipiranga não foi o modelo que apresentou as menores temperaturas nas vias, o que notadamente ocorreu na República e em segundo lugar Itaim Bibi, no entanto, foi o que apresentou a menor temperatura máxima no interior do modelo após Mirandópolis. Além disso, apresentou uma relativa homogeneidade de temperaturas do ar, sendo que, no interior do modelo, as temperaturas variaram predominantemente entre 32,7°C e 34,6°C. As vias distribuídas nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste permitem uma circulação de ventos com velocidades mais baixas e em direções mais variadas, além da criação de zonas baixa e alta pressão que auxiliam uma circulação mais saudável à cidade.

Nota-se que há uma maior incidência de Temperatura do Ar mais alta no canto sudeste de cada quadra, onde se recebe a primeira entrada de vento, e uma menor temperatura de ar no canto noroeste das mesmas. Em uma mesma quadra, a diferença pode chegar a 1,9°C, com 32,7°C no canto noroeste frente a 34,6°C no canto sudeste. De maneira similar, o trecho sul-sudeste-leste, em especial o arco sudeste-leste, é o que apresenta as maiores temperaturas, com um decaimento até a ponta noroeste. A diferença máxima de temperatura foi de 1,9°C.

Como pode-se perceber, os modelos com menor verticalização, Mirandópolis e Ipiranga, apresentaram a menor variação de temperatura, enquanto os modelos de Moema e Itaim Bibi apresentaram as maiores diferenças de temperatura, em função principalmente dos efeitos de insolação e sombreamento causado pelos edifícios e efeitos dos ventos. República teve a maior variação de temperatura considerando a área aberta, mas observando somente as vias, apresentou a maior homogeneidade de temperatura, majoritariamente mais baixa.

Figura 88 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 89 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 90 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 91 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 92 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 93 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 94 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 95 – Modelo 3 - Moema –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 96 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 97 – Modelo 5 - República –Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Não houve uma mudança significativa de cenários entre 12h e 15h, as mesmas configurações de distribuição de temperatura foram mantidas. Na realidade, houve um aumento de Temperatura do Ar em todos os modelos, atingindo suas máximas às 15h.

Às 15h, no Ipiranga, a máxima foi de 36,6°C, sendo que a temperatura variou nas vias entre 34,9°C e 36,6°C. No Itaim Bibi a máxima foi de 36,6°C, tendo a Temperatura do Ar variado de forma diferente nas três vias: de 34,9°C a 36,6°C na via mais a sul, por volta de 34,9°C na via mais central e de 34,2°C a 34,9°C na via mais a norte.

Às 15h, no Mirandópolis, a temperatura se manteve majoritariamente em 35,5°C em quase todos os espaços, variando levemente para 36,0°C em algumas manchas, e tendo a Rua das Rosas mantido a maior temperatura, chegando a 37,1°C.

Às 15h, em Moema, a mesma configuração se manteve, com a temperatura variando de 34,0°C a 34,8°C nos trechos mais centrais, e de 34,8°C a 37,3°C nas vias onde há passagem dos ventos.

Às 15h, na República, a máxima chegou a 38,1°C nas áreas abertas nas entradas das vias e na praça, e ficou entre 33,1°C e 34,3°C nas vias mais centrais do modelo, até 36,8°C em suas bordas.

Entre 15h e 18h, a principal mudança foi uma redução generalizada das temperaturas em todos os modelos, ainda que de forma lenta. Configurações similares de distribuição de temperatura foram mantidas, sendo que, da mesma forma que nos demais horários, as temperaturas mais altas ocorrem inicialmente nos trechos e ruas mais atingidos pelos ventos. A redução das temperaturas ocorre no sentido dos ventos também e, neste horário, as máximas de temperatura não ocorrem mais nas bordas dos modelos, mas sim em meio às vias.

Às 18h, no Mirandópolis, a temperatura se manteve majoritariamente próxima aos 32,8°C, marcando uma redução de quase 3°C desde às 15h. Novamente a Rua das Rosas (com sentido sudeste-noroeste) foi a rua mais quente, com temperaturas variando entre 32,6°C e 33,6°C, uma redução entre 2,5°C e 4,5°C desde às 15h.

No Ipiranga, a máxima foi de 33,3°C, sendo que a temperatura variou nas vias entre 32,8°C e 33,3°C. No caso do Ipiranga, houve também grande homogeneidade de temperaturas,

ainda que menor que a do Mirandópolis, sendo que o trecho sudeste do modelo apresentou as menores temperaturas, chegando a 32,6°C, marcando a hipótese de que o resfriamento também se inicia conforme a incidência dos ventos.

Às 18h, em Moema, a temperatura variou de 32,3°C a 32,8°C nas vias com orientação sudoeste-nordeste, perpendiculares aos ventos, sendo de 32,3°C nos trechos centrais. Nas vias sudeste-noroeste, no sentido dos ventos, a temperatura foi levemente maior, variando de 32,4°C a 32,9°C.

Às 18h, no Itaim Bibi a máxima foi de 33,2°C, tendo a Temperatura do Ar variado de forma diferente nas três vias: de 32,5°C a 33,2°C na via mais a sul, por volta de 32,5°C a 32,7°C na via mais central e de 32,2°C a 32,4°C na via mais a norte.

Às 18h, na República, a máxima chegou a 33,5°C e foi homogeneamente alta, superior a 32,8°C em basicamente todos os espaços urbanos abertos, corroborando a hipótese de que o modelo mais adensado é o que apresenta menores variações de temperatura no período noturno.

Nota-se que mesmo dentro de um mesmo modelo pode haver grandes diferenças de Temperatura do Ar entre os diferentes espaços. Se por um lado, às 15h, quando ocorreram as temperaturas máximas de todos os modelos, o Ipiranga e Mirandópolis tiveram as maiores temperaturas de ar distribuídas pelo modelo, Moema foi o modelo que assegurou a maior temperatura de todas em meio às vias, levemente superior que Mirandópolis, pouco acima de 37°C. Todas as máximas foram na casa dos 37°C aproximadamente, com exceção da República, cuja máxima foi inferior, de 34°C no interior das estreitas vias do modelo. (República foi o que apresentou a maior Temperatura do Ar, com 38°C na praça aberta e exposta ao vento).

República, no entanto, foi o modelo que apresentou a maior homogeneidade de temperaturas entre as vias, com as menores diferenças entre os espaços, em todos os horários. Também foi o que apresentou menor amplitude térmica nesse período. Mirandópolis também apresentou grande homogeneidade das temperaturas do ar em todos os horários, principalmente em função da grande padronização das alturas das edificações, baixa variabilidade de sua altura, ausência de recuos laterais, características muito similares à República, resguardando a enorme diferença entre as alturas das edificações, altas na

República e baixas no Mirandópolis. Em Moema, por exemplo, às 15h, a diferença de temperatura entre diferentes trechos do modelo chega a 3,3°C, enquanto que na República chega somente a 1,2°C. Nos demais modelos, às 15h vemos 1,7°C no Ipiranga, 2,4°C no Itaim Bibi e 1,6°C no Mirandópolis.

Às 18h este cenário é muda bastante, pois, com a baixa incidência de radiação solar, as diferenças espaciais de Temperatura do Ar dentro dos modelos é reduzida, e vemos que a diferença de temperatura nos espaços da República é de somente 0,7°C, mesmo comparando a praça aberta e as vias, enquanto que no Mirandópolis a diferença máxima foi de 1,0°C, mas em Moema a diferença máxima foi de 0,6°C, inferior que no Mirandópolis. Nos outros modelos, esta diferença foi mais uma vez maior, sendo 1,1°C no Ipiranga e 1,0°C no Itaim Bibi.

O que vemos é que, ao longo do dia, as temperaturas do ar variam de forma diferencial entre os vários modelos e mesmo entre os diferentes espaços de um mesmo modelo. Esta diferença na variação de temperatura se deve principalmente às diferentes condições de exposição ao sol e sombreamento e à permeabilidade ao vento. Quanto menor a permeabilidade ao vento, maior é a homogeneidade de temperaturas, e quanto menor é o sombreamento diferencial ocasionado por torres, mais uma vez maior é essa homogeneidade.

República tem uma homogeneidade maior de temperaturas, por exemplo, do que o Itaim Bibi, apesar de densidade construída e verticalização similares, pois tem menor FVC e menor fator H/W, e, por conta disso, menor acesso e exposição ao sol, bem como, com ruas mais estreitas e edificações geminadas, menor circulação de ventos. Mirandópolis, por sua vez, tem grande homogeneidade em função de sua baixa variabilidade de alturas e aspectos de edificações, que, por serem em sua maioria casas e sobrados, geram pouco sombreamento sobre as vias e há pouco sombreamento diferencial entre as edificações, bem como em função da continuidade e fluidez com os ventos podem percorrer o modelo.

A maior variabilidade de alturas e tipologias de edificações, vista nos modelos de Ipiranga, Itaim Bibi e Moema, ocasiona condições diferenciais de sombreamento e exposição ao sol em diferentes horários, bem como zonas de baixa e alta pressão, que permitem a criação de áreas com maiores ou menores velocidades de ventos, permitindo maior variabilidade das condições térmicas dos espaços urbanos abertos.

12.1.4. Mapas horários: período noturno (13/12 à 00h e às 6h)

Figura 98 – Modelo 1 - Mirandópolis – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h

Figura 99 – Modelo 2 - Ipiranga – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h

Figura 100 – Modelo 3 - Moema – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h

Figura 101 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h

Figura 102 – Modelo 5 - República – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 00h

Figura 103 – Modelo 1 - Mirandópolis – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h

Figura 104 – Modelo 2 - Ipiranga – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h

Figura 105 – Modelo 3 - Moema – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h

Figura 106 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h

Figura 107 – Modelo 5 - República – Temperatura do Ar em 13/12/2018 às 6h

No período noturno, todos os modelos sofrem uma queda na Temperatura do Ar. Como abordado em outras análises, os modelos com maior densidade construída sofrem menor perda de temperatura no período noturno. O modelo mais sombreado, o da República, sofre também menor aquecimento diurno, tendo a menor amplitude térmica. Ainda assim, nota-se uma diferença muito pequena de Temperatura do Ar entre os modelos no período noturno, menor ou igual a 0,5°C em quase todo o período, sendo marcante que os modelos mais quentes no período noturno são os mais adensados, República e Itaim Bibi.

À 0h, há grande homogeneidade na Tar do modelo de Mirandópolis, variando entre 25,7°C e 25,8°C. Na maior parte dos espaços a temperatura é de 25,7°C, sendo que somente na Rua das Rosas chega a 25,8°C. Às 6h, mantendo a homogeneidade, o modelo se mantém entre 23,4°C e 23,5°C. O modelo do Ipiranga, por sua vez, mostra uma levemente maior heterogeneidade, sendo que à 0h mostrou temperaturas entre 25,6°C e 25,7°C. Os trechos a sudeste são os mais frios, enquanto que, por ora, o trecho central e o trecho noroeste (último a receber os ventos) é o que ainda está mais quente. Com praticamente o mesmo aspecto, mas com temperaturas menores, às 6h, a temperatura variou de 23,2°C a 23,5°C, sendo o trecho mais frio na ponta sudeste e o trecho que ainda está mais quente na ponta noroeste.

À 0h, o modelo de Moema apresentou temperaturas entre 25,5°C e 25,8°C, sendo o trecho mais quente na ponta sudoeste a via com orientação sudeste-noroeste. Ambas as vias com orientação sudeste-noroeste são as mais quentes do modelo, uma atingindo 25,8°C e outra atingindo 25,7°C, enquanto as demais chegaram somente a 25,6°C. Às 6h, o mesmo modelo encontra temperaturas de 23,3°C a 23,5°C, sendo que nas mesmas vias sudeste-noroeste, mais quentes, chegou a 23,5°C, e nas demais chegou a 23,4°C.

O modelo do Itaim Bibi, por sua vez, à 0h, apresentou temperaturas de 25,6°C a 25,7°C, com grande homogeneidade. Às 6h, a temperatura foi de 23,3°C a 23,5°C, não tendo grande diferença com relação aos modelos anteriores. Na República, à 0h, as temperaturas variaram de 25,5°C a 25,8°C, sendo ainda mais quentes que o modelo do Itaim Bibi. Nas duas vias principais com orientação sudeste-noroeste as temperaturas foram as mais altas, chegando a 25,8°C. Na praça aberta, a temperatura foi de 25,5°C. Às 6h, as temperaturas foram de 23,3°C a 23,7°C, tendo sido o modelo mais quente no período noturno. Nas vias principais a temperatura se manteve mais alta, entre 23,4°C e 23,7°C.

12.2. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR

Figura 108 – Modelo 1 - Mirandópolis – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 109 – Modelo 2 - Ipiranga – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 110 – Modelo 3 - Moema – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 111 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 112 – Modelo 5 - República – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 113 – Modelo 1 - Mirandópolis – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 114 – Modelo 2 - Ipiranga – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 115 – Modelo 3 - Moema – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 116 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 117 – Modelo 5 - República – Variação da Temperatura do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 118 – Modelo 1 - Mirandópolis – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h

Figura 119 – Modelo 2 - Ipiranga – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h

Figura 120 – Modelo 3 - Moema – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h

Figura 121 – Modelo 4 - Itaim Bibi – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h

Figura 122 – Modelo 5 - República – Variação da Temperatura do Ar dia 13/12/2018 à 00h

Os mapas de variação da Temperatura do Ar apresentam as variações de *T_a* vivenciadas pelos diferentes modelos em graus Kelvin por hora, seja positiva ou negativa, em cada horário. No geral, no período diurno, os modelos veem majoritariamente variações positivas de Temperatura do Ar, isto é, de acréscimo de temperatura, e, no período noturno, variações negativas, de decréscimo da temperatura.

Como é de se esperar, os modelos com as vias mais expostas ao céu e à insolação direta (Mirandópolis e Ipiranga) apresentam as maiores variações de aumento de Temperatura do Ar ao longo do período diurno, enquanto que os modelos com a maior massa construída (República e Itaim Bibi) são os que apresentam menor variação de decréscimo da Temperatura do Ar no período noturno. Basicamente, durante o dia, onde há sombreamento, em função da obstrução de edificações à exposição do trecho da via à insolação, há uma variação negativa de *T_a*, mesmo no período diurno.

Como já pode ser visto nos estudos da Temperatura do Ar, ao longo do dia, enquanto há aquecimento dos espaços, antes de atingir as temperaturas máximas, também, o aumento

das temperaturas ocorre conforme o sentido de incidência dos ventos – e, de forma análoga, à noite, a redução da temperatura –, portanto, a variação da temperatura é maior nas regiões onde há maior Velocidade do Ar, nas vias com orientação sudeste-noroeste e a partir dos trechos sul-sudeste-leste dos modelos. Isto se mostrou não ser verdade nos horários de 15h, quando já se atingiu a Tar máxima em todos os modelos.

O que vemos é que, às 15h, em todos os modelos, a variação de temperatura é maior nas bordas, se reduzindo conforme se adentra nas vias. Às 15h, Mirandópolis vê, entre as 0,1 e 0,5 K/h, sendo na Rua das Rosas, a via mais quente do modelo em quase todos os horários, uma variação de somente 0,1 K/h, visto que é a via que já foi mais aquecida neste horário, onde há a Temperatura do Ar máxima. No Ipiranga, há uma grande homogeneidade na variação da Tar nesse horário, de 0,3 a 0,5 K/h.

Em Moema, também com razoável homogeneidade, na maior parte dos espaços, a variação é superior a 0,4 K/h, mas com trechos, onde há sombreamento, há um decréscimo de temperatura, com variação de -0,6 a -0,1 K/h. No Itaim Bibi, de forma similar, na maior parte do modelo, a variação é positiva com acréscimo superior a 0,6 K/h, com algumas áreas levemente sombreadas, onde ainda assim a variação é positiva, da ordem de 0,2 K/h. Por fim, na República, a variação da Tar é de 0,2 a maior que 0,6 K/h nas vias principais sudeste-noroeste e maior que 0,6 K/h nas demais vias estreitas.

Às 18h, quando há o resfriamento dos espaços abertos, com a queda da temperatura, em Mirandópolis vemos uma variação que vai de -2,0 a -2,6 K/h, sendo que a maior redução é na Rua das Rosas, onde há maior velocidade de ventos, entre -2,3 e -2,6 K/h, enquanto que em algumas vias a redução varia de -2,0 a -2,10 K/h. No Ipiranga, com maior homogeneidade em função do traçado e permeabilidade aos ventos, as variações vão de -1,9 a -2,2 K/h.

Em Moema, há diferenças grandes: no trecho central do modelo, nas ruas sudoeste-nordeste, o resfriamento é menor, a uma variação de -1,6 K/h, enquanto que nas ruas sudeste-noroeste dos cantos do modelo, a variação vai de -1,6 a -2,2 K/h. No Itaim Bibi, também há diferenças grandes: na via mais a sul, a variação é maior, de -2,0 a -2,2 K/h, na via central fica próxima de -2,0 K/h, e na via mais a norte, há a menor variação, de -1,8 a -2,0 K/h. Na República,

por fim, vemos a menor taxa de resfriamento de todos os modelos: de -1,5 a -1,7 K/h no interior das vias somente.

À 0h, Mirandópolis apresentou um leve ganho de valor dentro das vias do modelo, sendo maior nas vias com menor incidência de ventos, em função do calor emitido sob forma de radiação de onda longa das edificações e superfícies, sendo que na Rua das Rosas, onde houve menor variação, esta foi de 0,2 a 0,3 K/h, e nos demais espaços em torno de 0,3 K/h.

Da mesma forma, no Ipiranga, houve variação positiva de temperatura, em torno de 0,3 K/h em todo o modelo, sendo que o trecho mais a sul e mais a leste apresentou as menores variações, com diferença somente na segunda casa decimal. Em Moema, o ganho de temperatura foi de aproximadamente 0,30 K/h de forma generalizada também, mas de 0,2 a 0,3 K/h nas vias com direção sudeste-noroeste. No Itaim Bibi, a tendência se repete, de forma muito homogênea, com ganhos da ordem de 0,3 K/h em praticamente todos os espaços, assim como na República.

Nota-se que a variação da Temperatura do Ar para aumento de temperatura no período diurno aumentou entre os modelos conforme reduziu-se a densidade construída da área, sendo a maior no Mirandópolis e a menor na República, e a variação da Temperatura do Ar para decréscimo da temperatura no período diurno também aumentou conforme reduziu-se a densidade construída, sendo a maior mais uma vez no Mirandópolis e a menor na República.

Ou seja, quanto menos adensados os modelos, mais responsivos são às variações diurnas e noturnas de temperatura, sendo mais responsivos, com maior e mais rápido aumento de temperatura, durante o dia devido à maior exposição à radiação solar direta na maior parte dos espaços, e também mais responsivos durante a noite, com maior e mais rápida perda de temperatura, devido à menor emissão de radiação de onda longa pela menor quantidade de calor acumulado pelas massas construídas, menos volumosas, durante o dia.

12.3. UMIDADE RELATIVA

12.3.1. Receptores médios (nos cruzamentos mais centrais dos modelos)

Gráfico 65 - Receptores médios – Umidade Relativa

De maneira similar à Temperatura do Ar, há diferenças mínimas de UR entre os modelos no período noturno. No período diurno há diferentes respostas, mas ainda assim próximas: os modelos que apresentam maiores temperaturas do ar (Ipiranga e Mirandópolis) são também os que apresentam menores valores de UR, chegando a 28,1% às 15h. República e Moema são os que apresentam a menor queda de UR, chegando a 30,5% e 30,2% respectivamente, enquanto o Itaim Bibi chega a 29,0%. A maior diferença ocorre às 9h20, de somente 3,8%. Às 15h, quando há as mínimas de UR, a diferença máxima entre os modelos é de somente 2,5%. Assim, a UR não é uma variável relevante para compreender a diferença entre os modelos.

Vale recordar que neste estudo se está verificando a Umidade Relativa que diz respeito à quantidade de vapor de água presente no ar em função da capacidade máxima que pode ser contida em determinada temperatura. Sendo assim, quanto maior a Temperatura do Ar, menor será a Umidade Relativa, ainda que a umidade absoluta seja similar.

12.4. TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA

12.4.1. Receptores médios (nos cruzamentos mais centrais dos modelos)

Gráfico 66 - Receptores médios - Temperatura Radiante Média

As maiores diferenças de resposta entre os modelos dizem respeito aos registros de TRM, o que decorre das diferentes condições de exposição à insolação, do sombreamento e da radiação emitida pelas edificações. A TRM é uma das principais variáveis para compreender as diferenças entre os modelos. Os modelos todos partem de um valor muito similar às 18h do dia 11/12 entre 18,3°C e 18,9°C. Já no período noturno as diferenças crescem e se maximizam, quando há o resfriamento do ambiente. Aproximadamente às 6h do dia 12/12, no mesmo horário em que há a Temperatura do Ar mínima (nascer do sol às 6h13 em 12/12/2018, horário de verão), há também os valores mínimos de TRM, sendo às 5h40 de 14,3°C no Ipiranga, 16,1°C no Itaim Bibi, 14,0°C no Mirandópolis, 15,3°C em Moema e 16,2°C na República. Neste horário há uma diferença máxima de 2,2°C entre os modelos, que é relevante à percepção térmica pelo pedestre.

Nota-se uma inversão clara entre período diurno e noturno: no período noturno o modelo que apresenta maiores valores de Temperatura Radiante Média (mínima de 16,2°C) é o da República, justamente o modelo que apresenta os menores valores ao longo de todo o dia. Por outro lado, os modelos que apresentam os menores valores no período noturno (mínima de 14°C) são Ipiranga e Mirandópolis, os mesmos que apresentam as maiores máximas diurnas. O formato do gráfico mostra que os modelos Ipiranga, Itaim Bibi, Mirandópolis e Moema apresentam dois picos de TRM, um pela manhã às 9h30 aproximadamente e outro pela tarde, aproximadamente às 15h. No pico da manhã, vemos no Ipiranga uma TRM de 64,5°C, de 63,4°C no Itaim Bibi, de 64,2°C no Mirandópolis, de 63,6°C em Moema. O pico da manhã do modelo da República, que sofre um aquecimento menor e mais lento, ocorre de forma menos intensa e mais tardiamente, às 10h30 com uma TRM de 58,4°C.

Ao meio dia, todos os modelos apresentam uma queda forte do valor da TRM, levando a 56,4°C no Ipiranga, 55,9°C no Mirandópolis, 55,7°C em Moema, 55,2°C no Itaim Bibi e 52,3°C na República, às 12h. Investigando detalhadamente os dados de entrada e os dados de saída das simulações, pode-se perceber duas possíveis causas, destacadas abaixo, para esta inesperada redução da TRM ao meio-dia.

Da parte dos dados de entrada, nas medições reais realizadas in loco, houve efetivamente uma pequena desaceleração no aumento da Temperatura do Ar em torno do meio-dia, que só vem a atingir seu máximo por volta das 15h (Gráfico 34), o que vai de acordo com os registros de radiação apresentados pela Estação do IAG, que apresentam uma queda da radiação de onda longa (Gráfico 36) e da radiação direta (Gráfico 38) pouco após ao meio-dia. Lembrando que, como as medições foram realizadas em local diferente da Estação do IAG, pode haver diferenças de tempo e de intensidade com relação às manifestações das variações meteorológicas, como a própria intensidade da radiação solar e os seus efeitos, pois podem haver condições de nebulosidade diferenciadas sobre o ponto de medições e sobre a estação, justificando o porquê de os dados da estação terem sido utilizados somente como referência de estudo, mas não como input das simulações.

Por outro lado, verificando os dados de saída dos resultados das simulações realizadas pelo ENVI-met, nota-se que a queda da TRM às 12h, deve-se principalmente à queda da radiação de onda longa neste mesmo horário, o que significa uma queda da radiação refletida

pelas superfícies verticais do modelo, isto é, radiação refletida pelas fachadas das edificações sobre o ponto analisado, o que aconteceria nesse horário por haver um posicionamento praticamente centralizado do sol no céu, não havendo ângulo de incidência da radiação solar sobre as fachadas das edificações e, por esta razão, menor radiação de onda longa. Este resultado poderia ser melhor estudado como fruto de outras pesquisas, pois pode significar uma possível limitação matemática do *software*, que, calcula em cada pixel do modelo a cada momento o balanço térmico e, se, neste momento, não há ângulo entre a incidência da radiação solar direta e superfície vertical das fachadas dos edifícios nesta mesma direção, também são considerados no cálculo que existam reflexos desta radiação nestas edificações neste horário.

Os valores máximos de TRM são atingidos nos picos da tarde, aproximadamente às 15h, para os modelos do Ipiranga e do Mirandópolis (73,1°C e 72,8°C respectivamente) e do Itaim Bibi e de Moema (72,0°C e 72,2°C). O modelo da República atinge sua máxima às 13h com 61°C. Aproximadamente às 18h, todos os modelos retornam a 28°C (pôr do sol às 19h47 no dia 12/12/2018, horário de verão) e, a partir daí, veem um resfriamento até 17,3°C no Ipiranga, 17,4°C no Mirandópolis, 18,8°C em Moema, 19,8°C no Itaim Bibi e 19,9°C na República, às 6h do dia 13/12.

Nota-se que os modelos do Ipiranga e do Mirandópolis apresentam comportamentos muito similares entre si no período da manhã, enquanto que Mirandópolis e Moema, e Ipiranga e Itaim Bibi, apresentam comportamentos similares aos pares no período da tarde. Ipiranga e Mirandópolis apresentam um aquecimento mais rápido dos espaços abertos no período da manhã, o que está associado principalmente à maior exposição dos ambientes à radiação solar direta, uma vez que as edificações são em sua maioria mais baixas ocasionando menor sombreamento, o que fica evidente pelo maior valor de FVC no ponto central.

O formato curvo do gráfico mostra que o aquecimento foi gradual, com a incidência constante de insolação. De maneira inversa, Itaim Bibi e Ipiranga tem o decréscimo mais lento da TRM no período da tarde, com gráfico em curva, denotando a queda gradual da TRM. Esta inversão de comportamento entre manhã e tarde entre os modelos decorre principalmente da orientação das vias, em que há o sombreamento ou a exposição à insolação do ponto central em diferentes horários do dia, diferencialmente entre período da manhã e período da tarde.

12.4.2. Mapas horários: período da tarde (12/12 às 15h e às 18h)

Figura 123 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h

Figura 124 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h

Figura 125 – Modelo 3 - Moema –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h

Figura 126 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h

Figura 127 – Modelo 5 - República –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 15h

Figura 128 – Modelo 1 - Mirandópolis –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h

Figura 129 – Modelo 2 - Ipiranga –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h

Figura 130 – Modelo 3 - Moema –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h

Figura 131 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h

Figura 132 – Modelo 5 - República –Temperatura Radiante Média dia 12/12/2018 às 18h

Às 15h, Ipiranga e Mirandópolis apresentam grande homogeneidade espacial dos valores de TRM, sumariamente superior a 70,5°C, visto que há pequeno sombreamento das vias. Às 18h, em ambos os modelos há um grande sombreamento ocasionado pelas edificações e enorme diferença entre áreas sombreadas e áreas que ainda estão expostas ao céu e ao sol, sendo que em Mirandópolis a TRM fica em torno de 30,4°C nas áreas sombreadas e 41,2°C nas áreas expostas, e no Ipiranga estes valores ficam respectivamente em 30,2°C e 40,8°C.

De maneira análoga, às 15h, em Moema, onde há razoável sombreamento pelas torres, há TRM de 47,7°C nas áreas sombreadas e maior que 69,4°C nas ensolaradas. Às 18h, praticamente todo o modelo é sombreado pelas torres, tendo a TRM reduzida a 29,4°C e 40,3°C respectivamente. Itaim Bibi, que apresenta pouquíssimo sombreamento tanto às 15h quanto às 18h, teve às 15h TRM majoritariamente acima de 69,4°C e às 18h de 31,0°C a 32,1°C nas áreas sombreadas e 40,1°C nas áreas ensolaradas. Na República, com grande sombreamento em todo o dia, às 15h a TRM varia de 42,2°C a 43,5°C nas vias e 66,7°C na praça aberta e às 18h fica em 28,0°C nas vias sombreadas e 38,3°C na praça ensolarada.

Nota-se que os valores de TRM durante a tarde são muito similares entre os modelos no que diz respeito à TRM encontrada em áreas ensolaradas e em áreas sombreadas. Isto quer dizer que, às 15h, nas áreas ensolaradas encontra-se valores de TRM próximos aos 70°C e nas áreas sombreadas próximo aos 41°C. Às 18h, por sua vez, os valores são respectivamente próximos a 40°C e 30°C, trazendo uma redução dos valores absolutos em função da menor Temperatura do Ar no final da tarde e uma menor diferença entre áreas ensolaradas e áreas sombreadas devido à menor carga térmica associada à radiação solar direta nesse horário.

O que varia entre os modelos é a razão entre áreas sombreadas e expostas durante o dia, sendo que majoritariamente o modelo da República oferece o maior sombreamento em todos os horários devido às altas edificações geminadas entre si. O Itaim Bibi, apesar de muitas torres altas, apresenta grande exposição das vias à insolação devido à orientação das ruas, que aproximadamente Leste-Oeste, diferentemente de Ipiranga, com vias norte-sul e Leste-Oeste, e Moema, com vias sudeste-noroeste e sudoeste-nordeste, que às 18h, apresentam grande sombreamento das vias pelos edifícios. Às 15h, todos os modelos com exceção da República, apresentam grande área ensolarada e pouco sombreamento das vias, sendo que Mirandópolis e Ipiranga, com as menores edificações, apresentam as menores obstruções à insolação.

12.5. VELOCIDADE DO AR

12.5.1. Receptores médios (nos cruzamentos mais centrais dos modelos)

Gráfico 67 - Receptores médios - Velocidade do Ar

É natural que o posicionamento das edificações altere drasticamente as direções e as velocidades de circulação dos ventos, uma vez que os edifícios se constituem em obstruções severas à passagem dos ventos. Neste caso, diferentes aspectos dos edifícios e de suas implantações são relevantes: porte em planta e altura das edificações, espaçamentos entre os edifícios (recuos laterais), alinhamento entre os edifícios (variação dos recuos frontais), orientação da disposição dos edifícios e das vias frente à direção predominante dos ventos.

Neste caso, nitidamente o modelo do Ipiranga foi o modelo mais suscetível e permissivo à circulação dos ventos, permitindo velocidades de ventos que chegam a ser o dobro de outros modelos. Seu comportamento é seguido pelo Mirandópolis, também com maiores velocidades de circulação dos ventos, depois por Moema, e, por fim, República e Itaim Bibi.

No caso, no Ipiranga, no receptor médio, as velocidades dos ventos variaram de cerca de 1,5 m/s a 1,6 m/s, no Mirandópolis a variação foi entre 1,4 e 1,6 m/s. Estes valores resultam, na Escala de Olgay (FROTA e SCHIFFER, 2001), em sensações entre os “primeiros efeitos de incômodo” e “muito incômodo”.

No entanto, como abordado em outras situações, o vento também é benéfico à retirada de calor dos espaços, maximizando o efeito de convecção forçada e, assim, melhorando, no caso de calor, os valores de Temperatura Equivalente Percebida.

O modelo de Moema, apresentou velocidades entre 1,1 e 1,3 m/s, também na faixa dos “primeiros efeitos de incômodo”. República entre 0,7 e 1,0 m/s e Itaim Bibi entre 0,6 e 1,0 m/s, ambos predominantemente na faixa de “vento agradável, porém, com os primeiros efeitos na sensação”. Isto significa que, atentando-se especificamente à Velocidade do Ar no ponto médio de cada modelo, República e Itaim Bibi foram os que apresentaram melhor desempenho quando avaliados pela Escala de Olgay (FROTA e SCHIFFER, 2001), especificamente quanto à sensibilidade do pedestre ao vento enquanto fator de incômodo, mas ignorando os efeitos térmicos do vento nas condições microclimáticas do espaço.

Entretanto, como dito, a circulação do vento pelo modelo impacta drasticamente as condições de Temperatura do Ar (Tar), Temperatura Radiante Média (TRM) e Temperatura Equivalente Percebida (TEP), sendo que, a maior velocidade de vento permite e maior retirada de calor pelo efeito de convecção, o que tem se mostrado benéfico em alguns dos modelos em parte do dia, considerando que o estudo está focando em um dia essencialmente quente, típico de um verão intenso.

Como visto na avaliação das temperaturas de ar, a circulação do vento também auxilia a ditar a direção na qual ocorre a variação da temperatura, pela própria convecção forçada e pelo carregamento da massa de ar e das partículas nela suspensas, o aumento e a queda de temperatura nos modelos simulados ocorreram ambas conforme a direção dos ventos.

12.5.1. Mapas horários: período da tarde (12/12 às 15h e às 18h)

Figura 133 – Modelo 1 - Mirandópolis –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 134 – Modelo 1 - Mirandópolis –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 135 – Modelo 2 - Ipiranga –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 136 – Modelo 2 - Ipiranga –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 137 – Modelo 3 - Moema –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 138 – Modelo 3 - Moema –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 139 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 140 – Modelo 4 - Itaim Bibi –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Figura 141 – Modelo 5 - República –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 15h

Figura 142 – Modelo 5 - República –Velocidade do Ar dia 12/12/2018 às 18h

Como pode-se perceber pelos mapas apresentados, há pouca variação na Velocidade do Ar nos espaços dos modelos ao longo dos horários da simulação. Foram apresentados somente os mapas dos horários das 15h e 18h para comparação, mas para todos os demais horários, os resultados foram similares, com pequenas variações irrelevantes da velocidade de circulação do vento em função do equilíbrio calculado com as demais variações térmicas.

De forma universal, em todos os modelos se percebe uma maior velocidade de circulação dos ventos nas vias que possuem orientação sudeste-noroeste, que é o sentido de incidência do vento nos modelos (ventos advindos de sudeste). Percebe-se, inclusive, como já apontado anteriormente, que os segmentos dos modelos onde há maior velocidade de circulação dos ventos coincidem com os espaços com maiores temperaturas de ar no período diurno, vivenciando um aquecimento mais rápido ao longo do dia.

Vias com orientação sudoeste-nordeste, são aproximadamente perpendiculares ao sentido de incidência dos ventos e, por esta razão, apresentam as menores velocidades de ventos, especialmente nos modelos de Itaim Bibi e República, onde as edificações criam maiores barreiras aos ventos. O modelo do Ipiranga, com vias nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste, foi aquele que apresentou maior homogeneidade de velocidades de vento.

As maiores velocidades de vento ocorreram sempre, em todos os modelos, nas bordas, com uma redução para o interior das vias, sendo que, como dito, as vias no sentido sudeste-noroeste são aquelas que apresentam as maiores velocidades de ventos ao longo de todo o período de simulação. No modelo do Mirandópolis, as vias com maiores velocidades de vento foram a Rua das Rosas (maior velocidade) e a Rua das Orquídeas (onde está o ponto central), variando de 1,2 a 2,4 m/s, sendo que nas outras vias, os ventos chegaram no máximo a 1,4 m/s.

No Ipiranga, com maior homogeneidade entre as ruas, devido ao traçado norte-sul e Leste-Oeste das vias, as velocidades variaram entre 0,7 e 2,0 m/s. Em Moema, as vias sudeste-noroeste variaram de 1,4 a 2,5 m/s e as vias sudoeste-nordeste variaram de 0,3 a 1,3 m/s. No Itaim Bibi, as velocidades foram se reduzindo entre as três vias paralelas com direção aproximada Leste-Oeste por ordem de incidência dos ventos, sendo a via sul de 0,6 a 1,8 m/s, a via central de 0,6 a 1,0 m/s e a via norte de 0,3 a 0,9 m/s. Na República, por fim, nas estreitas vias houve maior homogeneidade, com velocidades entre 0,4 e 1,7 m/s.

12.6. TEMPERATURA EQUIVALENTE PERCEBIDA

12.6.1. Receptores médios (nos cruzamentos mais centrais dos modelos)

Gráfico 68 - Receptores médios - Temperatura Equivalente Percebida

O gráfico da Temperatura Equivalente Percebida é bastante expressivo e carrega consigo uma série de informações que auxiliam a compreender o espaço com relação à sensibilidade do pedestre. Em primeira instância, percebemos que a resposta da TEP é diretamente proporcional e completamente influenciada pela Temperatura Radiante Média, apresentando o gráfico, inclusive, no mesmo formato. Isto indica que a percepção térmica do espaço pelo pedestre está sendo predominantemente impactada pela sensação quanto à radiação incidente de todas as superfícies de entorno, céu e insolação direta, além, é claro, das demais variáveis térmicas microclimáticas.

Para esta análise está sendo adotado o cálculo da Temperatura Equivalente Percebida a partir da Temperatura do Ar, da Temperatura Radiante Média, da Umidade Relativa e da Velocidade do Ar de acordo com a equação a seguir:

Equação 10 - TEP (Temperatura Equivalente Percebida) (MONTEIRO, 2018)

$$TEP = -3,777 + 0,4828 \cdot Tar + 0,5172 \cdot TRM + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot Var$$

Todos os modelos apresentam suas mínimas às 3h do dia 12/12/2018, na primeira noite de simulação, atingindo 15,8°C no Ipiranga, 18,3°C no Itaim Bibi, 15,9°C no Mirandópolis, 17,3°C em Moema e 18,3°C na República. Neste horário, em termos de faixa de percepção térmica, todos os modelos se enquadraram na faixa de “Pouco Calor” da escala do TEP. Nota-se que há uma diferença de até 2,5°C entre os modelos neste horário, sendo que fica nítido que os modelos de Mirandópolis e Ipiranga apresentaram as condições noturnas mais amenas de calor, enquanto que Itaim Bibi e República, os modelos mais verticalizados e com maior massa construída, foram os que reteram maior calor à noite.

Considerando que o gráfico da TEP evidenciou tamanho impacto da TRM, associa-se esta diferença tão grande principalmente à maior TRM obtida nestes espaços no ambiente noturno. República, neste caso, se destaca ainda pela geometria mais característica de cânion urbano, onde há maior retenção da radiação emitida pelas massas edificadas.

A partir das 6h do dia 12/12, notamos que, no período da manhã, assim como no caso da TRM, Ipiranga e Mirandópolis apresentam o crescimento mais rápido da TEP, evidenciando que estes são os modelos cujos espaços urbanos abertos estão mais suscetíveis às variações horárias diurnas das condições térmicas. Isto ocorre principalmente pela maior exposição dos espaços abertos ao céu e à insolação, o que é evidente no maior FVC e nos menores fatores H/W, bem como pela menor altura das edificações, o que, além de tudo, permite a circulação de ventos com maiores velocidades na altura da escala do pedestre, tornando o ambiente mais suscetível às trocas de calor por convecção natural e por convecção forçada pelo vento.

Apesar de sofrer um aquecimento dos espaços mais lento no início da manhã, os modelos do Itaim Bibi e de Moema, passam por um intenso e rápido aquecimento às 8h30 e às 9h10 respectivamente, quando, neste ponto, passa-se a ter a maior incidência de radiação solar direta. Antes disso o ponto estava sombreado. Os picos de temperatura da manhã e da tarde, são, inclusive, maiores nestes dois modelos do que nos demais. Estes aumentos abruptos da TEP no meio da manhã verificados nos modelos do Itaim Bibi, de Moema e da República estão

relacionados com os aumentos abruptos da TRM nos modelos, que, por sua vez, estão relacionados a momentos em que o ponto do receptor se encontra sombreado, isto é, obstruído à insolação direta, ou se encontra desobstruído e exposto à radiação solar direta. Além disso, durante a manhã próximo a este horário, estes pontos também experimentam um aumento muito rápido da radiação de onda curta refletida do hemisfério superior, isto é, das superfícies das edificações e do céu. De maneira análoga, porém oposta, se justifica a queda abrupta da TEP no meio da tarde nestes pontos.

Sendo assim, nota-se que por volta das 10h20, quase todos os modelos tiveram o pico de TEP máxima do período, sendo no Ipiranga 43,8°C, no Itaim Bibi 44,7°C, no Mirandópolis 43,8°C, em Moema 44,2°C. Percebe-se que no Itaim Bibi atingiu-se a temperatura mais alta do período da manhã, seguido por Moema e então por Ipiranga e Mirandópolis. Ainda assim, há uma diferença bastante expressiva de 0,5°C entre Itaim Bibi e Moema e de praticamente 0,9°C para Ipiranga e Mirandópolis. Todos se encontraram na faixa “Muito Calor”, faixa mais extrema no sentido do calor, na escala de interpretação da TEP.

O pico da TEP do período da manhã do modelo da República, no entanto, veio pouco depois, às 10h30 com 42,5°C, correspondendo à faixa de “Calor” na escala de interpretação da TEP. O valor foi o mais baixo dentre todos os modelos. A diferença com relação ao modelo do Itaim Bibi foi de 2,2°C, bastante relevante, de cerca de 1,7°C para Moema e de cerca de 1,3°C para os modelos do Ipiranga e Mirandópolis. Ou seja, durante a manhã, o modelo da República foi o que proporcionou condições de seus espaços urbanos abertos termicamente mais amenas, isto é, menos quentes, o que decorre essencialmente do sombreamento proporcionado pelas edificações. Existem formas mais eficazes e agradáveis de proporcionar igual efeito em áreas mais abertas e com edificações mais afastadas, como com o sombreamento de árvores ou coberturas de pequenos equipamentos urbanos, por exemplo.

Da mesma forma que com o gráfico da TRM, há uma redução da sensação de calor às 12h, com uma aproximação de todos os gráficos, o que ocorre principalmente pela redução da radiação de onda curta refletida do hemisfério superior, isto é, das superfícies das edificações e do céu, neste horário. Ainda assim, há uma diferença relevante entre os modelos neste horário: Ipiranga registrou 40,6°C, Itaim Bibi 41,5°C, Mirandópolis 40,7°C, Moema 40,9°C e República 40,3°C. Ou seja, se manteve uma diferença aproximada de 1,0°C entre Itaim Bibi e

Ipiranga, mas houve uma leve aproximação com os demais, sendo 0,9°C a diferença para o Mirandópolis e de 1,3°C para a República. A diferença entre Moema e Itaim Bibi aumentou para 0,6°C, visto que Moema experimentou um resfriamento maior neste horário.

Rapidamente, no entanto, as temperaturas sobem novamente durante a tarde, de forma intensa, seguindo o aumento da Temperatura do Ar, redução da Umidade Relativa e aumento da Temperatura Radiante Média. Neste período, os modelos do Itaim Bibi e da República se destacam ainda mais pelo descolamento com relação aos demais gráficos: o Itaim Bibi porque sofre um aquecimento maior do que os demais e o da República porque sofre um resfriamento mais rápido e mais intenso do que os demais durante a tarde.

A República enfrenta sua máxima às 13h00 com 44,6°C e, após, como descrito, verifica uma abrupta queda da TEP e depois sua queda gradual de forma intensa até às 18h00, momento em que passa novamente a ser um modelo mais quente do que os demais. A temperatura máxima de 44,6°C às 13h corresponde à faixa de “Muito Calor” da escala de avaliação da TEP, a faixa mais extrema no sentido do calor. A queda abrupta no período da tarde, como explicado, está associada essencialmente ao grande sombreamento e mascaramento de céu oferecido pelas edificações que se dispõe em um cânion urbano muito intensificado, com baixíssimo valor de FVC e altíssimo valor de H/W.

Os outros modelos apresentaram suas máximas entre 14h50 e 15h20, sendo Ipiranga com 49,8°C às 15h00, Itaim Bibi com 50,9°C às 15h10, Mirandópolis com 50,0°C às 15h10 e às 15h20 e Moema com 50,0°C às 14h50. Todos correspondem à faixa de “Muito Calor” da escala de avaliação da TEP, a faixa mais extrema no sentido do calor. O deslocamento do modelo do Itaim em relação aos demais fica ainda mais evidente das 14h20 às 16h00 quando o modelo apresentou TEP superior a 50°C, enquanto que nenhum outro modelo sequer atingiu esta marca, com exceção do único horário, 14h50, quando se deu a máxima de Moema, 50,0°C. Após, há novamente uma grande diferença entre os modelos, a máxima do Itaim Bibi foi 1,0°C maior que a do Ipiranga, 0,9°C que a do Mirandópolis, 0,8°C que a de Moema e 6,2°C que a máxima da República. De fato, neste mesmo horário, entre 14h50 e 15h20, o modelo da República apresentou valores de TEP entre 35,15°C e 36,01°C, na escala de “Calor” da escala de interpretação da TEP, ou seja, valores que ficaram entre 13,8°C e 15,7°C inferiores que os outros modelos, uma diferença entre 27,7% e 30,9%, muito grande e muito perceptível.

Nota-se que, para um mesmo horário, a diferença máxima de temperatura entre os modelos ocorreu às 16h10, quando o modelo mais quente, mais uma vez o Itaim Bibi, apresentou TEP igual a 50,0°C, “Muito Calor”, e o modelo mais frio, mais uma vez o da República, apresentou TEP igual a 33,3°C, “Pouco Calor”, representando uma diferença de 16,7°C, o que chega a 50% da TEP deste horário. Nota-se que neste mesmo horário, os modelos do Mirandópolis e de Moema apresentavam já respectivamente 34,8°C, isto é, apresentava já valores de TEP muito inferiores, decorrentes do sombreamento ocasionado pelas edificações.

Isto nos faz perceber, que, no período da manhã, Ipiranga e Mirandópolis apresentaram o aumento mais paulatino e gradual, ainda que rápido e intenso, da TRM e da TEP, enquanto Itaim Bibi, Moema e República, apresentaram crescimentos lineares em parte da manhã e depois experimentaram crescimentos abruptos da TRM e da TEP em função da obstrução e da exposição ao sol no ponto de análise. Enquanto isso, no período da tarde, o decréscimo mais paulatino da TRM e da TEP foi no Ipiranga e no Itaim Bibi, sendo que, um decréscimo abrupto pode ser visto em Moema, República e Mirandópolis. No Mirandópolis, este decréscimo abrupto é surpreendente visto ao traçado mais horizontal das edificações e pouco sombreamento ocasionado pelas mesmas sobre a via na maior parte dos horários do dia. Como pode ser visto nos subcapítulos anteriores, uma rápida queda da radiação direta incidente no ponto central do Mirandópolis aproximadamente às 16h, horário em que há a queda abrupta da TRM e da TEP. O mesmo ocorre em Moema.

Vale lembrar que estes efeitos também estão relacionados à variação da Temperatura do Ar, que entre 15h e 16h30 em todos os modelos é negativa, isto é, há queda da Temperatura do Ar, e, então, há um breve período de aumento entre 16h30 e 17h00, e, após, há queda até o final da simulação. Por fim, após às 18h, vemos novamente uma aproximação entre os modelos do Ipiranga e do Mirandópolis, e, surpreendentemente entre os modelos de Itaim Bibi e República. O modelo mais quente do período noturno é o do Itaim Bibi, assim como na noite anterior, junto com o da República, para o qual as diferenças são mínimas. O modelo mais ameno é o do Ipiranga, seguido de Mirandópolis, para o qual as diferenças são pequenas, e seguido de Moema, intermediário entre todos.

Para exemplificar, à 00h00 do dia 13/12, Ipiranga apresentava 19,9°C, Itaim Bibi 23,1°C, Mirandópolis 20,3°C, Moema 21,8°C e República 22,8°C, todos na faixa da “Neutralidade” da

escala de avaliação da TEP, a faixa central entre frio e calor. Ainda assim, pode-se perceber uma diferença grande de 3,2°C entre Itaim Bibi e Ipiranga, de 2,9°C entre República e Ipiranga. Mesmo entre Moema e Ipiranga a diferença foi 0,9°C e do Mirandópolis para o Ipiranga foi de 0,5°C. Ao fim da madrugada, após todas as trocas de calor noturnas e antes do início do dia, às 6h do dia 13/12, o Ipiranga apresentou 18,3°C, Itaim Bibi 21,7°C, Mirandópolis 18,8°C, Moema 20,3°C e República 21,5°C. Isto é, Ipiranga e Mirandópolis na faixa do “Pouco Frio” e os demais na faixa da “Neutralidade”. A diferença de TEP se acentuou, correspondendo a 3,4°C, 0,4°C, 2,0°C e 3,2°C. Estas diferenças são muito relevantes e sensíveis na percepção do pedestre.

O Ipiranga foi, de fato, o modelo que apresentou melhor desempenho quanto à TEP. O bom desempenho do Ipiranga se justifica por uma série de fatores: distribuição das edificações mais altas no terreno, grande variabilidade de alturas das edificações, distribuindo edifícios mais altos e mais baixos e, com isso, permitindo melhor circulação dos ventos para a retirada de calor, traçado viário regular e quadrangular, com vias nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste que permitem uma circulação mais eficiente dos ventos advindos de sudeste. Além disso, a alternância das alturas e distribuições das edificações no Ipiranga permite também uma alternância nas condições de insolação e sombreamento.

Vale lembrar que a boa circulação dos ventos torna o ambiente mais suscetível também às variações da Temperatura do Ar, pelos efeitos da convecção forçada principalmente, o que auxilia na retirada de calor e, por consequência, no período noturno com condições mais amenas. Além disso, a própria incidência do vento sobre a pessoa, com velocidade adequada, auxilia na melhoria da percepção térmica do espaço, o que fica evidente na colocação da variável da Velocidade do Ar na equação da TEP.

Alguns dos modelos não foram tão permissivos à circulação do ar, contribuindo para um desempenho térmico pior, especialmente no período noturno. Este foi o caso do Itaim Bibi, que apresentou as condições mais quentes tanto no período noturno quanto no período diurno, e o caso da República, que, junto com o Itaim Bibi, apresentou as condições mais quentes no período noturno. Em ambos os casos, vemos que há uma baixa velocidade de circulação dos ventos, inferior a 1,0 m/s no receptor médio em quase todo o dia. Esta similaridade ajuda a justificar o desempenho similar entre os dois modelos no período noturno.

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS

13.1. CONCLUSÕES

A execução das simulações permitiu o cumprimento dos objetivos do trabalho: foi possível verificar, a partir dos modelos estudados, o impacto da morfologia urbana nas condições microclimáticas urbanas na cidade em dias quentes na escala do pedestre. Para isso, este trabalho buscou fazer uso de fatores quantitativos do ambiente urbano que buscam caracterizar aspectos geométricos e morfológicos do espaço que são essencialmente qualitativos. São índices como fator H/W (razão entre altura das edificações e largura do cânion urbano), Fator de Visão de Céu, fator H/Aproj (razão entre altura e área de projeção da edificação), e também outros valores para análise como faixas de alturas de edificações, de áreas de projeção, de taxas de ocupação e coeficiente de aproveitamento.

Algumas características urbanísticas foram muito próximas entre os modelos: a Taxa de Ocupação é muito similar, variando de 54% (Itaim Bibi) a 67% (Moema), enquanto que as condições de asfalto e concreto são igualmente muito semelhantes: aproximadamente 15% de superfície de asfalto em todos os modelos frente a aproximadamente 85% de superfície de pavimento de concreto, contanto calçadas e interior das quadras, inclusive sob os edifícios.

Como há características muito similares, em termos urbanísticos, entre os modelos, um primeiro ponto que ficou nítido neste trabalho é que não é possível analisar criticamente o efeito da morfologia urbana de um segmento de cidade caracterizando-o por um único parâmetro urbanístico ou um só aspecto geométrico da cidade. É necessário analisar o trecho de cidade sob a ótica de um conjunto de valores de diferentes aspectos que podem ser utilizados para caracterizar o espaço urbano.

Alguns parâmetros urbanísticos primários mostram já a grande diferença entre os modelos. Por exemplo, apesar da taxa de ocupação muito próxima, há uma área construída muito diferente entre os modelos, o que pode ser visto pela volumetria construída muito variada entre eles: República com 3,5 milhões de m³, Itaim Bibi com 1,7 milhões de m³, Moema

com 1,7 milhões de m³, Ipiranga com 1 milhão de m³, e Mirandópolis com 550 mil m³. Isto traz uma grande diferença entre os modelos no que diz respeito ao Coeficiente de Aproveitamento estimado: República com 7,65, Itaim Bibi com 4,00, Moema com 3,94, Ipiranga com 2,48 e Mirandópolis com 1,43. Esta gradação de coeficiente de aproveitamento de cada modelo expõe exatamente a ordem de crescimento da densidade construída e da complexidade dos modelos que se explicou tanto neste trabalho, comparando os efeitos microclimáticos que este importante parâmetro morfológico impõe sobre o meio urbano. O coeficiente de aproveitamento, em uma situação de taxa de ocupação similar, ajuda a compreender o quanto as edificações são mais verticalizadas e quanto mais o modelo é adensado.

Assim, é necessário averiguar muitos outros parâmetros urbanísticos. Por exemplo, diversas pesquisas do setor fazem uso do fator H/W (razão entre altura das edificações e largura do cânion urbano) para caracterizar a geometria do espaço urbano, enquanto que outros fazem uso do Fator de Visão de Céu. O ideal, no entanto, é que a comparação entre os espaços seja feita por meio de ambos os fatores e ainda de outras características do ambiente que podem ser quantificadas. Por exemplo, para este trabalho, foram utilizadas faixas de variação do fator H/W e do Fator de Visão de Céu de cada modelo, uma vez que o traçado urbano irregular da cidade de São Paulo com vias que variam suas larguras e com edificações que variam em alturas, espaçamentos, recuos e dimensões em planta, é impossível atribuir um único valor de FVC ou de H/W a uma região, e mesmo a atribuição de um valor médio se torna uma distorção pouco representativa da realidade.

Neste caso, o Fator H/W marcou de forma muito evidente a diferença nítida do modelo de Mirandópolis, enquanto modelo puramente horizontal, com baixíssima verticalização, pois teve um fator H/W muito inferior aos demais, mas, registrou baixa diferença entre os demais modelos. No sentido transversal às vias, perpendicular às edificações, o fator H/W frontal, esteve entre 0,1 a 1,0 no Mirandópolis, entre 0,1 e 3,7 em Moema, entre 0,1 e 5,1 no Ipiranga, entre 0,1 e 4,7 na República e entre 0,1 e 5,0 no Itaim Bibi.

O FVC, por sua vez, denotou enorme diferença entre os modelos. Ficou muito evidente como os modelos de Mirandópolis e Ipiranga oferecem muito maior exposição ao céu nos diversos pontos do modelo, enquanto que o modelo da República oferece grande obstrução e mascaramento de céu ao longo de todas as suas vias e, de forma mediana, Itaim Bibi e Moema

apresentam grande variabilidade entre trechos expostos e trechos mascarados nas vias. O FVC ficou entre 0,45 e 0,89 no Mirandópolis, entre 0,30 e 0,83 no Ipiranga, entre 0,28 e 0,62 em Moema, entre 0,24 e 0,64 no Itaim Bibi e entre 0,08 e 0,33 na República.

Foram utilizados ainda para caracterizar as geometrias dos modelos a altura média das edificações e a distribuição da área edificada por faixas de altura, bem como o desvio padrão das alturas dos edifícios permitiu averiguar a variabilidade das alturas de edificações de uma mesma região (quanto menor o desvio padrão, mais padronizada a altura das edificações, e, quanto maior, maior a variabilidade). Esta complexa verificação das alturas das edificações é feita de forma estatística e registra os diferentes aspectos do perfil de edifícios que se pode comparar entre os modelos. A altura mínima de edifícios não diz muito comparativamente a respeito dos modelos, uma vez que em todos a altura mínima foi de 3m, ou seja, 1 pavimento. A altura máxima de edifícios seguiu a seguinte ordem entre os modelos: República (125m), Itaim Bibi (89m), Ipiranga (76m), Moema (74m) e Mirandópolis (53m).

A altura média das edificações, por sua vez, já diz muito, expondo a gradação de densidade construída e complexidade que se busca nesse trabalho: República (37m), Itaim Bibi (19m), Moema (17m), Ipiranga (10m) e Mirandópolis (5m). O desvio padrão das alturas, por sua vez, expressa a variabilidade das alturas dos edifícios: quanto maior o desvio padrão, maior a variabilidade de alturas. Neste perfil de modelos, vemos que Moema apresenta a maior variabilidade de alturas e Mirandópolis a menor, sendo a seguinte gradação: Moema (21m), Itaim Bibi (20m), República (18m), Ipiranga (14m) e Mirandópolis (4m).

A verificação das áreas de projeção das edificações por média e por percentuais de áreas ocupadas por faixas de tamanhos permite compreender o tamanho das edificações em planta e o quanto diferem entre si. As informações de área de projeção e altura das edificações permite checar ainda a Taxa de Ocupação, a volumetria construída, o número estimado de pavimentos dos edifícios e um coeficiente de aproveitamento estimado da área. Ainda com às alturas dos edifícios dos modelos, foi traçado para cada modelo um perfil de alturas dos edifícios, demarcando claramente a gradação do crescimento da verticalização dos modelos na seguinte ordem: Mirandópolis com 80% das edificações com 6m de altura ou menos e 15% com até 12m, Ipiranga com cerca de 60% das edificações com 6m de altura ou menos, e cerca de 30% com até 12m, tendo cerca de 10% com até 70m, Moema com mais de 65% das

edificações com 6m de altura ou menos, mas com cerca de 25% entre 30m e 70m, Itaim Bibi com 55% das edificações com 6m de altura ou menos, mas com 40% com altura entre 30m e 70m, e República com cerca de 50% das edificações com altura entre 30m e 70m, mas ainda assim com 45% com até 30m.

Foi criado ainda um índice, o fator H/Aproj (razão entre altura e área de projeção da edificação) para caracterizar a geometria de cada edifício sob a ótica da sua relação entre altura e área em planta, e, com isso, caracterizar o perfil de geometria das edificações de um determinado segmento da cidade, isto é, a ocupação da região em termos de edificações mais verticalizadas ou mais horizontais. O fator H/Aproj mostra de forma muito clara o perfil das edificações dos diferentes modelos, deixando nítido quantitativamente o que caracteriza os modelos de forma qualitativa: Mirandópolis, com baixa verticalização e edificações pequenas e baixas, apresentou 63% da área de edifícios com H/Aproj até 0,05 e 35% entre 0,05 e 0,25; Ipiranga, com muitos edifícios pequenos e baixos e alguns edifícios grandes e baixos e algumas torres, apresentou 70% dos edifícios com H/Aproj até 0,05 e 26% entre 0,05 e 0,25; Moema, com grande variabilidade de alturas de edifícios, com muitas torres, apresentou 69% até 0,05 e 28% entre 0,05 e 0,25; Itaim Bibi, com muitas torres, apresentou 58% até 0,05 e 41% entre 0,05 e 0,25; e República, por fim, com muitos edifícios altos com grandes dimensões em planta, apresentou 27% até 0,05 e 57% entre 0,05 e 0,25.

Este fator, H/Aproj, apenas complementa a verificação da área de projeção dos edifícios, feita de forma estatística para os diferentes modelos: no Mirandópolis 75% da área ocupada foi por edifícios com até 200 m² e 21% com até 500 m², em Moema quase 60% foi de edifícios entre 200 e 1000 m², no Ipiranga 40% com edifícios de até 200 m² e 40% entre 200 e 1000 m², na República 25% de edifícios com até 200 m² e mais de 60% entre 200 e 1000 m², e no Itaim Bibi mais de 70% com edifícios entre 200 e 1000 m².

Há ainda a verificação da orientação das vias, muito impactante na condução dos ventos e permeabilidade à sua passagem pelos modelos e muito relevante ao acesso à luz solar nos espaços dos modelos. Neste caso, Mirandópolis teve vias nos sentidos norte-sul, sudeste-noroeste e sudoeste-nordeste, Ipiranga teve vias nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste, Moema teve vias nos sentidos sudeste-noroeste e sudoeste-nordeste, Itaim Bibi teve vias

exclusivamente no sentido Leste-Oeste e República teve vias irregulares aproximadamente nas direções sudeste-noroeste e sudoeste-nordeste.

Por fim, um último fator urbanístico foi utilizado para comparar os modelos, como decorrência direta dos fatores anteriores, complementarmente ao FVC, à orientação das vias e ao fator H/W. Este fator é o acesso à luz do sol, que, neste caso, demarca nos espaços urbanos abertos, na escala do pedestre, a uma altura de 1,50m com relação ao solo, o número de horas de insolação direta obtido em cada ponto em um determinado dia do ano, neste caso em 11/12. Em ordem decrescente de acesso à luz solar, vemos: entre 9,5 e 12,2 horas no Mirandópolis, entre 7,0 e 12,2 horas no Ipiranga, entre 6,8 e 12,2 horas no Itaim Bibi, entre 4,2 e 6,8 horas em Moema e entre 0,2 e 9,5 horas na República.

Sendo assim, em função da variabilidade de geometrias e tipologias de edificações em uma mesma região e pela infinidade de possibilidades de composições geométricas urbanas, é necessário se atentar a diversos índices e fatores que podem tornar comparáveis de forma quantitativa aspectos da geometria urbana que, em sua essência, são qualitativos.

Por exemplo, áreas com mesma Taxa de Ocupação, mesma volumetria, podem apresentar aspectos geométricos e morfológicos completamente diferentes, variando em área construída, em volumetria, em fator de visão de céu, etc., conforme variam as dimensões das edificações em altura e em planta, os números de edificações, seus espaçamentos e recuos, etc. Quando se mantém fixa uma mesma variável e se estressa as diferenças entre as demais, é possível encontrar traçados urbanos totalmente diferentes, o que pode ser visto, inclusive, na comparação entre os modelos deste trabalho, onde há modelos que se assemelham entre si em termos de taxa de ocupação, área construída e/ou volumetria construída, etc.

Basicamente o que se pôde perceber nesse trabalho é que as condições morfológicas do espaço urbano trazem diversos efeitos na forma como as condições térmicas se manifestam nos ambientes. Seus impactos principais são na maneira como o espaço urbano cria condições de maior permeabilidade ou obstrução à exposição ao céu e ao sol e à passagem e circulação dos ventos. Além disso, as massas construídas, em maior ou menor densidade, alteram ainda a emissão de radiação de onda longa no período noturno, bem como a forma da geometria

urbana pode aumentar ou reduzir a reflexão de radiação pelos edifícios e pelas superfícies ou o efeito de “aprisionamento” de calor, típico dos cânions urbanos.

Com isso, a morfologia urbana é capaz de alterar o balanço térmico dos espaços urbanos abertos e, como ficou comprovado por este trabalho, é capaz de alterar as condições microclimáticas destes ambientes, ao passo de que altera a quantidade de radiação solar incidente recebida pelos diferentes pontos do espaço, altera a quantidade de radiação difusa e refletida recebida pelo espaço, inclusive no período noturno, altera a velocidade de passagem dos ventos nos espaços e, por consequência, altera a Temperatura do Ar, a Temperatura Radiante Média, a temperatura de globo, a Umidade Relativa e, junto, quaisquer índices de conforto térmico que se possa utilizar para avaliar o espaço.

Os modelos com menor verticalização, menor volume construído e maiores valores de fator de visão de céu foram os que apresentaram as maiores temperaturas do período diurno, com um aquecimento que ocorre de forma mais rápida pois os espaços abertos são mais expostos à insolação direta, permitindo o maior aquecimento de superfícies e consequente aumento da Temperatura do Ar por radiação direta e refletida. Ao mesmo tempo, o modelo mais adensado foi o que apresentou a menor temperatura durante o dia, justamente por sua configuração que maximiza o efeito de cânion urbano, com edificações altas geminadas entre si, ocasionando maior sombreamento dos espaços urbanos abertos.

Ainda que se tenha percebido que a configuração urbana teve impacto pequeno na Temperatura do Ar no período noturno e no início da manhã e que haja uma pequena diferença de temperaturas entre os modelos no período noturno, à noite, os modelos mais verticalizados e com maior volumetria construtiva apresentam as maiores temperaturas, 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 ao longo de todo o período noturno.

Durante o dia, houve uma diferença máxima de temperatura de aproximadamente 1,5°C entre os modelos menos e mais adensados. Vemos, portanto, que, ao longo do dia, as temperaturas do ar variam de forma diferencial entre os modelos e entre os diferentes espaços de um mesmo modelo, o que se deve às diferentes condições de exposição ao sol e sombreamento, à permeabilidade ao vento e ao calor acumulado, emitido e refletido pelas

massas construídas. Mesmo dentro de um mesmo modelo pode haver grandes diferenças de Temperatura do Ar entre os diferentes espaços.

Quanto menos adensados os modelos, mais responsivos são às variações diurnas e noturnas de temperatura, sendo mais suscetíveis, com maior e mais rápido aumento de temperatura, durante o dia devido à maior exposição à radiação solar direta na maior parte dos espaços, e também mais suscetíveis durante a noite, com maior e mais rápida perda de temperatura, devido à menor emissão de radiação de onda longa pela menor quantidade de calor acumulado pelas massas construídas, menos volumosas, durante o dia.

Além disso, os modelos com menor variabilidade de alturas foram os que apresentaram maior homogeneidade das temperaturas do ar em todos os horários. Em modelos com maior variabilidade de alturas, em alguns horários, vemos que diferença de temperatura entre diferentes trechos do modelo chega a 3,3°C.

A maior variabilidade de alturas e tipologias de edificações também ocasiona condições diferenciais de sombreamento e exposição ao sol em diferentes horários, bem como zonas de baixa e alta pressão, que permitem a criação de áreas com maiores ou menores velocidades de ventos, permitindo maior variabilidade das condições térmicas dos espaços urbanos abertos. Com isso, as maiores diferenças de resposta entre os modelos dizem respeito às diferentes condições de exposição à insolação, do sombreamento e da radiação emitida pelas edificações, analisadas sob a ótica da TRM, uma das principais variáveis para compreender as diferenças entre os modelos, cuja diferença máxima chega a 2,2°C entre os modelos.

É natural ainda que o posicionamento e a geometria das edificações alterem as direções e as velocidades de circulação dos ventos. Neste caso, diferentes aspectos dos edifícios e de suas implantações são relevantes: porte em planta e altura das edificações, espaçamentos entre os edifícios (recuos laterais), alinhamento entre os edifícios (variação dos recuos frontais), orientação da disposição dos edifícios e das vias frente à direção predominante dos ventos. Nitidamente os modelos com maiores espaçamentos entre edificações e com maiores variabilidades de alturas foram os mais suscetíveis e permissivos à circulação dos ventos, permitindo velocidades de ventos que chegam a ser o dobro de outros modelos.

Vale lembrar que a boa circulação dos ventos torna o ambiente mais suscetível também às variações da Temperatura do Ar, pelos efeitos da convecção forçada principalmente, o que auxilia na retirada de calor e, por consequência, no período noturno com condições mais amenas. Assim, a circulação do vento impacta as condições de Temperatura do Ar (Tar), Temperatura Radiante Média (TRM) e Temperatura Equivalente Percebida (TEP), sendo que, a maior velocidade de vento permite e maior retirada de calor pelo efeito de convecção, o que tem se mostrado benéfico em alguns dos modelos em parte do dia, considerando que o estudo está focando em um dia essencialmente quente, típico de um verão intenso.

Seguindo a lógica das avaliações da Temperatura do Ar, da Temperatura Radiante Média e dos ventos, a análise da Temperatura Equivalente Percebida é igualmente pertinente para o entendimento do comportamento térmico dos modelos morfológicos urbanos. A resposta da TEP é proporcional e muito influenciada pela Temperatura Radiante Média, o que indica que a percepção térmica do espaço pelo pedestre é predominantemente impactada pela sensação quanto à radiação incidente das superfícies de entorno, céu e insolação direta, além, é claro, das demais variáveis térmicas microclimáticas.

Há uma diferença de até 2,5°C nos valores de TEP entre os modelos, sendo que fica nítido que os modelos menos adensados apresentaram as condições noturnas mais amenas de calor, enquanto que os modelos mais verticalizados e com maior massa construída, foram os que reteram maior calor à noite. O Ipiranga foi, de fato, o modelo que apresentou melhor desempenho quanto à TEP, o que se justifica por uma série de fatores: distribuição das edificações mais altas no terreno, grande variabilidade de alturas das edificações, com edifícios mais altos e mais baixos e, com isso, permitindo melhor circulação dos ventos para a retirada de calor, traçado viário regular e quadrangular, com vias nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste que permitem uma circulação mais eficiente dos ventos advindos de sudeste. Além disso, a alternância das alturas e distribuições das edificações no Ipiranga permite também uma alternância nas condições de insolação e sombreamento.

Cabe então como uma das conclusões deste trabalho que, sob a ótica dos ventos advindos da direção sudeste, predominantes na cidade de São Paulo, a orientação de vias nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste formando quadras quadrangulares regulares foi a que apresentou melhor desempenho do ponto de vista de permeabilidade à circulação dos ventos,

permitindo uma melhor distribuição dos ventos e maior (mas controlada) Velocidade do Ar nas vias.

Desta maneira, como este trabalho comprovou, a geometria escolhida para o ambiente urbano gera impactos relevantes na ambiência térmica da cidade, gerando impactos na percepção do espaço pelo pedestre, bem como no input térmico que o ambiente externo tem sobre os edifícios. A Tabela 26 traz um resumo dos resultados encontrados neste trabalho, com uma síntese de aspectos morfológicos urbanos estudados e seus efeitos microclimáticos evidenciados pelas simulações.

Tabela 26 - Resumo de aspectos morfológicos urbanos e seus efeitos microclimáticos

ASPECTO MORFOLÓGICO	AUMENTO OU REDUÇÃO	PARÂMETROS URBANÍSTICOS ASSOCIADOS	EFEITOS IDENTIFICADOS
VOLUMETRIA E DENSIDADE CONSTRUÍDA	↑		Menor suscetibilidade às variações térmicas diárias, com menor amplitude térmica.
		Área Total Construída (↑)	Menor quantidade de espaços sombreados com mascaramento de céu e obstrução à exposição ao céu e ao sol, com menor quantidade de radiação solar direta nos espaços.
		CA (↑)	Menor quantidade de radiação emitida pelas superfícies e edificações (onda longa) no período noturno devido ao maior acúmulo de calor pelas massas construídas.
		TO (↑)	
		Volume Total Construído (↑)	Menor permeabilidade à passagem dos ventos, com menores velocidades.
		FVC (↓)	Menores valores de temperatura de ar, Temperatura Radiante Média, radiação incidente e Temperatura Equivalente Percebida no período diurno.
		Fator H/W (↓)	Maiores valores de temperatura de ar, Temperatura Radiante Média, radiação incidente e Temperatura Equivalente Percebida no período noturno.
	↓		Menor suscetibilidade às variações térmicas diárias, com maior amplitude térmica.
		FVC (↑)	Menor quantidade de espaços expostos ao céu e ao sol, com maior quantidade de radiação solar direta nos espaços.
		Fator H/W (↑)	
		Área Total Construída (↓)	Menor quantidade de radiação emitida pelas superfícies e edificações (onda longa) no período noturno.
		CA (↓)	Menor permeabilidade à passagem dos ventos, com maiores velocidades.
		TO (↓)	
		Volume Total Construído (↓)	Maiores valores de temperatura de ar, Temperatura Radiante Média, radiação incidente e Temperatura Equivalente Percebida no período diurno.

ASPECTO MORGOLÓGICO	AUMENTO OU REDUÇÃO	PARÂMETROS URBANÍSTICOS ASSOCIADOS	EFEITOS IDENTIFICADOS
			Menores valores de temperatura de ar, Temperatura Radiante Média, radiação incidente e Temperatura Equivalente Percebida no período noturno.
VERTICALIZAÇÃO	↑	Altura máxima dos edifícios (↑)	Aumento do sombreamento sobre os espaços urbanos abertos.
		Altura média dos edifícios (↑)	Maior heterogeneidade de condições de Temperatura do Ar, insolação e radiação.
		Fator H/Aproj (↑)	Maior efeito de cânion urbano, com efeitos de canalização de ventos, aprisionamento de calor, etc.
		Fator H/W (↑)	Criação de zonas de alta e baixa pressão que beneficiam a circulação diferencial de ventos entre os espaços, que auxilia a retirada de calor.
		Perfil de alturas dos edifícios (↑)	
	↓	Perfil de áreas de projeção (↓)	Sombreamento dos edifícios uns sobre os outros.
		Perfil de áreas de projeção (↑)	Aumento das áreas com acesso desobstruído ao sol e ao céu.
		Altura máxima dos edifícios (↓)	Maior homogeneidade de condições de Temperatura do Ar, insolação e radiação.
		Altura média dos edifícios (↓)	Maiores velocidades de ventos a menores alturas.
		Fator H/Aproj (↓)	Menos obstáculos à passagem dos ventos e ao acesso ao sol.
VARIABILIDADE DE ALTURAS DAS EDIFICAÇÕES	↑	Fator H/W (↓)	Maior insolação generalizada dos espaços abertos, das coberturas e fachadas das edificações.
		Perfil de alturas dos edifícios (↓)	
	↓	Desvio padrão das alturas (↑)	Criação de áreas de insolação e áreas de sombreamento nos diferentes espaços urbanos.
		Perfil de alturas dos edifícios (-)	Maior heterogeneidade de condições de Temperatura do Ar, insolação e radiação.
			Redução dos efeitos de cânion urbano, reduzindo 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.
	↓	Perfil de alturas dos edifícios (-)	Padronização da condição de insolação e sombreamento dos espaços, seja para a insolação, seja para o sombreamento.
		Desvio padrão das alturas (↓)	Maior homogeneidade de condições de Temperatura do Ar, insolação e radiação.
			Em caso de edificações altas, maximização dos efeitos de cânions urbanos.

ASPECTO MORGOLÓGICO	AUMENTO OU REDUÇÃO	PARÂMETROS URBANÍSTICOS ASSOCIADOS	EFEITOS IDENTIFICADOS
			Circulação mais rápida e unidirecional 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.
LARGURAS DAS VIAS E AFASTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES	↑	Fator de Visão de Céu (↑) Recuos (↑)	Criação de áreas de insolação e áreas de sombreamento nos diferentes espaços urbanos.
			Maior heterogeneidade de condições de Temperatura do Ar, insolação e radiação, majoritariamente maiores no período diurno e menores no período noturno.
		Fator H/W (↓) Alinhamento frontal (↓)	Redução dos efeitos de cânion urbano, reduzindo efeitos de canalização de ventos, aprisionamento de calor, etc.
			Maior 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.
			Maior sombreamento dos espaços urbanos abertos.
		Fator H/W (↑) Alinhamento frontal (↑)	Maior homogeneidade de condições de Temperatura do Ar, insolação e radiação, majoritariamente mais baixas no período diurno e mais altas no período noturno.
		Fator de Visão de Céu (↓) Recuos (↓)	Em caso de edificações altas, maximização dos efeitos de cânions urbanos.
			Circulação mais rápida e unidirecional dos ventos, que pouco variam de direção, altura e velocidade, canalizados nos cânions urbanos, com maior probabilidade de gerar velocidades de ventos que causem desconforto.

13.2. DESDOBRAMENTOS FUTUROS

As conclusões deste trabalho trazem importantes conhecimentos que podem nutrir um processo melhor de planejamento urbano e de ordenamento do crescimento urbano futuro de distritos de nossas cidades, embasando medidas que possam permitir um melhor desempenho térmico ambiental nos dias quentes, sobretudo no cenário de mudança climática global, que prevê uma acentuação dos dias quentes de verão em São Paulo e em boa parte do Brasil, com um aumento paulatino das temperaturas mínimas, médias e máximas ao longo do Século XXI.

Dando continuidade à esta pesquisa, um dos caminhos é analisar demais modelos de tipologias e morfologias urbanas, visando a confirmação e a quantificação dos resultados

encontrados neste trabalho. Ao mesmo tempo, a análise de outros modelos e, mesmo em outras situações climáticas, pode permitir conhecer de forma mais precisa a intrínseca relação, que neste trabalho se comprovou existir, compartilhada entre a morfologia urbana e as condições microclimáticas do ambiente da cidade.

Sugere-se várias vertentes de pesquisa que poderiam ser sucessoras deste trabalho, como a investigação do impacto da morfologia urbana sobre as condições de circulação e Velocidade do Ar nas cidades e os respectivos impactos na variação de Temperatura do Ar nos ambientes urbanos abertos, ou como a análise do impacto da morfologia urbana sobre as condições de sombreamento e exposição ao céu e à insolação dos espaços urbanos abertos, bem como essa alternância de ambiente exposto e ambiente com céu obstruído tem na condição térmica da cidade.

Além disso, pode-se propor uma análise apura que visa quantificar os efeitos térmicos percebidos na cidade em função da variação de índices urbanísticos como volumetria construída, coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, e os impactos mútuos desses com fatores tipicamente nativos das análises térmicas do espaço, como fator de visão de céu, fator H/W, entre outros.

Sendo assim, em trabalhos futuros, a contribuição científica desta pesquisa pode nutrir a busca pela caracterização de soluções de planejamento urbano para a ordenação do crescimento de futuros empreendimentos e a quantificação de seus impactos térmicos microclimáticos no espaço urbano aberto e, por consequência, as conclusões encontradas podem se desdobrar em diretrizes de planejamento urbano que auxiliem na composição de códigos de obras e de edificações, planos diretores de municípios e planejamentos de bairros, que permitam o melhor desempenho térmico do ambiente urbano, contribuindo para uma cidade com melhores condições de habitabilidade e de vida, com condições térmicas melhores para os espaços abertos e para os edifícios, e mais resilientes aos cenários futuros de agravamento dos fenômenos de aquecimento urbano e das situações climáticas extremas.

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-2013 - Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37120 – Desenvolvimento Sustentável de Comunidades - Indicadores para Serviços Urbanos e Qualidade de Vida**. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
4. ALUCCI, M. P. **TAO - Uma Metodologia para Implantação de Edificação. Ênfase no Desempenho Térmico, Acústico, Luminoso e Energético**. São Paulo: Tese de Livre Docência. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2007.
5. AMARAL, R. D. **Morfologia Urbana - Conceitos e Aplicações**. SEGETH DF - Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação do Distrito Federal. Brasília. 2017.
6. AMORIM, F. P.; TANGARI, V. Estudo Tipológico sobre a Forma Urbana - Conceitos e Aplicações. **Paisagem Ambiente - Ensaio**, São Paulo, n. 22, 2006. 61-73.
7. ANDREAS MATZARAKIS; BAS AMELUNG. Chapter 9 - Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. In: (EDS.), M. C. T. E. A. **Seasonal Forecasts - Climatic Change and Human Health**. [S.l.]: Springer Science + Business Media B.V., 2008.
8. ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**. Macquarie University; University of California. Sydney, Berkeley. 1997.
9. ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Tullie Circle: ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004.
10. ASSIS, E. S. **Impacto da Forma Urbana na Mudança Climática - Método para Previsão do Comportamento Térmico e Melhoria do Desempenho do Ambiente Urbano**. São Paulo: Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2000.
11. 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.
12. BŁĄŻEJCZYK, K. et al. An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **Geographia Polonica**, Warsaw, Volume 86, n. Issue 1, 2013. 5-10.
13. BAKER, N. **We are all Outdoor Animals**. 17th PLEA International Conference - Architecture City Environment: Proceedings of PLEA 2000, Cambridge, UK 2-5 July 2000. Cambridge: Routledge / Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge. 2000. p. 553-555.
14. BARBOSA, A. **Urbanismo Bioclimático - Efeitos do Desenho Urbano na Sensação Térmica**. São Carlos: Tese de Doutorado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU USP), 2018.
15. BETTENCOURT, L. C. F. A. A Morfologia Urbana da Cidade do Funchal e os seus espaços públicos estruturantes. **Malha Urbana**, n. 10, 2010. 25-53.
16. BRANCO, L. M. B. C. **Microclimas Urbanos no Plano Piloto de Brasília - O caso da Superquadra 108 Sul**. Brasília: Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UnB), 2009.

17. BRANDÃO, R. S. **As Interações Espaciais Urbanas e o Clima**. São Paulo: Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2009.
18. BRIDI, A. M. Adaptação e Aclimação Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia - Journal Animal Science**, Londrina, 29 novembro 2014.
19. BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. **MICROCLIMATIC LANDSCAPE DESIGN - CREATING THERMAL COMFORT AND ENERGY EFFICIENCY**. Nova York: John Wiley & Sons Inc., 1995.
20. BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environment Modelling & Software**, Bochum, 13 n. 3, 1 outubro 1998. 373-384.
21. CAMBIAGHI, S. S. **Desenho Universal: Métodos e Técnicas de Ensino na Graduação de Arquitetos e Urbanistas**. São Paulo: Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2004.
22. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2011.
23. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **BlackGlobe Temperature Sensor for Heat Stress**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2014.
24. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **CR800 Series Measurement and Control Datalogger**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2014.
25. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **WindSonic1 and WindSonic4 2D Ultrasonic Anemometers**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2014.
26. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **Campbell Scientific Software Overview**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2015.
27. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **Protective Glass Dome and Solar Shield Compatible with most Campbell Scientific dataloggers**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2015.
28. CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **Solar Radiation Shields For Temperature and Temperature/Relative Humidity Sensors**. Logan, UT: Campbell Scientific, Inc., 2015.
29. CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. Study of thermal comfort in the City of São Paulo using ENVI-met model. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM**, Cidade do México, Núm. 78, 27 outubro 2011. 34-47.
30. CESAD FAU USP. CESADWEB FAU USP. **Website do CESADWEB FAU USP**, 2019. Disponível em: <<http://www.cesadweb.fau.usp.br/>>. Acesso em: 19 agosto 2019.
31. CHAPPELLS, H.; SHOVE, E. **COMFORT - A review of philosophies and paradigms**. Londres: UK Economic and Social Research Council (ESRC) Environment and Human Behaviour programme, 2004. ISBN Grant Number: RES-221-25-0005.
32. CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. **Elsevier Cities**, Hong Kong, n. Cities 29 (2012), p. 118-125, Setembro 2011.
33. COHEN, B. Smart City Index Master Indicators Survey. **Smart City Index Master Indicators Survey**, 2014. Disponível em: <<http://smartcitiescouncil.com/resources/smart-city-index-master-indicators-survey>>. Acesso em: 30 julho 2017.
34. CONTARDI, M. **Soluções Urbanas Inovadoras e Financiamento de Smart Cities**. São Paulo: FGV Projetos, 2014.
35. CORBELL, Y. **Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável Para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Revan, 2009.
36. COSTA, S. S. F. **Relação entre o traçado urbano e os edifícios modernos no centro de São Paulo, Arquitetura e Cidade (1938-1960)**. São Paulo: Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2010.

37. COUTINHO, A. S. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambiente de Trabalho**. 2ª Edição. ed. João Pessoa: Editora Universitária, 2005.
38. DRYVIT. Conforto Térmico - DRYVIT. **DRYVIT**, 2007. Disponível em: <<http://www.dryvit.pt/confortotermico.htm>>. Acesso em: 11 maio 2020.
39. DUARTE, D. H. S. O Clima Urbano e o Ambiente Construído. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
40. DUARTE, D. H. S. **O Impacto da Vegetação no Microclima em Cidades Adensadas e seu Papel na Adaptação aos Fenômenos de Aquecimento Urbano – Contribuições a uma Abordagem Interdisciplinar**. São Paulo: Tese de Livre Docência. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2015.
41. DUARTE, D. H. S. **Informação Verbal. AUT 5842 - Mudanças Climáticas (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo)**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2018.
42. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **A blanket around the Earth**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/causes/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
43. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **Images of Change - Arctic sea-ice coverage hits record low**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=623#623-arctic-sea-ice-coverage-hits-record-low>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
44. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **Climate Time Machine**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
45. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **How climate is changing**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/effects/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
46. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **Images of Change - Heat wave turns Europe brown**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=657#657-heat-wave-turns-europe-brown>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
47. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **Climate change - How do we know?**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/evidence/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
48. EARTH SCIENCE COMMUNICATIONS TEAM AT NASA'S JET PROPULSION LABORATORY | CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. NASA - Global Climate Change - Vital Signs of the Planet. **Scientific consensus - Earth's climate is warming**, 2018. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
49. EMMANUEL, M. R. **An Urban Approach to Climate-Sensitive Design. Strategies for the Tropics**. Nova York: Spon, 2005.
50. EMMANUEL, M. R. **Urban climate challenges in the Tropics: Rethinking Planning and Design Opportunities**. Londres: Imperial College Press, 2015.
51. ENVI_MET GMBH. ENVI-met V4.3 Quickstart. **ENVI-met Decoding Urban Nature**, Essen, 2017. Disponível em: <http://envi-met.info/public/files/docs/getting_started_4_3.pdf>. Acesso em: 14 outubro 2018.
52. ENVI_MET GMBH. **ENVI_MET**, 2018. Disponível em: <<https://www.envi-met.com/>>. Acesso em: 28 dezembro 2018.

53. ENVI_MET GMBH. ENVI-met Model Architecture. **ENVI-met - A holistic microclimate model (ENVI-met website)**, 2018. Disponível em: <<http://www.envi-met.net/hg2e/doku.php?id=intro:modelconcept>>. Acesso em: 14 outubro 2018.
54. EUROPEAN SMART CITIES. **Modelo Smart Cities 4.0**, 2015. Disponível em: <<http://www.smart-cities.eu/?cid=2&ver=4>>. Acesso em: 15 junho 2018.
55. FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇA DO CLIMA. **Fórum Brasileiro de Mudança do Clima**, 2018. Disponível em: <<https://www.fbmc.com.br/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
56. FAU USP, ESALQ USP E IGOT LISBOA. **Tutorial para Iniciantes - Software ENVI-met versão 3.1**. São Paulo, São Carlos e Lisboa: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP); Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo (ESALQ USP); Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa (IGOT), 2014.
57. FREITAS, R. **O que Conforto?** Anais do VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC/ELACAC). Maceió, Alagoas, Brasil: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Outubro 2005.
58. FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.
59. FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do Conforto Térmico**. 5ª Edição. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. ISBN 85-85445-39-4.
60. FUNDAÇÃO VANZOLINI, EM COOPERAÇÃO COM CERTIVÉA E GROUPE CSTB. **Processo AQUA - Construção Sustentável – Referencial Técnico de Certificação – Bairros e Loteamentos – Setembro de 2011**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2011.
61. G1 SP. São Paulo tem o segundo janeiro mais quente dos últimos 76 anos, diz Inmet. **G1 SP**, 31 janeiro 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/01/31/sao-paulo-tem-o-segundo-janeiro-mais-quente-dos-ultimos-76-anos-diz-inmet.ghtml>>. Acesso em: 1 fevereiro 2019.
62. 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.
63. GEHL, J. **Cidades para Pessoas**. 2ª Edição. ed. São Paulo: Perspectiva, 2014.
64. GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Los Angeles: John Wiley & Sons, 1998.
65. GIVONI, B. **Thermal sensation responses in hot, humid climates: effects of humidity**. Los Angeles: Department of Architecture - University of California, Los Angeles (UCLA), 2007.
66. GOVERNMENT OF INDIA. **India Smart Cities Mission**, 2016. Disponível em: <<http://smartcities.gov.in/content/>>. Acesso em: 15 junho 2018.
67. GROUP OF MICROMETEOROLOGY. Itutinga Platform (MCity Brazil Project). **GROUP OF MICROMETEOROLOGY Developing researches**, 2019. Disponível em: <http://www.labmicro.iag.usp.br/Data/data_ITU.html>. Acesso em: 12 maio 2020.
68. 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.
69. HAWKINS, E. Climate Lab Book - Open Climate Science. **Warming Stripes**, 2018. Disponível em: <<http://www.climate-lab-book.ac.uk/2018/warming-stripes/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
70. HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do Índice de Conforto Térmico: Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para espaços abertos no Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado. Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2010.
71. HOBO DATA LOGGERS. **Solar Radiation Shield, Unassembled (RS1) Manual**. Bourne, MA: Onset Computer Corporation, 2016.

72. HONJO, T. Thermal Comfort in Outdoor Environment. **Faculty of Horticulture at Chiba University, Japan**, Chiba, 23 março 2009. 43-47.
73. HUTTNER, S.; BRUSE, M. **Numerical Modeling of the Urban Climate - A Preview on ENVI-met 4.0**. The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. Mainz: Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz, Germany. 2009.
74. HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. **Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg**, Freiburg im Breisgau, Nr. 18, outubro 2008. 307-312.
75. IAG/USP. Estação Meteorológica - IAG/USP. **Estação Meteorológica - IAG/USP**, 2020. Disponível em: <<http://www.estacao.iag.usp.br/contatos.php>>. Acesso em: dez. maio.
76. IBM - INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION. IBM Smarter Cities Challenge. **IBM Smarter Cities Challenge**, 2017. Disponível em: <<https://www.smartercitieschallenge.org/>>. Acesso em: 15 junho 2018.
77. INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática. **INMET - Instituto Nacional de Meteorologia**, 2020. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 12 maio 2020.
78. INMETRO. ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS - ANEXO DA PORTARIA INMETRO No 50/ 2013 - Atualizado em 27/11/2017. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior / Inmetro, 2017.
79. IPCC. **IPCC, 2013 - Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Reino Unido e Nova York, EUA: Cambridge University Press, 2013.
80. 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.
81. ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **ISO 7730:2005 - Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Genebra: ISO (International Organization for Standardization), 2005. ISBN Reference number ISO 7730:2005(E).
82. 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.
83. KOMNINOS, N. **Intelligent Cities - Innovation, knowledge systems and digital spaces**. Nova York: Routledge, 2002.
84. KRÜGER, E. L. et al. Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiological Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. **SciELO - Ambiente Construído**, Porto Alegre, 18, n. 3, julho/setembro 2018.
85. 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.
86. LA EGERHAZI; KOVACS, A.; TAKACS, A. Comparison of the Results of Two Microclimatological Models and Measurements. **Acta Climatologica et Chorologica**, Tomus, 47-48, 2014. 33-41.
87. LAMAS, J. **Morfologia Urbana e Desenho da Cidade**. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian e Fundação para a Ciência e a Tecnologia, 2004.
88. LAMBERTS, R. Desempenho Térmico de edificações Aula 2: Conforto Térmico. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade de Santa Catarina (UFSC)**, 2016. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV%205161%20Aula%202%20-%20Conforto%20termico.pdf>>. Acesso em: 12 janeiro 2019.

89. LAMBERTS, R. et al. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LABEEE - Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Civil, 2017.
90. LEITE, C.; AWAD, J. C. M. **Cidades Sustentáveis, Cidades Inteligentes - Desenvolvimento Sustentável num Planeta Urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012.
91. LIMA, I. M.; BARBIRATO, G. M. **Avaliação Térmica de Vias Urbanas em Maceió / AL visando a criação de espaços climaticamente adequados a pedestres**. 2016 Pluris - 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - Contrastes, Contradições e Complexidades - Maceió - Brasil, 05 a 07 de Outubro de 2016. Maceió: [s.n.]. 2016.
92. LIU, Z.; ZHENG, S.; ZHAO, L. Evaluation of the ENVI-Met Vegetation Model of Four Common Tree Species in a Subtropical Hot-Humid Area. **Atmosphere**, Guangzhou, 9, 21 maio 2018.
93. LUIZ, L. A. **Avaliação, sob o enfoque ergonômico, de edifícios modernistas construídos em São Paulo entre 1930 e 1964 - Áreas Externas**. São Paulo: Relatório Final de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2016.
94. LUIZ, L. A. et al. **Ergonomia e o Conforto Integrado no Espaço Urbano Paulistano - Um Estudo de Caso**. XV ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído) e XI ELACAC (Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído) - 2019. João Pessoa: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2019.
95. LUIZ, L. A.; NOVAES, G. B. A. **Urban External Space in Brazilian Modernist Architecture under the focus of Pedestrian Environmental Comfort**. Proceedings of 33rd PLEA International Conference - Design to Thrive Edinburgh - 2th-5th July 2017. Edimburgo: NCEUB 2017 - Network for Comfort and Energy Use in Buildings. 2017. p. 1195-1202.
96. LUIZ, L. A.; NOVAES, G. B. A. Ergonomia como Conforto Ambiental Integrado no Espaço Urbano. In: MOLFARTH, R. C. K. (Livro em Produção) **Repensando a Ergonomia - do edifício ao espaço urbano**. São Paulo: LTC – LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS EDITORA LTDA. Integrante do GEN|Grupo Editorial Nacional, 2020.
97. MACIEL, C. D. R. **Condições Microclimáticas de Espaços Abertos - Simulação de Estratégias por meio do Software ENVI-met**. Cuiabá: Tese de Doutorado. Instituto de Física da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), 2014.
98. MESQUITA, A. L. S. **Engenharia de ventilação**. São Paulo: Edgar Blucher, 1977.
99. 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.
100. MINELLA, F. O.; KRÜGER, E. L. IMPACTOS DA GEOMETRIA URBANA NO MICROCLIMA. **ResearchGate**, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265750178_IMPACTOS_DA_GEOMETRIA_URBANA_NO_MICROCLIMA>. Acesso em: 24 agosto 2019.
101. MONTEIRO, L. M. **Modelos Preditivos de Conforto Térmico - Quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. São Paulo: Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2008.
102. MONTEIRO, L. M. Ambiente Construído. **Modelo Adaptativo de Conforto para Avaliação In Loco de Espaços Urbanos Abertos**, 12, 2012. 61-79.
103. 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.
104. MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **CINCO 2010 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável**. Conforto térmico em espaços urbanos - o caso da cidade de São Paulo, Brasil. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro. 2010.

105. MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Conforto térmico em espaços urbanos - o caso da cidade de São Paulo, Brasil**. CINCOS 2010 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro. 2010.
106. MONTEIRO, L. M.; IWAI, D. N.; NOVAES, G. A. **Avaliação Empírico-Preditiva em Espaços Urbanos - Correlação entre Sensação Térmica e Sonora**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Avanços no desempenho das construções - pesquisa, inovação e capacitação profissional (ENTAC 2014). Maceió: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2014. p. 33-42.
107. MORGAN, J. Forbes. **A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things'**, 2014. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/#4fdc31566828>>. Acesso em: 15 junho 2018.
108. MULFARTH, R. C. K. **Proposta Metodológica para Avaliação Ergonômica do Ambiente Urbano - A inserção da Ergonomia no Ambiente Construído**. São Paulo: Tese de Livre-Docência. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2017.
109. MULFARTH, R. C. K. et al. **Diagnóstico ambiental de espaços urbanos para desenvolvimento de projetos de microacessibilidade no entorno do Rio Pinheiros**. EMBARQ Brasil. São Paulo. 2014.
110. NAKATA, C. M.; SOUZA, L. C. L.; FARIA, J. R. G. Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano. **Ação Ergonômica - Revista Brasileira de Ergonomia**, 5, n. 2, 2010.
111. NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 16, n. Num. 3, julho/setembro 2016.
112. NEW YORK CITY DEPARTMENTS OF CITY PLANNING, DESIGN AND CONSTRUCTION AND MENTAL HYGIENE AND TRANSPORTATION. **Active Design Guidelines - Promoting Physical Activity and Health in Design**. Nova York: New York City, 2010.
113. NICOL, F. Thermal Comfort - The Underlying Process. In: NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptive Thermal Comfort - Principles and Practice**. Londres: Earthscan from Routledge, 2012.
114. NICOL, F.; HUMPHREYS, M. A. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. **ASHRAE Transactions**, Londres, Janeiro 1998.
115. NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptative thermal comfort - principles and practice**. Londres: Routledge, 2012.
116. NIKOLOPOULOU, M. **Designing open spaces in the urban environment - a bioclimatic approach**. Atenas: CRES - Centre for Energy Resources, Department of Buildings, 2004.
117. NOVAES, G. A. **Estresse e Conforto Acústico do Pedestre em São Paulo**. São Paulo: Relatório de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2012.
118. NOVAES, G. A. **Estresse e Conforto Urbano do Pedestre em São Paulo – Térmica e Acústica**. São Paulo: Relatório de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2013.
119. NOVAES, G. A. **Conforto Termoacústico do Pedestre em São Paulo e Influência de Outras Variáveis Ambientais**. São Paulo: Relatório de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2015.
120. NOVAES, G. A.; ALUCCI, M. P.; MONTEIRO, L. M. **Estresse e Conforto Acústico do Pedestre em São Paulo**. XII ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído) e VIII ELACAC (Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído) - Brasília - Setembro de 2013. Brasília: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2013.
121. NOVAES, G. A.; MONTEIRO, L. M. **Estresse e Conforto Urbano do Pedestre em São Paulo**. XIII ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído) e IX ELACAC (Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído) - Campinas - 2015. Campinas: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2015.

122. NOVAES, G. B. A. **Abordagem de Princípios de Cidades Inteligentes e Sustentáveis em Intervenções Urbanas no Brasil**. São Paulo: Trabalho Final de Graduação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), 2017.
123. NOVAES, G. B. A. **Simulações Computacionais Numéricas de Condições Microclimáticas no Espaço Urbano Aberto com o Software ENVI-met**. São Paulo: Trabalho monográfico apresentado como parte dos requisitos para o Exame de Qualificação com o objetivo de obtenção do título de Mestre. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2019.
124. NOVAES, G. B. A. et al. **Estudo de Caso - Avaliação Ergonômica como Conforto Ambiental integrado em São Paulo**. II Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana (SINGEUB 2019). São Paulo: II Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana (SINGEUB). 2019.
125. 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.
126. ONSET COMPUTER CORPORATION. **Onset HOBO Data Loggers - HOBOWare® Pro Growing Degree Days Assistant User's Guide**. Bourne, MA: Onset Computer Corporation, 2013.
127. ONSET COMPUTER CORPORATION. **Onset HOBO Data Loggers**. Bourne, MA: Onset Computer Corporation, 2015.
128. ONSET COMPUTER CORPORATION. **OnSet HOBO Data Loggers - HOBOWare® User's Guide**. Bourne, MA: Onset Computer Corporation, 2015.
129. PANHAM, A. M.; MENDES, L. S.; BREDÁ, G. D. **Construindo Cidades Inteligentes**. Curitiba: Editora Appris, 2016.
130. PARTICIPANTS AT THE IPCC CITIES AND CLIMATE CHANGE SCIENCE CONFERENCE. **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. 2 p.
131. PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas e Cidades - Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. COPPE. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 116. 2016. (ISBN: 978-85-285-0344-9).
132. PIRES, A. C. **Determinação da Influência do Tipo e Cor do Tecido da Vestimenta no Conforto Térmico**. Formiga: Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Formiga - UNIFOR - MG, 2017.
133. POTSDAM INSTITUTE FOR CLIMATE IMPACT RESEARCH. Open Climate Data. **Climate Spirals**, 2017. Disponível em: <<http://openclimatedata.net/climate-spirals/from-emissions-to-global-warming/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
134. PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Programa Passeio Livre da Prefeitura de São Paulo**. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2014.
135. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Mapa Digital da Cidade 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.
136. RADFAR, M. Urban Microclimate, Designing the Spaces Between Buildings. **Housing Studies**, Londres, v. 27:2, p. 293-294, Outubro 2011. ISSN DOI: 10.1080/02673037.2011.615987.
137. REGO, R. L.; MENEGUETTI, K. S. A respeito de morfologia urbana. Tópicos básicos para estudos da forma da cidade. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, 33, n. 2, 2011. 123-127.
138. ROGERS, R.; GUMUCHDJAN, P. **Cidades para um Pequeno Planeta**. São Paulo: Gustavo Gili, 2001.
139. ROSHEIDAT, A.; HOFFMAN, D.; BRYAN, H. **Visualizing Pedestrian Comfort Using ENVI-met**. SimBuild 2008. Third National Conference of IBPSA-USA. Berkeley, California. Berkeley, California: SimBuild 2008. 2008. p. 198-205.

140. ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. **SciELO - Ambiente Construído**, Porto Alegre, 12, n. 1, janeiro/março 2012.
141. SÃO PAULO TURISMO. Clima. **São Paulo - Viva tudo isso**. Disponível em: <<http://cidadedesaopaulo.com/v2/planeje/guia-pratico/?lang=pt>>. Acesso em: 26 setembro 2019.
142. SANTOS, R. M. D. **Morfologia Urbana e Conforto Térmico - O clima urbano e as modificações introduzidas pela urbanização**. AUP 0823 - Seminário de Integração (2º Semestre, 2004). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP). São Paulo. 2004.
143. SCHMID, A. L. **A Ideia de Conforto - Reflexões sobre o Ambiente Construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.
144. SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo - 2017**. São Paulo: Seção Técnica de Serviços Meteorológicos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 2018.
145. SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS – INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP - 2017**. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 77. 2017. (ISSN 1415-4374).
146. 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.
147. 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.
148. 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.
149. SHINZATO, P. **Informação verbal. Palestra sobre o ENVI-met v4 no LABAUT, FAU USP, em 31 de Outubro de 2018**. São Paulo: LABAUT - FAU USP, 2018.
150. SIRQUEIRA, C. A. D. **Estudo Microclimático de Recortes Urbanos Vegetados em Belo Horizonte - MG, através da Modelagem Micrometeorológica**. Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado. Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2014.
151. TALEGHANI, M. et al. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. **Elsevier - Building and Environment**, Delft, 83, 2015. 65-78.
152. TERRA - CLIMATEMPO. Dezembro foi o mês mais quente de 2018 em São Paulo. **Terra**, 31 dezembro 2018. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/climatempo/dezembro-foi-o-mes-mais-quente-de-2018-em-sao-paulo,c4058fe6e0159d47702bec922fd9a017kzoj7qc1.html>>. Acesso em: 1 fevereiro 2019.
153. TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil - Banco de Dados Solarimétricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.
154. UN ENVIRONMENT; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Status Report 2017. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector**. United Nations Environment Programme. [S.l.], p. 48. 2017. (ISBN No.: 978-92-807-3686-1).
155. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS - POPULATION DIVISION. United Nations - Department of Economic and Social Affairs - Population Division. **World Urbanization Prospects 2018**, 2018. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
156. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Graphs - World Population Prospects 2017 - Demographic Profiles**, 2017.

- Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
157. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Urbanization Prospects 2018 – World’s largest cities**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/world-urbanization-prospects-2018-worlds-largest-cities>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 158. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Urbanization Prospects 2018 – Urbanization around the world**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/world-urbanization-prospects-2018-urbanization-around-the-world>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 159. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Urbanization Prospects 2018 – Sustainable urbanization brings opportunities**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/world-urbanization-prospects-2018-sustainable-urbanization-brings-opportunities>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 160. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Urbanization Prospects 2018 – Our future is urban**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/world-urbanization-prospects-2018-our-future-is-urban>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 161. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Urbanization Prospects 2018 – More megacities in the future**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/world-urbanization-prospects-2018-more-megacities-in-the-future>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 162. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Population Prospects – 2017 Revision - Global population**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/wpp2017-global-population>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 163. UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. United Nations - Department of Economic and Social Affairs. **Infographics - World Population Prospects – 2017 Revision - Ageing population**, 2017. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/wpp2017-ageing-population>>. Acesso em: 18 novembro 2018.
 164. URBAN HUB. Cuidando dos microclimas urbanos com um melhor design e maior eficiência energética. **Urban Hub - Pessoas dando Forma às Cidades**, 4 janeiro 2019. Disponível em: <http://www.urban-hub.com/pt-br/energy_efficiency/repensando-o-uso-dos-microclimas-urbanos/>. Acesso em: 12 agosto 2019.
 165. VILLAROUÇO, V. **Identificação de parâmetros para concepção de espaços ergonomicamente adequados à habitação social**. Anais do 5º Ergodesign - 5º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia - Produtos, Programa, Informação e Ambiente Construído. Rio de Janeiro: Laboratório de Ergodesign e Usabilidade de Interfaces (LEUI) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). 2005.
 166. VIRILIO, P. **O Espaço Crítico**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.
 167. WEBBER, L. URBE.ME | URBE.LAB. **Em 30 anos, a população mundial deve ultrapassar as 6 bilhões de pessoas**, 2015. Disponível em: <<https://urbe.me/lab/em-30-anos-a-populacao-urbana-mundial-deve-ultrapassar-as-6-mil-milhoes-de-pessoas/>>. Acesso em: 8 outubro 2018.
 168. WENZEL, M. Como recuperar nossas calçadas, o patinho feio do urbanismo local. **Veja São Paulo - Cidades**, 19 outubro 2018. Disponível em: <<https://vejasp.abril.com.br/cidades/calçadas-sao-paulo-problemas-especialistas/>>. Acesso em: 20 outubro 2018.
 169. WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. WMO - World Meteorological Organization. **WMO confirms 2017 among the three warmest years on record**, 18 janeiro 2018. Disponível em:

<<https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2017-among-three-warmest-years-record>>. Acesso em: 1 outubro 2018.

170. WWF BRASIL. As Mudanças Climáticas. **WWF Brasil**, 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/>. Acesso em: 20 setembro 2019.

ANEXOS

ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO CALIBRADO COM NEBULOSIDADE

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
09.12.2018	00:00:00	3,2000	0,0000	0,0000	288,1970	83,2537	2,2000	138,7000
09.12.2018	00:30:00	3,0857	0,0000	0,0000	288,1100	83,8600	2,2000	138,7000
09.12.2018	01:00:00	2,9714	0,0000	0,0000	288,0780	83,8527	2,2000	138,7000
09.12.2018	01:30:00	2,8571	0,0000	0,0000	287,9343	82,5560	2,2000	138,7000
09.12.2018	02:00:00	2,7429	0,0000	0,0000	287,6150	82,2477	2,2000	138,7000
09.12.2018	02:30:00	2,6286	0,0000	0,0000	287,4637	83,9477	2,2000	138,7000
09.12.2018	03:00:00	2,5143	0,0000	0,0000	287,2400	84,8880	2,2000	138,7000
09.12.2018	03:30:00	2,4000	0,0000	0,0000	287,0400	84,9583	2,2000	138,7000
09.12.2018	04:00:00	2,2857	0,0000	0,0000	286,9680	84,7083	2,2000	138,7000
09.12.2018	04:30:00	2,1714	0,0000	0,0000	286,8800	85,0473	2,2000	138,7000
09.12.2018	05:00:00	2,0571	0,0000	0,0000	286,7440	85,5177	2,2000	138,7000
09.12.2018	05:30:00	1,9429	0,0000	0,0000	286,6230	85,7757	2,2000	138,7000
09.12.2018	06:00:00	1,8286	0,0000	0,0000	286,5990	85,9930	2,2000	138,7000
09.12.2018	06:30:00	1,7143	0,0000	0,0000	286,6070	86,1827	2,2000	138,7000
09.12.2018	07:00:00	1,6000	0,0000	0,0000	286,7917	85,5273	2,2000	138,7000
09.12.2018	07:30:00	0,8000	0,0000	0,0000	287,6073	83,3553	2,2000	138,7000
09.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,1977	80,1947	2,2000	138,7000
09.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,8660	77,2847	2,2000	138,7000
09.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,3747	74,5783	2,2000	138,7000
09.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,8507	69,0380	2,2000	138,7000
09.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,7940	64,9597	2,2000	138,7000
09.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	292,8480	60,0020	2,2000	138,7000
09.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1107	56,0350	2,2000	138,7000
09.12.2018	11:30:00	0,4000	0,0000	0,0000	295,3360	51,8637	2,2000	138,7000
09.12.2018	12:00:00	0,8000	0,0000	0,0000	296,1580	50,4840	2,2000	138,7000
09.12.2018	12:30:00	0,8000	0,0000	0,0000	296,9593	48,3437	2,2000	138,7000
09.12.2018	13:00:00	0,8000	0,0000	0,0000	297,7310	46,5503	2,2000	138,7000
09.12.2018	13:30:00	0,8000	0,0000	0,0000	298,8213	43,0507	2,2000	138,7000
09.12.2018	14:00:00	0,8000	0,0000	0,0000	299,1137	47,4690	2,2000	138,7000
09.12.2018	14:30:00	0,8000	0,0000	0,0000	298,0933	52,2323	2,2000	138,7000
09.12.2018	15:00:00	0,8000	0,0000	0,0000	298,3277	52,5813	2,2000	138,7000
09.12.2018	15:30:00	0,4000	0,0000	0,0000	297,6823	54,5670	2,2000	138,7000
09.12.2018	16:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1517	56,1467	2,2000	138,7000
09.12.2018	16:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,6303	56,7220	2,2000	138,7000
09.12.2018	17:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,5823	56,8287	2,2000	138,7000
09.12.2018	17:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3180	58,7360	2,2000	138,7000
09.12.2018	18:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9907	59,7900	2,2000	138,7000
09.12.2018	18:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,4717	60,5753	2,2000	138,7000
09.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,9060	62,6987	2,2000	138,7000
09.12.2018	19:30:00	0,0000	0,4000	0,0000	293,9990	65,3120	2,2000	138,7000
09.12.2018	20:00:00	0,0000	0,8000	0,0000	293,1020	68,9830	2,2000	138,7000
09.12.2018	20:30:00	0,0000	2,8000	0,0000	292,3563	71,6887	2,2000	138,7000
09.12.2018	21:00:00	0,0000	4,8000	0,0000	291,9680	73,3663	2,2000	138,7000
09.12.2018	21:30:00	0,0000	2,4000	0,0000	291,7223	73,8080	2,2000	138,7000
09.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,6270	74,0957	2,2000	138,7000
09.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4290	75,0093	2,2000	138,7000
09.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,3737	75,7587	2,2000	138,7000
09.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4610	75,1210	2,2000	138,7000
10.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,5560	73,8707	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
10.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,5560	73,2580	2,2000	138,7000
10.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4687	73,6910	2,2000	138,7000
10.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,2867	75,0283	2,2000	138,7000
10.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,2310	76,1470	2,2000	138,7000
10.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,1597	77,5107	2,2000	138,7000
10.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,9933	78,8377	2,2000	138,7000
10.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,7630	80,4290	2,2000	138,7000
10.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,5573	81,5797	2,2000	138,7000
10.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,3033	83,0423	2,2000	138,7000
10.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,0893	84,4483	2,2000	138,7000
10.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,9543	85,4263	2,2000	138,7000
10.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,7797	86,6517	2,2000	138,7000
10.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,6920	87,4050	2,2000	138,7000
10.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,0737	86,3300	2,2000	138,7000
10.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	4,0000	290,6127	84,2930	2,2000	138,7000
10.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	8,0000	291,4767	81,5153	2,2000	138,7000
10.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	8,0000	292,3250	77,5810	2,2000	138,7000
10.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	8,0000	293,5067	72,6303	2,2000	138,7000
10.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	8,0000	294,8423	67,7303	2,2000	138,7000
10.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	8,0000	295,9187	63,7837	2,2000	138,7000
10.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	8,0000	297,0397	60,2093	2,2000	138,7000
10.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	8,0000	298,0370	56,9533	2,2000	138,7000
10.12.2018	11:30:00	3,2000	0,0000	4,8000	298,9263	54,4843	2,2000	138,7000
10.12.2018	12:00:00	6,4000	0,0000	1,6000	300,1070	50,5177	2,2000	138,7000
10.12.2018	12:30:00	6,4000	0,0000	0,8000	300,9430	47,7443	2,2000	138,7000
10.12.2018	13:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	301,0493	46,4720	2,2000	138,7000
10.12.2018	13:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	301,9747	41,5943	2,2000	138,7000
10.12.2018	14:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	302,5817	39,6417	2,2000	138,7000
10.12.2018	14:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	302,9490	37,3550	2,2000	138,7000
10.12.2018	15:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	303,4017	34,9740	2,2000	138,7000
10.12.2018	15:30:00	5,6000	0,0000	0,0000	304,2947	32,1673	2,2000	138,7000
10.12.2018	16:00:00	4,8000	0,0000	0,0000	304,4140	34,4017	2,2000	138,7000
10.12.2018	16:30:00	4,0000	0,0000	0,0000	303,3510	37,8860	2,2000	138,7000
10.12.2018	17:00:00	3,2000	0,0000	0,0000	302,9483	38,2700	2,2000	138,7000
10.12.2018	17:30:00	4,8000	0,0000	0,0000	302,2583	46,8967	2,2000	138,7000
10.12.2018	18:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	300,2787	56,6903	2,2000	138,7000
10.12.2018	18:30:00	6,8000	0,0000	0,0000	299,5113	56,0977	2,2000	138,7000
10.12.2018	19:00:00	7,2000	0,0000	0,0000	299,4463	56,3067	2,2000	138,7000
10.12.2018	19:30:00	7,6000	0,0000	0,0000	299,1293	59,4973	2,2000	138,7000
10.12.2018	20:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	298,7810	54,6420	2,2000	138,7000
10.12.2018	20:30:00	7,6000	0,0000	0,0000	298,5213	54,1843	2,2000	138,7000
10.12.2018	21:00:00	7,2000	0,0000	0,0000	298,1907	54,5573	2,2000	138,7000
10.12.2018	21:30:00	3,6000	0,0000	0,0000	298,0127	55,6690	2,2000	138,7000
10.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,8837	55,9627	2,2000	138,7000
10.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7227	51,6337	2,2000	138,7000
10.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,3927	52,4103	2,2000	138,7000
10.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1357	54,1243	2,2000	138,7000
11.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,8790	56,5210	2,2000	138,7000
11.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,6387	58,8057	2,2000	138,7000
11.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3820	56,4017	2,2000	138,7000
11.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,1740	54,0190	2,2000	138,7000
11.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,8627	55,5843	2,2000	138,7000
11.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,4953	57,2537	2,2000	138,7000
11.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,1047	59,1820	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
11.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,8737	60,7540	2,2000	138,7000
11.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,7147	61,5890	2,2000	138,7000
11.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,6110	62,4207	2,2000	138,7000
11.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,5553	63,6773	2,2000	138,7000
11.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,4600	66,7147	2,2000	138,7000
11.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,2933	69,0167	2,2000	138,7000
11.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,0627	70,7870	2,2000	138,7000
11.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1660	70,9233	2,2000	138,7000
11.12.2018	07:30:00	0,0000	2,4000	0,0000	294,8500	68,4750	2,2000	138,7000
11.12.2018	08:00:00	0,0000	4,8000	0,0000	295,7747	65,2680	2,2000	138,7000
11.12.2018	08:30:00	0,0000	4,4000	0,0000	297,0160	61,1867	2,2000	138,7000
11.12.2018	09:00:00	0,0000	4,0000	0,0000	297,5620	58,8333	2,2000	138,7000
11.12.2018	09:30:00	0,0000	2,8000	0,0000	298,5060	56,1800	2,2000	138,7000
11.12.2018	10:00:00	0,0000	1,6000	0,0000	299,5277	53,2213	2,2000	138,7000
11.12.2018	10:30:00	1,2000	0,8000	0,0000	300,3197	50,3030	2,2000	138,7000
11.12.2018	11:00:00	2,4000	0,0000	0,0000	301,0990	47,9483	2,2000	138,7000
11.12.2018	11:30:00	2,8000	0,0000	0,0000	302,1070	45,2860	2,2000	138,7000
11.12.2018	12:00:00	3,2000	0,0000	0,0000	302,7397	44,3443	2,2000	138,7000
11.12.2018	12:30:00	4,8000	0,0000	0,0000	303,0420	43,4230	2,2000	138,7000
11.12.2018	13:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	302,8407	41,8727	2,2000	138,7000
11.12.2018	13:30:00	6,0000	0,0000	0,0000	303,2433	41,9130	2,2000	138,7000
11.12.2018	14:00:00	5,6000	0,0000	0,0000	304,2103	39,5123	2,2000	138,7000
11.12.2018	14:30:00	6,0000	0,0000	0,0000	304,2780	39,2637	2,2000	138,7000
11.12.2018	15:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	304,3463	39,5943	2,2000	138,7000
11.12.2018	15:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	303,3927	42,5630	2,2000	138,7000
11.12.2018	16:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	303,3507	41,9730	2,2000	138,7000
11.12.2018	16:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	304,2950	38,3937	2,2000	138,7000
11.12.2018	17:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	304,2117	39,8963	2,2000	138,7000
11.12.2018	17:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	302,7407	45,2207	2,2000	138,7000
11.12.2018	18:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	301,8257	48,0517	2,2000	138,7000
11.12.2018	18:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	301,9333	46,5800	2,2000	138,7000
11.12.2018	19:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	301,1817	55,9507	2,2000	138,7000
11.12.2018	19:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	299,9763	64,0967	2,2000	138,7000
11.12.2018	20:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	299,3080	63,6103	2,2000	138,7000
11.12.2018	20:30:00	6,4000	0,0000	0,0000	299,1050	60,7233	2,2000	138,7000
11.12.2018	21:00:00	6,4000	0,0000	0,0000	298,6917	60,9220	2,2000	138,7000
11.12.2018	21:30:00	7,2000	0,0000	0,0000	298,2550	61,7967	2,2000	138,7000
11.12.2018	22:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	297,9483	59,0393	2,2000	138,7000
11.12.2018	22:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	297,5777	59,9683	2,2000	138,7000
11.12.2018	23:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	297,3283	62,6837	2,2000	138,7000
11.12.2018	23:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	297,1680	63,7023	2,2000	138,7000
12.12.2018	00:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	297,1920	60,0477	2,2000	138,7000
12.12.2018	00:30:00	7,4286	0,0000	0,0000	297,0877	60,8017	2,2000	138,7000
12.12.2018	01:00:00	6,8571	0,0000	0,0000	296,9510	62,0850	2,2000	138,7000
12.12.2018	01:30:00	6,2857	0,0000	0,0000	296,7750	61,6800	2,2000	138,7000
12.12.2018	02:00:00	5,7143	0,0000	0,0000	296,5260	61,7190	2,2000	138,7000
12.12.2018	02:30:00	5,1429	0,0000	0,0000	296,3500	57,6190	2,2000	138,7000
12.12.2018	03:00:00	4,5714	0,0000	0,0000	295,9823	56,7283	2,2000	138,7000
12.12.2018	03:30:00	4,0000	0,0000	0,0000	295,7350	60,1877	2,2000	138,7000
12.12.2018	04:00:00	3,4286	0,0000	0,0000	295,5430	62,6950	2,2000	138,7000
12.12.2018	04:30:00	2,8571	0,0000	0,0000	295,3840	64,7310	2,2000	138,7000
12.12.2018	05:00:00	2,2857	0,0000	0,0000	295,3200	65,6517	2,2000	138,7000
12.12.2018	05:30:00	1,7143	0,0000	0,0000	295,2243	66,2430	2,2000	138,7000
12.12.2018	06:00:00	1,1429	0,0000	0,0000	295,1450	66,6273	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
12.12.2018	06:30:00	0,5714	0,0000	0,0000	295,0890	67,0947	2,2000	138,7000
12.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,2003	66,8857	2,2000	138,7000
12.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,2707	63,3877	2,2000	138,7000
12.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,4573	59,5687	2,2000	138,7000
12.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,2067	57,0187	2,2000	138,7000
12.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,1133	54,5617	2,2000	138,7000
12.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,0907	51,9200	2,2000	138,7000
12.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,9510	49,5613	2,2000	138,7000
12.12.2018	10:30:00	0,4000	0,0000	0,0000	302,2740	46,8373	2,2000	138,7000
12.12.2018	11:00:00	0,8000	0,0000	0,0000	302,8483	44,0933	2,2000	138,7000
12.12.2018	11:30:00	2,8000	0,0000	0,0000	303,3010	41,9443	2,2000	138,7000
12.12.2018	12:00:00	4,8000	0,0000	0,0000	303,9060	40,3153	2,2000	138,7000
12.12.2018	12:30:00	2,8000	0,0000	0,0000	304,2527	38,9270	2,2000	138,7000
12.12.2018	13:00:00	0,8000	0,0000	0,0000	304,6597	39,2707	2,2000	138,7000
12.12.2018	13:30:00	2,4000	0,0000	0,0000	304,9237	38,8277	2,2000	138,7000
12.12.2018	14:00:00	4,0000	0,0000	0,0000	305,3687	36,5140	2,2000	138,7000
12.12.2018	14:30:00	4,8000	0,0000	0,0000	306,0050	34,7620	2,2000	138,7000
12.12.2018	15:00:00	5,6000	0,0000	0,0000	306,3420	32,1113	2,2000	138,7000
12.12.2018	15:30:00	6,8000	0,0000	0,0000	306,3937	32,8417	2,2000	138,7000
12.12.2018	16:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	306,2640	33,0240	2,2000	138,7000
12.12.2018	16:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	306,2467	32,6913	2,2000	138,7000
12.12.2018	17:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	306,6630	32,7963	2,2000	138,7000
12.12.2018	17:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	305,8327	34,1117	2,2000	138,7000
12.12.2018	18:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	305,0773	36,9817	2,2000	138,7000
12.12.2018	18:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	303,8473	44,4933	2,2000	138,7000
12.12.2018	19:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	303,1077	46,7020	2,2000	138,7000
12.12.2018	19:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	302,4900	47,1047	2,2000	138,7000
12.12.2018	20:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	301,9910	47,3140	2,2000	138,7000
12.12.2018	20:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	301,6020	47,1687	2,2000	138,7000
12.12.2018	21:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	301,1737	49,7463	2,2000	138,7000
12.12.2018	21:30:00	4,0000	4,0000	0,0000	299,9843	54,9280	2,2000	138,7000
12.12.2018	22:00:00	0,0000	8,0000	0,0000	298,8623	57,3307	2,2000	138,7000
12.12.2018	22:30:00	0,0000	6,4000	0,0000	298,5460	59,6367	2,2000	138,7000
12.12.2018	23:00:00	0,0000	4,8000	0,0000	298,3280	59,3330	2,2000	138,7000
12.12.2018	23:30:00	0,0000	4,8000	0,0000	298,2063	57,8187	2,2000	138,7000
13.12.2018	00:00:00	0,0000	4,8000	0,0000	298,4163	56,7813	2,2000	138,7000
13.12.2018	00:30:00	0,0000	4,4571	0,3429	298,3600	57,7900	2,2000	138,7000
13.12.2018	01:00:00	0,0000	4,1143	0,6857	298,1903	58,5503	2,2000	138,7000
13.12.2018	01:30:00	0,0000	3,7714	1,0286	298,0210	58,6483	2,2000	138,7000
13.12.2018	02:00:00	0,0000	3,4286	1,3714	297,9487	58,7403	2,2000	138,7000
13.12.2018	02:30:00	0,0000	3,0857	1,7143	297,6987	60,1110	2,2000	138,7000
13.12.2018	03:00:00	0,0000	2,7429	2,0571	297,5377	60,1573	2,2000	138,7000
13.12.2018	03:30:00	0,0000	2,4000	2,4000	297,3447	61,2317	2,2000	138,7000
13.12.2018	04:00:00	0,0000	2,0571	2,7429	297,0713	62,7243	2,2000	138,7000
13.12.2018	04:30:00	0,0000	1,7143	3,0857	296,7990	64,2570	2,2000	138,7000
13.12.2018	05:00:00	0,0000	1,3714	3,4286	296,5260	65,6797	2,2000	138,7000
13.12.2018	05:30:00	0,0000	1,0286	3,7714	296,4060	66,6393	2,2000	138,7000
13.12.2018	06:00:00	0,0000	0,6857	4,1143	296,2540	67,5597	2,2000	138,7000
13.12.2018	06:30:00	0,0000	0,3429	4,4571	296,0060	69,0727	2,2000	138,7000
13.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	4,8000	296,2463	68,8277	2,2000	138,7000
13.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	6,4000	297,1923	65,4107	2,2000	138,7000
13.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	8,0000	298,6923	59,7350	2,2000	138,7000
13.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	6,8000	299,0480	57,2383	2,2000	138,7000
13.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	5,6000	299,5520	54,8443	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
13.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	2,8000	300,7043	50,8437	2,2000	138,7000
13.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,0990	49,9783	2,2000	138,7000
13.12.2018	10:30:00	1,2000	0,0000	0,4000	301,6600	49,5147	2,2000	138,7000
13.12.2018	11:00:00	2,4000	0,0000	0,8000	302,3483	47,7910	2,2000	138,7000
13.12.2018	11:30:00	4,8000	0,0000	0,4000	302,9907	46,4697	2,2000	138,7000
13.12.2018	12:00:00	7,2000	0,0000	0,0000	303,7293	45,0390	2,2000	138,7000
13.12.2018	12:30:00	7,6000	0,0000	0,0000	303,9740	44,5427	2,2000	138,7000
13.12.2018	13:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	303,8473	42,3997	2,2000	138,7000
13.12.2018	13:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	304,6680	40,4520	2,2000	138,7000
13.12.2018	14:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	305,3343	38,4667	2,2000	138,7000
13.12.2018	14:30:00	8,0000	0,0000	0,0000	305,3690	38,7707	2,2000	138,7000
13.12.2018	15:00:00	8,0000	0,0000	0,0000	304,6413	46,2690	2,2000	138,7000
13.12.2018	15:30:00	7,6000	0,0000	0,0000	298,0320	70,9057	2,2000	138,7000
13.12.2018	16:00:00	7,2000	0,0000	0,0000	294,4290	82,6997	2,2000	138,7000
13.12.2018	16:30:00	5,2000	0,0000	0,0000	294,2137	84,7677	2,2000	138,7000
13.12.2018	17:00:00	3,2000	0,0000	0,0000	294,4443	84,9533	2,2000	138,7000
13.12.2018	17:30:00	2,4000	0,0000	0,0000	295,4000	84,6557	2,2000	138,7000
13.12.2018	18:00:00	1,6000	0,0000	0,0000	296,2300	78,3783	2,2000	138,7000
13.12.2018	18:30:00	0,8000	0,0000	0,0000	297,1600	74,6060	2,2000	138,7000
13.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7707	69,5807	2,2000	138,7000
13.12.2018	19:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7387	67,3137	2,2000	138,7000
13.12.2018	20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,6500	66,4957	2,2000	138,7000
13.12.2018	20:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,6823	63,7893	2,2000	138,7000
13.12.2018	21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,2000	67,9557	2,2000	138,7000
13.12.2018	21:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,7750	68,6277	2,2000	138,7000
13.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,6223	68,8480	2,2000	138,7000
13.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3980	70,4740	2,2000	138,7000
13.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,1340	72,3123	2,2000	138,7000
13.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9740	73,6167	2,2000	138,7000
14.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9027	73,4970	2,2000	138,7000
14.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,7990	73,8167	2,2000	138,7000
14.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,5750	75,8020	2,2000	138,7000
14.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,3600	75,9817	2,2000	138,7000
14.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,1047	76,8793	2,2000	138,7000
14.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,9773	76,9307	2,2000	138,7000
14.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,8340	77,3600	2,2000	138,7000
14.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,5953	78,9273	2,2000	138,7000
14.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,4043	80,0130	2,2000	138,7000
14.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,3007	80,3867	2,2000	138,7000
14.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1900	80,2690	2,2000	138,7000
14.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,0863	81,5140	2,2000	138,7000
14.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1577	80,8250	2,2000	138,7000

ANEXO 2 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO DE SIMULAÇÃO SEM NEBULOSIDADE

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
09.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,1970	83,2537	2,2000	138,7000
09.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,1100	83,8600	2,2000	138,7000
09.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,0780	83,8527	2,2000	138,7000
09.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	287,9343	82,5560	2,2000	138,7000
09.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	287,6150	82,2477	2,2000	138,7000
09.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	287,4637	83,9477	2,2000	138,7000
09.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	287,2400	84,8880	2,2000	138,7000
09.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	287,0400	84,9583	2,2000	138,7000
09.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,9680	84,7083	2,2000	138,7000
09.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,8800	85,0473	2,2000	138,7000
09.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,7440	85,5177	2,2000	138,7000
09.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,6230	85,7757	2,2000	138,7000
09.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,5990	85,9930	2,2000	138,7000
09.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,6070	86,1827	2,2000	138,7000
09.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	286,7917	85,5273	2,2000	138,7000
09.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	287,6073	83,3553	2,2000	138,7000
09.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,1977	80,1947	2,2000	138,7000
09.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	288,8660	77,2847	2,2000	138,7000
09.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,3747	74,5783	2,2000	138,7000
09.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,8507	69,0380	2,2000	138,7000
09.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,7940	64,9597	2,2000	138,7000
09.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	292,8480	60,0020	2,2000	138,7000
09.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1107	56,0350	2,2000	138,7000
09.12.2018	11:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,3360	51,8637	2,2000	138,7000
09.12.2018	12:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,1580	50,4840	2,2000	138,7000
09.12.2018	12:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,9593	48,3437	2,2000	138,7000
09.12.2018	13:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7310	46,5503	2,2000	138,7000
09.12.2018	13:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,8213	43,0507	2,2000	138,7000
09.12.2018	14:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,1137	47,4690	2,2000	138,7000
09.12.2018	14:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,0933	52,2323	2,2000	138,7000
09.12.2018	15:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,3277	52,5813	2,2000	138,7000
09.12.2018	15:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,6823	54,5670	2,2000	138,7000
09.12.2018	16:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1517	56,1467	2,2000	138,7000
09.12.2018	16:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,6303	56,7220	2,2000	138,7000
09.12.2018	17:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,5823	56,8287	2,2000	138,7000
09.12.2018	17:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3180	58,7360	2,2000	138,7000
09.12.2018	18:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9907	59,7900	2,2000	138,7000
09.12.2018	18:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,4717	60,5753	2,2000	138,7000
09.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,9060	62,6987	2,2000	138,7000
09.12.2018	19:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	293,9990	65,3120	2,2000	138,7000
09.12.2018	20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	293,1020	68,9830	2,2000	138,7000
09.12.2018	20:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	292,3563	71,6887	2,2000	138,7000
09.12.2018	21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,9680	73,3663	2,2000	138,7000
09.12.2018	21:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,7223	73,8080	2,2000	138,7000
09.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,6270	74,0957	2,2000	138,7000
09.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4290	75,0093	2,2000	138,7000
09.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,3737	75,7587	2,2000	138,7000
09.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4610	75,1210	2,2000	138,7000
10.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,5560	73,8707	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
10.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,5560	73,2580	2,2000	138,7000
10.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4687	73,6910	2,2000	138,7000
10.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,2867	75,0283	2,2000	138,7000
10.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,2310	76,1470	2,2000	138,7000
10.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,1597	77,5107	2,2000	138,7000
10.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,9933	78,8377	2,2000	138,7000
10.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,7630	80,4290	2,2000	138,7000
10.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,5573	81,5797	2,2000	138,7000
10.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,3033	83,0423	2,2000	138,7000
10.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,0893	84,4483	2,2000	138,7000
10.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,9543	85,4263	2,2000	138,7000
10.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,7797	86,6517	2,2000	138,7000
10.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	289,6920	87,4050	2,2000	138,7000
10.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,0737	86,3300	2,2000	138,7000
10.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	290,6127	84,2930	2,2000	138,7000
10.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	291,4767	81,5153	2,2000	138,7000
10.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	292,3250	77,5810	2,2000	138,7000
10.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	293,5067	72,6303	2,2000	138,7000
10.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,8423	67,7303	2,2000	138,7000
10.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9187	63,7837	2,2000	138,7000
10.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,0397	60,2093	2,2000	138,7000
10.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,0370	56,9533	2,2000	138,7000
10.12.2018	11:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,9263	54,4843	2,2000	138,7000
10.12.2018	12:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,1070	50,5177	2,2000	138,7000
10.12.2018	12:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,9430	47,7443	2,2000	138,7000
10.12.2018	13:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,0493	46,4720	2,2000	138,7000
10.12.2018	13:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,9747	41,5943	2,2000	138,7000
10.12.2018	14:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,5817	39,6417	2,2000	138,7000
10.12.2018	14:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,9490	37,3550	2,2000	138,7000
10.12.2018	15:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,4017	34,9740	2,2000	138,7000
10.12.2018	15:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,2947	32,1673	2,2000	138,7000
10.12.2018	16:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,4140	34,4017	2,2000	138,7000
10.12.2018	16:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,3510	37,8860	2,2000	138,7000
10.12.2018	17:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,9483	38,2700	2,2000	138,7000
10.12.2018	17:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,2583	46,8967	2,2000	138,7000
10.12.2018	18:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,2787	56,6903	2,2000	138,7000
10.12.2018	18:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,5113	56,0977	2,2000	138,7000
10.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,4463	56,3067	2,2000	138,7000
10.12.2018	19:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,1293	59,4973	2,2000	138,7000
10.12.2018	20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,7810	54,6420	2,2000	138,7000
10.12.2018	20:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,5213	54,1843	2,2000	138,7000
10.12.2018	21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,1907	54,5573	2,2000	138,7000
10.12.2018	21:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,0127	55,6690	2,2000	138,7000
10.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,8837	55,9627	2,2000	138,7000
10.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7227	51,6337	2,2000	138,7000
10.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,3927	52,4103	2,2000	138,7000
10.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1357	54,1243	2,2000	138,7000
11.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,8790	56,5210	2,2000	138,7000
11.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,6387	58,8057	2,2000	138,7000
11.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3820	56,4017	2,2000	138,7000
11.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,1740	54,0190	2,2000	138,7000
11.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,8627	55,5843	2,2000	138,7000
11.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,4953	57,2537	2,2000	138,7000
11.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,1047	59,1820	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
11.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,8737	60,7540	2,2000	138,7000
11.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,7147	61,5890	2,2000	138,7000
11.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,6110	62,4207	2,2000	138,7000
11.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,5553	63,6773	2,2000	138,7000
11.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,4600	66,7147	2,2000	138,7000
11.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,2933	69,0167	2,2000	138,7000
11.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,0627	70,7870	2,2000	138,7000
11.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1660	70,9233	2,2000	138,7000
11.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,8500	68,4750	2,2000	138,7000
11.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,7747	65,2680	2,2000	138,7000
11.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,0160	61,1867	2,2000	138,7000
11.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,5620	58,8333	2,2000	138,7000
11.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,5060	56,1800	2,2000	138,7000
11.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,5277	53,2213	2,2000	138,7000
11.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,3197	50,3030	2,2000	138,7000
11.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,0990	47,9483	2,2000	138,7000
11.12.2018	11:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,1070	45,2860	2,2000	138,7000
11.12.2018	12:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,7397	44,3443	2,2000	138,7000
11.12.2018	12:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,0420	43,4230	2,2000	138,7000
11.12.2018	13:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,8407	41,8727	2,2000	138,7000
11.12.2018	13:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,2433	41,9130	2,2000	138,7000
11.12.2018	14:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,2103	39,5123	2,2000	138,7000
11.12.2018	14:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,2780	39,2637	2,2000	138,7000
11.12.2018	15:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,3463	39,5943	2,2000	138,7000
11.12.2018	15:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,3927	42,5630	2,2000	138,7000
11.12.2018	16:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,3507	41,9730	2,2000	138,7000
11.12.2018	16:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,2950	38,3937	2,2000	138,7000
11.12.2018	17:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,2117	39,8963	2,2000	138,7000
11.12.2018	17:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,7407	45,2207	2,2000	138,7000
11.12.2018	18:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,8257	48,0517	2,2000	138,7000
11.12.2018	18:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,9333	46,5800	2,2000	138,7000
11.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,1817	55,9507	2,2000	138,7000
11.12.2018	19:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,9763	64,0967	2,2000	138,7000
11.12.2018	20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,3080	63,6103	2,2000	138,7000
11.12.2018	20:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,1050	60,7233	2,2000	138,7000
11.12.2018	21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,6917	60,9220	2,2000	138,7000
11.12.2018	21:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,2550	61,7967	2,2000	138,7000
11.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,9483	59,0393	2,2000	138,7000
11.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,5777	59,9683	2,2000	138,7000
11.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,3283	62,6837	2,2000	138,7000
11.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1680	63,7023	2,2000	138,7000
12.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1920	60,0477	2,2000	138,7000
12.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,0877	60,8017	2,2000	138,7000
12.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,9510	62,0850	2,2000	138,7000
12.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,7750	61,6800	2,2000	138,7000
12.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,5260	61,7190	2,2000	138,7000
12.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3500	57,6190	2,2000	138,7000
12.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9823	56,7283	2,2000	138,7000
12.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,7350	60,1877	2,2000	138,7000
12.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,5430	62,6950	2,2000	138,7000
12.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,3840	64,7310	2,2000	138,7000
12.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,3200	65,6517	2,2000	138,7000
12.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,2243	66,2430	2,2000	138,7000
12.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,1450	66,6273	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
12.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,0890	67,0947	2,2000	138,7000
12.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,2003	66,8857	2,2000	138,7000
12.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,2707	63,3877	2,2000	138,7000
12.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,4573	59,5687	2,2000	138,7000
12.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,2067	57,0187	2,2000	138,7000
12.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,1133	54,5617	2,2000	138,7000
12.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,0907	51,9200	2,2000	138,7000
12.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,9510	49,5613	2,2000	138,7000
12.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,2740	46,8373	2,2000	138,7000
12.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,8483	44,0933	2,2000	138,7000
12.12.2018	11:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,3010	41,9443	2,2000	138,7000
12.12.2018	12:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,9060	40,3153	2,2000	138,7000
12.12.2018	12:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,2527	38,9270	2,2000	138,7000
12.12.2018	13:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,6597	39,2707	2,2000	138,7000
12.12.2018	13:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,9237	38,8277	2,2000	138,7000
12.12.2018	14:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	305,3687	36,5140	2,2000	138,7000
12.12.2018	14:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	306,0050	34,7620	2,2000	138,7000
12.12.2018	15:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	306,3420	32,1113	2,2000	138,7000
12.12.2018	15:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	306,3937	32,8417	2,2000	138,7000
12.12.2018	16:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	306,2640	33,0240	2,2000	138,7000
12.12.2018	16:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	306,2467	32,6913	2,2000	138,7000
12.12.2018	17:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	306,6630	32,7963	2,2000	138,7000
12.12.2018	17:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	305,8327	34,1117	2,2000	138,7000
12.12.2018	18:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	305,0773	36,9817	2,2000	138,7000
12.12.2018	18:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,8473	44,4933	2,2000	138,7000
12.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,1077	46,7020	2,2000	138,7000
12.12.2018	19:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,4900	47,1047	2,2000	138,7000
12.12.2018	20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,9910	47,3140	2,2000	138,7000
12.12.2018	20:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,6020	47,1687	2,2000	138,7000
12.12.2018	21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,1737	49,7463	2,2000	138,7000
12.12.2018	21:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,9843	54,9280	2,2000	138,7000
12.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,8623	57,3307	2,2000	138,7000
12.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,5460	59,6367	2,2000	138,7000
12.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,3280	59,3330	2,2000	138,7000
12.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,2063	57,8187	2,2000	138,7000
13.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,4163	56,7813	2,2000	138,7000
13.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,3600	57,7900	2,2000	138,7000
13.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,1903	58,5503	2,2000	138,7000
13.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,0210	58,6483	2,2000	138,7000
13.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,9487	58,7403	2,2000	138,7000
13.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,6987	60,1110	2,2000	138,7000
13.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,5377	60,1573	2,2000	138,7000
13.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,3447	61,2317	2,2000	138,7000
13.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,0713	62,7243	2,2000	138,7000
13.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,7990	64,2570	2,2000	138,7000
13.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,5260	65,6797	2,2000	138,7000
13.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,4060	66,6393	2,2000	138,7000
13.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,2540	67,5597	2,2000	138,7000
13.12.2018	06:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,0060	69,0727	2,2000	138,7000
13.12.2018	07:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,2463	68,8277	2,2000	138,7000
13.12.2018	07:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1923	65,4107	2,2000	138,7000
13.12.2018	08:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,6923	59,7350	2,2000	138,7000
13.12.2018	08:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,0480	57,2383	2,2000	138,7000
13.12.2018	09:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	299,5520	54,8443	2,2000	138,7000

DIA (DD.MM.AAAA)	HORÁRIO (HH:MM:SS)	NUVENS BAIXAS (0-8)	NUVENS MÉDIAS (0-8)	NUVENS ALTAS (0-8)	TEMPERATURA DO AR (K)	UMIDADE RELATIVA (%)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO (°)
13.12.2018	09:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	300,7043	50,8437	2,2000	138,7000
13.12.2018	10:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,0990	49,9783	2,2000	138,7000
13.12.2018	10:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	301,6600	49,5147	2,2000	138,7000
13.12.2018	11:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,3483	47,7910	2,2000	138,7000
13.12.2018	11:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	302,9907	46,4697	2,2000	138,7000
13.12.2018	12:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,7293	45,0390	2,2000	138,7000
13.12.2018	12:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,9740	44,5427	2,2000	138,7000
13.12.2018	13:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	303,8473	42,3997	2,2000	138,7000
13.12.2018	13:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,6680	40,4520	2,2000	138,7000
13.12.2018	14:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	305,3343	38,4667	2,2000	138,7000
13.12.2018	14:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	305,3690	38,7707	2,2000	138,7000
13.12.2018	15:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	304,6413	46,2690	2,2000	138,7000
13.12.2018	15:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	298,0320	70,9057	2,2000	138,7000
13.12.2018	16:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,4290	82,6997	2,2000	138,7000
13.12.2018	16:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,2137	84,7677	2,2000	138,7000
13.12.2018	17:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,4443	84,9533	2,2000	138,7000
13.12.2018	17:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,4000	84,6557	2,2000	138,7000
13.12.2018	18:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,2300	78,3783	2,2000	138,7000
13.12.2018	18:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,1600	74,6060	2,2000	138,7000
13.12.2018	19:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7707	69,5807	2,2000	138,7000
13.12.2018	19:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,7387	67,3137	2,2000	138,7000
13.12.2018	20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,6500	66,4957	2,2000	138,7000
13.12.2018	20:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,6823	63,7893	2,2000	138,7000
13.12.2018	21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	297,2000	67,9557	2,2000	138,7000
13.12.2018	21:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,7750	68,6277	2,2000	138,7000
13.12.2018	22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,6223	68,8480	2,2000	138,7000
13.12.2018	22:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,3980	70,4740	2,2000	138,7000
13.12.2018	23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	296,1340	72,3123	2,2000	138,7000
13.12.2018	23:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9740	73,6167	2,2000	138,7000
14.12.2018	00:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,9027	73,4970	2,2000	138,7000
14.12.2018	00:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,7990	73,8167	2,2000	138,7000
14.12.2018	01:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,5750	75,8020	2,2000	138,7000
14.12.2018	01:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,3600	75,9817	2,2000	138,7000
14.12.2018	02:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	295,1047	76,8793	2,2000	138,7000
14.12.2018	02:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,9773	76,9307	2,2000	138,7000
14.12.2018	03:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,8340	77,3600	2,2000	138,7000
14.12.2018	03:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,5953	78,9273	2,2000	138,7000
14.12.2018	04:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,4043	80,0130	2,2000	138,7000
14.12.2018	04:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,3007	80,3867	2,2000	138,7000
14.12.2018	05:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1900	80,2690	2,2000	138,7000
14.12.2018	05:30:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,0863	81,5140	2,2000	138,7000
14.12.2018	06:00:00	0,0000	0,0000	0,0000	294,1577	80,8250	2,2000	138,7000

**ANEXO 3 – EXTRAÇÃO DOS DADOS COLETADOS NAS MEDIÇÕES DE CAMPO PARA OS DIAS
09/12/2018 A 14/12/2018, UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO**

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
09/12/2018 00:00	15,581	80,893	15,031	83,377	14,745	15,450	71,930	15,800	15,620	0,000	126,000	2,880
09/12/2018 00:10	15,533	81,407	14,984	83,775	14,673	15,450	72,990	15,620	15,550	0,000	103,000	1,880
09/12/2018 00:20	15,509	81,567	14,936	84,090	14,697	15,350	72,790	15,700	15,530	0,000	163,000	1,150
09/12/2018 00:30	15,557	81,329	14,960	83,715	14,601	15,550	72,890	15,600	15,550	0,000	102,000	1,230
09/12/2018 00:40	15,557	81,164	14,912	83,922	14,697	15,520	72,170	15,770	15,570	0,000	119,000	1,710
09/12/2018 00:50	15,533	81,021	14,936	83,818	14,361	15,520	71,870	15,720	15,580	0,000	170,000	1,290
09/12/2018 01:00	15,509	81,236	14,936	83,818	13,690	15,380	72,650	15,100	15,480	0,000	212,000	0,660
09/12/2018 01:10	15,438	80,420	14,840	83,034	13,666	15,310	72,410	14,910	15,340	0,000	91,000	0,920
09/12/2018 01:20	15,342	80,482	14,768	83,154	13,401	15,040	72,000	14,720	15,260	0,000	88,000	0,270
09/12/2018 01:30	15,318	79,730	14,745	81,480	13,257	15,140	71,830	14,690	15,210	0,000	51,000	0,920
09/12/2018 01:40	15,199	78,844	14,577	81,498	13,377	14,900	70,670	14,550	15,050	0,000	142,000	1,480
09/12/2018 01:50	15,079	79,540	14,457	82,156	13,185	14,770	71,120	14,460	14,910	0,000	120,000	2,300
09/12/2018 02:00	14,984	80,376	14,361	83,089	13,161	14,770	71,660	14,380	14,850	0,000	105,000	2,690
09/12/2018 02:10	14,888	81,182	14,314	83,785	13,473	14,800	72,480	14,500	14,780	0,000	105,000	2,260
09/12/2018 02:20	14,888	81,732	14,337	83,953	13,570	14,670	73,060	14,690	14,780	0,000	99,000	1,520
09/12/2018 02:30	15,031	81,269	14,290	84,105	13,618	14,700	73,260	14,780	14,860	0,000	68,000	2,050
09/12/2018 02:40	15,079	81,004	14,218	84,468	13,305	14,670	73,400	14,670	14,850	0,000	46,000	1,910
09/12/2018 02:50	14,960	81,033	14,074	84,974	12,775	14,530	73,710	14,270	14,710	0,000	108,000	0,920
09/12/2018 03:00	14,745	81,809	13,978	85,222	12,389	14,460	73,940	14,010	14,550	0,000	149,000	0,690
09/12/2018 03:10	14,649	82,062	13,906	85,447	12,316	14,460	73,910	13,880	14,480	0,000	128,000	1,720
09/12/2018 03:20	14,529	81,981	13,882	84,822	12,389	14,290	74,080	13,720	14,360	0,000	156,000	2,430
09/12/2018 03:30	14,481	82,243	13,882	84,606	12,195	14,290	73,500	13,740	14,310	0,000	80,000	0,470
09/12/2018 03:40	14,481	81,696	13,858	84,493	12,340	14,330	73,570	13,720	14,320	0,000	134,000	3,560
09/12/2018 03:50	14,457	81,828	13,810	84,751	12,292	14,220	73,670	13,650	14,290	0,000	128,000	1,210
09/12/2018 04:00	14,361	82,244	13,786	84,881	12,050	14,020	74,010	13,510	14,150	0,000	115,000	0,670
09/12/2018 04:10	14,337	82,484	13,762	84,956	12,098	14,160	74,390	13,490	14,110	0,000	107,000	1,500
09/12/2018 04:20	14,314	82,479	13,738	85,085	12,074	14,020	74,050	13,490	14,130	0,000	127,000	1,350
09/12/2018 04:30	14,194	82,888	13,690	85,101	12,171	13,890	74,530	13,370	14,010	0,000	118,000	0,720
09/12/2018 04:40	14,146	83,204	13,642	85,305	11,856	13,960	74,670	13,330	13,940	0,000	113,000	1,160
09/12/2018 04:50	14,218	83,166	13,594	85,616	11,807	13,960	74,770	13,310	13,940	0,000	39,000	2,160
09/12/2018 05:00	14,170	82,992	13,546	85,632	11,783	13,820	74,740	13,280	13,870	0,000	84,000	0,620
09/12/2018 05:10	14,146	82,932	13,497	85,701	11,613	13,890	74,670	13,220	13,900	0,000	123,000	1,360
09/12/2018 05:20	14,074	83,350	13,473	85,856	11,734	13,860	74,910	13,150	13,800	0,000	75,000	1,220
09/12/2018 05:30	14,002	83,524	13,449	85,770	11,807	13,790	75,290	13,170	13,800	0,000	74,000	0,390
09/12/2018 05:40	13,978	83,763	13,449	85,850	11,686	13,890	75,120	13,120	13,780	0,000	87,000	1,840
09/12/2018 05:50	13,978	83,709	13,449	86,011	11,856	13,860	74,980	13,150	13,760	0,000	85,000	1,240
09/12/2018 06:00	14,026	83,990	13,449	86,118	11,904	13,760	75,760	13,190	13,760	0,000	34,000	1,680
09/12/2018 06:10	14,050	83,779	13,473	86,231	12,074	13,820	75,290	13,240	13,830	0,000	59,000	3,040
09/12/2018 06:20	14,074	83,758	13,473	86,151	12,195	13,790	75,700	13,260	13,830	3.739,000	11,000	1,450
09/12/2018 06:30	14,146	83,421	13,425	86,166	12,292	13,790	75,630	13,370	13,870	11,660	65,000	1,360
09/12/2018 06:40	14,122	83,144	13,401	86,160	12,558	13,790	75,460	13,400	13,900	22,660	91,000	2,090
09/12/2018 06:50	14,074	83,622	13,618	85,756	14,601	13,820	75,690	13,650	13,970	82,900	113,000	1,050
09/12/2018 07:00	14,122	83,850	13,906	84,666	16,415	13,890	75,150	14,130	14,200	118,300	71,000	0,770
09/12/2018 07:10	14,242	83,769	14,242	83,552	17,605	14,230	74,540	14,670	14,540	159,500	46,000	2,480
09/12/2018 07:20	14,385	83,856	14,385	83,774	18,057	14,370	74,540	15,140	14,850	196,900	73,000	1,550
09/12/2018 07:30	14,625	83,639	14,745	82,740	19,270	14,680	73,820	15,720	15,260	154,400	70,000	2,150
09/12/2018 07:40	14,936	82,071	14,936	81,385	19,294	15,040	72,040	16,290	15,700	182,100	70,000	3,310
09/12/2018 07:50	15,223	79,792	15,008	80,050	19,103	15,250	70,610	16,540	15,970	329,700	110,000	4,010
09/12/2018 08:00	15,461	78,593	15,199	79,149	19,793	15,420	68,840	16,960	16,290	367,900	14,000	1,830
09/12/2018 08:10	15,796	77,490	15,557	78,140	20,793	15,860	67,640	17,510	16,710	369,700	60,000	1,360
09/12/2018 08:20	16,034	76,162	15,605	77,674	20,365	16,100	66,690	17,940	17,090	310,500	101,000	4,660
09/12/2018 08:30	16,296	75,425	15,986	76,040	21,676	16,640	63,920	18,770	17,590	510,000	54,000	4,340
09/12/2018 08:40	16,511	73,478	16,034	74,862	20,555	16,800	63,470	18,910	17,820	251,800	58,000	2,160
09/12/2018 08:50	16,773	72,442	16,177	74,806	21,056	16,960	61,250	19,140	18,110	412,900	49,000	2,900
09/12/2018 09:00	17,153	71,537	16,463	74,067	22,848	17,810	59,760	19,730	18,550	611,200	115,000	1,040
09/12/2018 09:10	17,843	69,261	17,415	70,460	25,331	19,450	54,440	21,450	19,680	649,600	36,000	0,240
09/12/2018 09:20	18,580	65,751	17,772	68,285	25,525	20,360	50,290	22,720	20,990	683,400	62,000	1,720
09/12/2018 09:30	18,937	65,131	17,915	68,369	26,134	19,810	51,640	22,860	21,510	720,100	107,000	1,060

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
09/12/2018 09:40	19,532	62,183	18,414	65,959	26,426	20,280	49,590	23,720	22,550	752,500	124,000	1,810
09/12/2018 09:50	20,031	60,271	18,652	65,141	27,161	20,550	48,230	24,570	23,890	788,700	41,000	1,000
09/12/2018 10:00	20,341	58,951	18,866	63,779	27,702	20,300	49,310	26,380	24,220	824,000	87,000	1,970
09/12/2018 10:10	20,984	56,073	19,389	60,652	28,245	21,450	44,710	30,970	24,990	852,000	64,000	1,740
09/12/2018 10:20	21,366	55,016	19,698	60,913	29,065	21,640	45,170	35,110	25,370	877,000	118,000	1,110
09/12/2018 10:30	22,130	52,004	20,007	58,441	29,065	22,820	41,260	39,440	26,770	899,000	162,000	1,820
09/12/2018 10:40	22,609	50,811	20,627	57,220	30,697	22,870	40,970	39,460	27,360	927,000	90,000	1,440
09/12/2018 10:50	22,992	49,152	20,722	56,373	29,690	23,000	40,530	37,160	28,180	947,000	119,000	2,640
09/12/2018 11:00	23,521	49,157	21,533	54,512	31,026	23,400	39,740	33,870	29,550	969,000	33,000	1,070
09/12/2018 11:10	24,074	46,029	21,867	52,908	31,510	23,870	37,250	30,980	30,680	988,000	96,000	0,900
09/12/2018 11:20	24,532	44,794	22,130	51,879	30,900	24,280	36,100	29,050	31,000	1.006,00	137,000	1,360
09/12/2018 11:30	24,871	44,122	22,561	50,804	32,949	24,550	36,230	28,600	31,600	1.021,00	111,000	0,890
09/12/2018 11:40	25,477	42,369	22,776	50,328	32,665	25,690	33,410	29,070	32,910	1.036,00	80,000	2,460
09/12/2018 11:50	25,574	43,423	22,872	51,572	33,157	25,110	35,480	28,730	33,220	1.051,00	125,000	2,700
09/12/2018 12:00	25,793	42,535	23,376	49,552	33,443	25,280	35,040	29,000	33,380	1.058,00	157,000	1,790
09/12/2018 12:10	25,939	41,307	23,400	49,269	33,678	25,720	33,810	31,490	33,820	1.060,00	122,000	1,510
09/12/2018 12:20	26,280	40,819	23,930	48,254	34,150	26,230	33,000	36,050	34,320	1.070,00	53,000	1,050
09/12/2018 12:30	26,158	41,003	24,098	47,508	35,582	25,110	33,710	40,190	34,070	1.078,00	288,000	0,340
09/12/2018 12:40	26,549	39,596	24,219	47,203	33,887	26,300	32,150	42,270	34,580	1.084,00	182,000	1,310
09/12/2018 12:50	26,769	39,949	24,532	46,985	35,555	26,200	32,760	43,070	34,840	1.071,00	143,000	1,310
09/12/2018 13:00	27,358	39,350	24,992	45,463	34,229	27,150	31,540	43,940	35,350	1.081,00	81,000	2,020
09/12/2018 13:10	27,382	38,291	25,453	43,930	36,606	26,300	31,840	44,520	35,340	1.079,00	301,000	2,280
09/12/2018 13:20	27,161	38,600	25,525	44,101	37,042	25,960	32,690	43,980	34,820	1.082,00	322,000	1,720
09/12/2018 13:30	27,505	36,772	26,036	41,121	37,645	27,120	30,650	43,920	35,040	1.089,00	197,000	0,880
09/12/2018 13:40	27,628	40,173	26,109	43,485	37,645	26,880	32,730	43,970	35,520	1.081,00	10,000	0,170
09/12/2018 13:50	27,875	42,375	26,329	48,206	36,119	27,520	34,490	44,480	35,750	1.000,00	187,000	3,410
09/12/2018 14:00	27,530	43,452	25,453	50,716	34,492	27,150	36,230	41,320	33,970	1.146,00	107,000	3,880
09/12/2018 14:10	27,308	44,015	25,234	51,354	31,970	27,080	36,290	41,370	34,170	236,700	153,000	2,990
09/12/2018 14:20	26,867	44,811	24,677	52,734	30,167	26,510	37,420	37,510	32,630	302,500	201,000	2,210
09/12/2018 14:30	26,549	46,104	24,919	52,609	33,417	26,350	38,540	39,330	32,420	1.012,00	117,000	2,250
09/12/2018 14:40	26,646	46,504	25,307	52,251	34,598	26,420	38,580	41,400	33,170	997,000	264,000	2,210
09/12/2018 14:50	26,818	45,780	25,137	52,418	34,202	26,830	38,240	41,830	33,940	982,000	156,000	2,630
09/12/2018 15:00	26,940	45,924	25,089	53,075	34,097	27,260	36,980	42,310	34,590	957,000	177,000	0,630
09/12/2018 15:10	26,769	45,676	24,653	53,329	33,391	26,910	36,970	41,610	34,590	935,000	132,000	2,230
09/12/2018 15:20	26,524	47,038	24,412	55,146	32,820	27,010	37,720	40,660	34,660	909,000	99,000	2,260
09/12/2018 15:30	26,378	48,019	24,532	55,226	33,001	27,010	38,570	40,330	34,460	874,000	139,000	2,520
09/12/2018 15:40	25,987	48,965	24,339	55,542	32,458	26,400	40,440	38,950	33,770	857,000	150,000	3,160
09/12/2018 15:50	25,768	48,585	23,857	56,468	32,150	26,560	38,430	39,150	33,910	828,000	137,000	4,130
09/12/2018 16:00	25,768	48,681	23,809	56,430	31,816	26,870	38,190	38,960	34,190	798,900	112,000	2,870
09/12/2018 16:10	25,695	48,287	23,785	55,680	31,868	26,730	37,920	39,030	34,230	763,800	147,000	2,200
09/12/2018 16:20	25,453	48,993	23,352	57,324	31,382	26,260	38,500	38,850	33,850	742,100	159,000	0,840
09/12/2018 16:30	25,331	49,137	23,304	57,162	31,306	26,560	37,920	39,370	34,090	701,500	120,000	3,300
09/12/2018 16:40	24,944	50,075	23,280	57,189	31,510	25,850	40,230	38,770	33,340	668,600	179,000	3,300
09/12/2018 16:50	24,726	50,905	23,376	57,172	32,124	26,220	39,350	39,700	33,460	638,100	193,000	1,920
09/12/2018 17:00	24,871	50,765	23,641	56,125	32,098	26,560	38,460	41,470	33,930	595,600	58,000	0,930
09/12/2018 17:10	24,532	51,924	23,160	58,468	31,433	25,480	41,450	41,020	33,160	559,400	140,000	0,650
09/12/2018 17:20	24,484	52,770	23,256	58,606	31,484	26,090	40,770	42,030	33,170	518,800	140,000	1,000
09/12/2018 17:30	24,412	53,138	23,088	59,134	31,128	26,290	39,860	42,770	32,540	480,700	154,000	3,490
09/12/2018 17:40	24,363	53,446	23,160	58,930	30,722	26,290	40,200	42,670	31,290	436,900	113,000	0,990
09/12/2018 17:50	24,195	53,485	22,729	59,998	29,340	26,200	39,890	41,830	30,020	397,500	151,000	1,240
09/12/2018 18:00	23,689	55,260	22,633	60,442	29,464	24,990	43,340	39,340	27,850	359,600	114,000	1,100
09/12/2018 18:10	23,545	55,083	22,393	60,404	28,667	25,400	41,810	39,190	26,730	317,500	143,000	2,290
09/12/2018 18:20	23,400	55,436	22,274	60,659	28,270	25,200	42,460	35,890	25,940	273,000	176,000	1,660
09/12/2018 18:30	23,184	56,058	22,298	60,663	28,147	23,780	45,560	30,230	25,030	232,200	134,000	2,150
09/12/2018 18:40	22,992	56,991	22,011	62,168	27,063	23,350	47,910	27,480	24,440	189,000	91,000	1,370
09/12/2018 18:50	22,729	57,816	21,939	61,883	25,258	22,680	49,520	25,370	23,750	34,690	223,000	0,770
09/12/2018 19:00	22,274	59,069	21,318	64,045	21,867	22,040	51,870	23,420	22,930	30,080	245,000	1,570
09/12/2018 19:10	21,963	60,060	21,079	64,724	21,175	21,700	52,480	22,690	22,390	24,810	117,000	1,440
09/12/2018 19:20	21,843	60,408	20,889	65,111	20,793	21,840	52,550	22,410	22,250	18,010	172,000	1,670
09/12/2018 19:30	21,604	60,918	20,579	66,101	20,222	21,510	53,170	21,990	21,930	10,100	190,000	1,210
09/12/2018 19:40	21,199	62,700	20,222	67,699	19,627	20,800	56,000	21,350	21,330	1.977,00	215,000	2,290
09/12/2018 19:50	20,865	64,298	20,007	68,898	19,103	20,560	57,430	20,910	20,930	0,000	195,000	1,420
09/12/2018 20:00	20,531	65,646	19,627	70,352	18,699	20,330	58,630	20,530	20,530	0,000	185,000	2,310
09/12/2018 20:10	20,269	66,611	19,365	71,206	18,485	20,130	58,760	20,350	20,330	0,000	145,000	0,840
09/12/2018 20:20	20,126	66,971	19,151	71,833	18,224	19,900	59,700	20,060	20,090	0,000	130,000	2,100
09/12/2018 20:30	20,007	67,453	19,103	72,027	17,986	19,800	60,000	19,890	19,930	0,000	168,000	1,160
09/12/2018 20:40	19,936	67,972	19,008	72,587	17,819	19,730	60,140	19,860	19,860	0,000	129,000	0,340
09/12/2018 20:50	19,841	68,397	18,794	73,468	17,772	19,670	60,990	19,720	19,760	0,000	136,000	2,600

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
09/12/2018 21:00	19,722	68,905	18,652	74,044	17,582	19,460	61,300	19,580	19,640	0,000	139,000	0,820
09/12/2018 21:10	19,698	68,959	18,675	73,675	17,320	19,560	61,270	19,520	19,580	0,000	149,000	0,930
09/12/2018 21:20	19,579	68,643	18,533	73,762	17,486	19,330	61,270	19,380	19,490	0,000	117,000	1,790
09/12/2018 21:30	19,436	69,351	18,509	73,987	17,463	19,220	61,950	19,240	19,350	0,000	121,000	1,460
09/12/2018 21:40	19,413	69,727	18,485	74,212	17,463	19,120	61,640	19,240	19,320	0,000	195,000	0,350
09/12/2018 21:50	19,341	70,065	18,485	74,040	17,391	19,050	62,800	19,190	19,180	0,000	194,000	0,350
09/12/2018 22:00	19,318	69,914	18,461	74,035	17,415	19,160	62,120	19,240	19,210	0,000	77,000	1,020
09/12/2018 22:10	19,294	69,968	18,366	74,360	17,439	19,160	61,950	19,180	19,190	0,000	141,000	0,990
09/12/2018 22:20	19,199	70,417	18,271	74,942	17,225	19,090	62,560	19,080	19,120	0,000	142,000	0,840
09/12/2018 22:30	19,151	70,962	18,200	75,726	17,082	19,020	62,900	18,970	19,080	0,000	135,000	1,170
09/12/2018 22:40	19,127	71,277	18,176	76,062	17,130	19,090	63,100	18,930	19,070	0,000	110,000	0,810
09/12/2018 22:50	19,103	71,592	18,200	75,953	17,011	18,990	63,380	18,860	19,020	0,000	113,000	0,380
09/12/2018 23:00	19,127	71,422	18,295	75,261	16,987	19,160	63,210	18,820	19,050	0,000	124,000	1,370
09/12/2018 23:10	19,151	70,962	18,295	75,232	17,058	19,090	62,360	18,770	19,050	0,000	118,000	1,290
09/12/2018 23:20	19,127	71,393	18,295	75,289	16,749	18,990	63,480	18,640	18,960	0,000	124,000	0,220
09/12/2018 23:30	19,127	70,899	18,343	74,842	16,987	18,950	63,210	18,660	18,970	0,000	108,000	0,540
09/12/2018 23:40	19,127	70,637	18,390	74,365	16,963	18,950	62,760	18,640	18,960	0,000	264,000	0,100
09/12/2018 23:50	19,103	70,429	18,414	73,911	17,034	18,950	62,290	18,610	18,930	0,000	64,000	0,470
10/12/2018 00:00	19,127	70,083	18,414	73,336	16,915	19,020	61,740	18,610	18,960	0,000	78,000	0,670
10/12/2018 00:10	19,080	69,841	18,390	73,504	17,034	18,820	61,880	18,560	18,930	0,000	72,000	0,650
10/12/2018 00:20	19,056	70,011	18,414	73,250	17,058	18,950	61,810	18,550	18,900	0,000	93,000	1,000
10/12/2018 00:30	19,032	69,978	18,414	73,020	17,082	18,850	61,950	18,550	18,900	0,000	53,000	2,300
10/12/2018 00:40	19,032	70,065	18,390	73,217	16,963	18,820	62,020	18,500	18,900	0,000	106,000	0,430
10/12/2018 00:50	18,961	70,460	18,319	73,691	16,796	18,760	62,260	18,400	18,830	0,000	105,000	0,340
10/12/2018 01:00	18,961	70,809	18,247	74,165	16,534	18,720	62,600	18,340	18,770	0,000	124,000	0,600
10/12/2018 01:10	18,937	71,125	18,176	74,608	16,534	18,620	63,250	18,230	18,740	0,000	107,000	0,110
10/12/2018 01:20	18,889	71,493	18,129	75,027	16,558	18,620	63,760	18,130	18,640	0,000	38,000	0,670
10/12/2018 01:30	18,866	71,547	18,105	75,450	16,511	18,550	64,170	18,070	18,580	0,000	77,000	0,960
10/12/2018 01:40	18,794	72,054	18,081	75,730	16,487	18,520	64,340	18,020	18,550	0,000	79,000	1,240
10/12/2018 01:50	18,723	72,965	18,081	76,327	16,677	18,560	64,890	17,990	18,500	0,000	82,000	1,360
10/12/2018 02:00	18,675	73,531	18,081	76,384	16,915	18,290	65,950	18,030	18,450	0,000	89,000	1,020
10/12/2018 02:10	18,675	73,963	18,081	76,979	16,963	18,250	66,490	18,030	18,400	0,000	357,000	1,050
10/12/2018 02:20	18,580	74,603	18,010	77,558	16,963	18,320	67,000	17,990	18,390	0,000	27,000	0,670
10/12/2018 02:30	18,557	74,999	17,938	77,995	16,820	18,120	67,550	17,890	18,320	0,000	101,000	3,660
10/12/2018 02:40	18,485	75,327	17,867	78,487	16,796	18,090	68,330	17,840	18,230	0,000	92,000	1,130
10/12/2018 02:50	18,438	75,860	17,867	78,740	16,796	18,120	68,780	17,790	18,230	0,000	113,000	1,090
10/12/2018 03:00	18,390	76,476	17,796	79,286	16,749	18,090	68,880	17,760	18,180	0,000	66,000	1,940
10/12/2018 03:10	18,366	76,840	17,724	79,858	16,582	17,850	69,730	17,700	18,080	0,000	40,000	3,000
10/12/2018 03:20	18,295	77,250	17,605	80,474	16,415	17,780	70,380	17,570	18,020	0,000	1,000	0,790
10/12/2018 03:30	18,200	77,626	17,510	80,955	16,320	17,850	70,680	17,450	17,920	0,000	84,000	2,750
10/12/2018 03:40	18,176	78,016	17,463	81,333	16,201	17,780	70,890	17,420	17,840	0,000	84,000	2,270
10/12/2018 03:50	18,176	77,988	17,415	81,517	15,963	17,680	71,370	17,320	17,810	0,000	119,000	0,760
10/12/2018 04:00	18,105	78,368	17,344	81,889	15,772	17,780	71,300	17,240	17,780	0,000	91,000	0,710
10/12/2018 04:10	17,986	78,877	17,225	82,581	15,724	17,640	71,470	17,160	17,700	0,000	102,000	1,550
10/12/2018 04:20	17,915	79,591	17,177	82,874	15,485	17,680	71,670	17,120	17,650	0,000	34,000	1,350
10/12/2018 04:30	17,891	80,118	17,058	83,672	15,509	17,510	72,760	17,040	17,580	0,000	97,000	0,790
10/12/2018 04:40	17,843	80,219	16,987	84,122	15,366	17,340	73,240	16,940	17,480	0,000	20,000	0,350
10/12/2018 04:50	17,772	80,455	16,939	84,412	15,294	17,410	73,480	16,910	17,420	0,000	89,000	0,850
10/12/2018 05:00	17,748	80,979	16,892	84,811	15,509	17,170	74,020	16,880	17,390	0,000	72,000	1,110
10/12/2018 05:10	17,724	81,141	16,844	84,964	15,461	17,170	74,530	16,800	17,320	0,000	41,000	0,960
10/12/2018 05:20	17,724	81,530	16,820	85,448	15,223	17,100	74,970	16,730	17,260	0,000	94,000	1,010
10/12/2018 05:30	17,701	81,635	16,749	85,867	15,223	17,170	75,040	16,750	17,260	0,000	63,000	0,490
10/12/2018 05:40	17,605	82,279	16,701	86,263	15,103	17,070	75,660	16,630	17,160	0,000	76,000	0,700
10/12/2018 05:50	17,558	82,462	16,630	86,733	15,079	16,930	76,000	16,600	17,100	0,000	74,000	1,230
10/12/2018 06:00	17,510	82,728	16,558	86,959	15,008	16,930	76,200	16,550	17,030	0,000	42,000	0,740
10/12/2018 06:10	17,391	83,170	16,534	87,331	15,127	16,890	76,540	16,520	17,000	0,000	93,000	1,650
10/12/2018 06:20	17,368	83,715	16,534	87,439	15,175	16,830	76,610	16,500	16,980	4.178,00	71,000	1,080
10/12/2018 06:30	17,296	83,891	16,558	87,445	15,414	16,930	76,850	16,620	17,000	12,090	105,000	1,240
10/12/2018 06:40	17,320	84,088	16,654	87,387	16,272	17,070	76,610	16,800	17,150	36,720	56,000	0,670
10/12/2018 06:50	17,415	84,164	16,892	86,361	18,652	17,140	76,450	17,170	17,310	73,880	55,000	0,430
10/12/2018 07:00	17,534	83,835	17,225	85,242	20,317	17,410	75,620	17,620	17,560	103,100	4,000	0,170
10/12/2018 07:10	17,701	83,322	17,272	84,926	20,817	17,540	75,380	17,990	17,850	140,900	43,000	1,020
10/12/2018 07:20	17,867	82,697	17,415	84,548	21,628	17,680	74,260	18,490	18,170	179,600	29,000	2,140
10/12/2018 07:30	18,033	82,263	17,701	83,405	22,896	17,920	73,850	19,040	18,520	217,700	23,000	1,800
10/12/2018 07:40	18,200	81,801	17,772	83,421	23,569	18,190	72,970	19,420	18,870	257,600	45,000	0,660
10/12/2018 07:50	18,414	81,208	18,390	81,509	24,677	18,630	71,770	20,120	19,370	299,000	60,000	0,680
10/12/2018 08:00	18,699	80,404	18,818	79,616	26,036	19,140	69,010	20,950	19,990	339,600	52,000	0,370
10/12/2018 08:10	19,008	78,755	18,937	78,966	26,426	19,440	67,750	21,430	20,470	378,300	58,000	0,800

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
10/12/2018 08:20	19,341	77,069	19,175	76,921	26,329	19,980	65,290	22,060	20,980	421,100	51,000	1,710
10/12/2018 08:30	19,651	75,763	19,413	76,856	27,259	20,140	64,470	22,510	21,370	461,400	49,000	0,450
10/12/2018 08:40	20,055	74,091	19,936	74,327	28,295	21,060	61,200	23,530	22,090	501,100	75,000	1,550
10/12/2018 08:50	20,531	72,330	20,388	72,593	28,419	21,740	58,710	24,250	22,710	550,700	51,000	2,450
10/12/2018 09:00	21,127	69,986	20,746	70,971	29,040	22,930	54,050	25,220	23,470	585,800	26,000	1,160
10/12/2018 09:10	21,652	67,837	21,127	68,955	30,469	24,020	50,340	26,140	24,260	631,200	345,000	1,720
10/12/2018 09:20	22,202	66,415	21,700	68,142	31,816	24,520	50,020	26,970	25,120	676,400	40,000	0,140
10/12/2018 09:30	22,753	64,016	22,250	66,094	32,098	24,680	47,670	27,710	26,010	651,100	284,000	0,940
10/12/2018 09:40	22,753	63,290	22,369	65,156	31,382	23,220	52,020	27,290	25,980	673,700	320,000	1,200
10/12/2018 09:50	23,256	62,129	22,705	63,857	32,639	24,260	49,130	28,500	27,240	708,600	80,000	1,210
10/12/2018 10:00	24,074	59,133	23,232	62,338	33,235	25,240	46,570	31,260	28,690	739,200	86,000	0,690
10/12/2018 10:10	24,726	57,126	23,593	61,207	33,861	25,610	45,100	35,010	29,230	740,400	70,000	1,480
10/12/2018 10:20	24,944	56,349	23,785	60,625	34,413	25,320	45,970	37,810	29,250	843,000	55,000	0,820
10/12/2018 10:30	25,355	55,095	24,291	58,796	34,916	26,060	43,860	41,370	29,980	805,000	322,000	1,320
10/12/2018 10:40	25,841	53,527	24,726	57,220	34,360	26,280	42,490	40,330	30,370	797,000	3,000	0,120
10/12/2018 10:50	26,207	52,057	24,895	56,840	34,969	26,380	42,010	39,910	31,130	900,000	295,000	1,740
10/12/2018 11:00	26,207	52,375	25,040	56,800	34,942	26,000	43,540	36,360	31,550	941,000	307,000	0,810
10/12/2018 11:10	26,646	51,385	25,501	54,896	36,824	26,810	41,530	34,100	32,730	938,000	315,000	0,230
10/12/2018 11:20	26,916	50,431	25,841	54,441	37,233	26,970	41,010	32,600	33,490	970,000	9,000	1,770
10/12/2018 11:30	27,112	50,137	25,987	54,116	37,042	26,970	41,050	31,670	33,570	981,000	29,000	0,190
10/12/2018 11:40	27,776	48,454	26,622	52,305	38,170	27,550	39,480	31,770	34,420	992,000	18,000	0,790
10/12/2018 11:50	28,444	45,323	26,867	50,425	37,893	28,300	36,430	32,220	35,610	1,007,000	287,000	2,410
10/12/2018 12:00	28,518	44,548	27,382	48,823	38,421	28,020	36,290	32,140	35,470	1,036,000	16,000	1,390
10/12/2018 12:10	28,667	44,729	27,604	48,593	36,742	28,230	36,630	33,980	35,320	1,038,000	272,000	2,320
10/12/2018 12:20	28,791	43,465	27,801	47,682	37,535	28,400	34,380	37,480	35,390	1,055,000	272,000	2,540
10/12/2018 12:30	29,015	42,668	27,974	46,958	37,508	28,360	34,860	41,050	35,520	1,134,000	292,000	1,580
10/12/2018 12:40	28,766	43,659	27,899	47,273	34,572	27,960	36,700	38,830	34,030	346,700	328,000	0,890
10/12/2018 12:50	28,444	42,834	27,702	46,568	34,757	27,750	35,000	36,590	32,560	871,000	299,000	1,930
10/12/2018 13:00	28,941	41,835	28,097	45,575	40,171	29,010	32,450	43,520	35,010	1,144,000	52,000	0,380
10/12/2018 13:10	29,389	40,360	28,543	44,223	37,976	29,010	32,140	45,810	36,280	437,300	290,000	3,080
10/12/2018 13:20	29,640	38,120	28,816	41,292	40,400	29,250	30,820	44,870	36,240	1,139,000	231,000	2,410
10/12/2018 13:30	30,293	36,104	29,115	39,268	41,065	30,200	28,240	47,630	37,780	1,143,000	31,000	2,240
10/12/2018 13:40	30,369	36,852	29,040	41,218	34,466	29,620	30,170	39,620	35,880	223,300	48,000	1,930
10/12/2018 13:50	30,419	36,284	29,515	39,309	39,234	30,230	28,610	44,910	36,900	423,000	51,000	2,060
10/12/2018 14:00	30,748	35,100	29,740	38,398	41,152	30,640	27,290	46,400	37,870	1,144,000	295,000	0,270
10/12/2018 14:10	31,153	34,223	30,192	38,143	41,825	30,980	27,080	47,920	38,770	1,172,000	313,000	3,240
10/12/2018 14:20	30,976	33,255	29,865	36,903	34,651	30,300	26,810	38,500	36,330	603,300	338,000	2,900
10/12/2018 14:30	30,394	32,932	29,340	37,019	33,914	29,590	26,810	36,220	34,140	248,000	290,000	1,370
10/12/2018 14:40	30,621	32,066	29,740	35,849	40,775	30,780	25,110	43,980	36,030	1,091,000	204,000	1,270
10/12/2018 14:50	31,255	30,821	30,394	34,763	39,573	31,420	24,130	45,570	37,950	241,900	268,000	1,420
10/12/2018 15:00	31,637	30,441	30,621	34,310	41,766	31,590	23,790	46,430	38,790	1,051,000	330,000	1,640
10/12/2018 15:10	32,098	29,309	30,950	33,219	43,193	32,070	23,170	48,260	40,300	1,012,000	292,000	1,550
10/12/2018 15:20	32,433	27,189	31,153	31,634	42,743	32,460	20,760	48,460	41,040	978,000	272,000	1,740
10/12/2018 15:30	32,587	27,895	31,331	31,649	42,923	32,660	21,030	47,850	41,290	952,000	187,000	0,210
10/12/2018 15:40	32,691	29,494	31,714	33,390	43,223	33,610	21,710	48,400	42,000	900,000	262,000	2,990
10/12/2018 15:50	32,484	29,788	31,052	34,756	40,000	32,170	23,570	45,620	40,580	885,000	310,000	2,740
10/12/2018 16:00	32,253	30,389	31,026	35,059	41,707	32,510	23,330	45,250	40,290	827,000	294,000	0,650
10/12/2018 16:10	32,047	32,053	30,571	37,275	37,563	31,830	25,610	43,360	38,840	476,300	266,000	2,720
10/12/2018 16:20	31,459	33,299	30,167	37,638	36,335	31,080	26,830	39,320	36,590	759,900	312,000	2,500
10/12/2018 16:30	30,900	34,335	29,865	38,745	33,521	30,300	27,850	36,600	34,780	177,600	249,000	1,230
10/12/2018 16:40	30,646	34,922	29,840	38,676	34,651	30,580	27,480	37,240	34,470	380,400	328,000	1,650
10/12/2018 16:50	30,293	34,009	29,690	37,523	32,820	30,110	27,340	34,800	33,240	160,300	200,000	0,590
10/12/2018 17:00	30,268	35,359	29,865	38,611	35,636	30,940	27,250	40,050	34,500	176,700	229,000	1,480
10/12/2018 17:10	30,016	35,673	29,540	38,978	32,717	30,060	28,750	35,780	33,350	194,100	200,000	2,470
10/12/2018 17:20	29,890	42,402	29,515	47,083	33,131	30,300	31,870	35,990	33,250	188,400	50,000	0,270
10/12/2018 17:30	29,340	48,976	28,270	54,629	31,153	29,390	41,120	34,780	32,200	157,700	172,000	1,830
10/12/2018 17:40	28,593	50,459	27,407	55,832	29,040	28,410	44,250	31,590	30,590	112,500	158,000	1,750
10/12/2018 17:50	28,196	50,792	27,112	56,292	28,295	28,080	43,060	30,110	29,510	90,200	145,000	1,630
10/12/2018 18:00	27,924	52,642	26,867	57,947	28,072	27,810	45,000	29,650	29,030	91,700	115,000	2,080
10/12/2018 18:10	27,554	50,195	26,402	55,403	27,333	27,400	43,640	29,180	28,530	83,000	105,000	2,310
10/12/2018 18:20	27,284	50,992	26,304	56,017	27,505	27,220	43,520	28,900	28,230	93,000	128,000	2,220
10/12/2018 18:30	27,186	52,286	26,378	56,873	27,974	27,420	43,830	29,420	28,190	68,910	160,000	2,970
10/12/2018 18:40	27,063	53,096	26,280	57,578	27,284	27,120	44,980	28,590	27,900	52,020	122,000	0,910
10/12/2018 18:50	27,038	51,693	26,353	55,301	27,161	26,950	45,260	28,140	27,660	35,780	153,000	2,190
10/12/2018 19:00	26,965	51,938	26,256	56,041	26,842	26,920	43,900	27,840	27,440	37,320	147,000	1,230
10/12/2018 19:10	26,867	53,481	26,036	58,040	26,598	26,810	45,870	27,720	27,320	39,080	123,000	1,710
10/12/2018 19:20	26,769	54,731	26,036	59,065	26,500	26,580	47,200	27,400	27,110	33,370	122,000	1,130
10/12/2018 19:30	26,720	56,642	25,866	61,387	26,158	26,590	49,140	27,320	27,000	21,510	101,000	0,970

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
10/12/2018 19:40	26,573	52,203	25,720	55,241	25,841	26,430	48,130	27,030	26,800	9,000	129,000	1,720
10/12/2018 19:50	26,402	50,459	25,623	54,442	25,453	26,220	42,820	26,640	26,580	0,000	71,000	0,750
10/12/2018 20:00	26,280	50,155	25,550	54,243	25,162	26,160	42,860	26,320	26,360	0,000	134,000	1,980
10/12/2018 20:10	26,182	50,972	25,525	54,711	24,919	25,920	43,570	26,120	26,190	0,000	53,000	0,750
10/12/2018 20:20	26,012	51,077	25,331	55,028	24,798	25,710	43,950	25,870	25,970	0,000	111,000	1,580
10/12/2018 20:30	25,890	49,273	25,258	52,814	24,798	25,710	42,210	25,810	25,840	0,000	118,000	1,960
10/12/2018 20:40	25,841	50,130	25,162	54,156	24,726	25,680	42,350	25,830	25,790	0,000	115,000	1,100
10/12/2018 20:50	25,744	50,977	24,992	55,105	24,653	25,580	43,740	25,820	25,720	0,000	123,000	2,140
10/12/2018 21:00	25,647	50,519	24,968	54,411	24,629	25,440	43,440	25,660	25,610	0,000	109,000	1,660
10/12/2018 21:10	25,574	50,732	24,919	54,530	24,605	25,370	43,610	25,650	25,570	0,000	119,000	1,720
10/12/2018 21:20	25,525	51,552	24,871	55,526	24,508	25,410	43,980	25,580	25,510	0,000	139,000	2,170
10/12/2018 21:30	25,453	52,967	24,798	56,951	24,388	25,380	45,440	25,520	25,480	0,000	129,000	1,140
10/12/2018 21:40	25,380	53,147	24,774	56,885	24,315	25,170	45,780	25,350	25,350	0,000	28,000	1,880
10/12/2018 21:50	25,307	53,263	24,750	56,445	24,243	25,030	46,090	25,200	25,210	0,000	34,000	1,040
10/12/2018 22:00	25,162	51,756	24,677	54,558	24,098	24,760	44,900	24,970	25,040	0,000	31,000	1,510
10/12/2018 22:10	25,065	49,326	24,653	52,035	23,954	24,660	42,320	24,810	24,910	0,000	46,000	1,820
10/12/2018 22:20	24,992	48,581	24,605	51,142	23,761	24,640	41,880	24,640	24,810	0,000	57,000	1,050
10/12/2018 22:30	24,871	48,822	24,460	51,724	23,545	24,500	41,910	24,430	24,670	0,000	104,000	2,050
10/12/2018 22:40	24,774	49,161	24,339	51,992	23,040	24,430	42,390	24,150	24,560	0,000	80,000	1,250
10/12/2018 22:50	24,677	49,626	24,243	52,327	22,657	24,230	42,760	23,880	24,410	0,000	80,000	0,620
10/12/2018 23:00	24,581	49,932	24,146	52,912	22,657	24,130	43,310	23,700	24,270	0,000	113,000	1,060
10/12/2018 23:10	24,460	50,584	24,050	53,590	22,513	24,170	43,920	23,630	24,180	0,000	59,000	0,730
10/12/2018 23:20	24,388	50,986	24,002	54,023	22,393	23,970	44,440	23,530	24,100	0,000	102,000	0,840
10/12/2018 23:30	24,291	51,670	23,905	54,760	22,130	23,930	44,880	23,390	24,010	0,000	83,000	0,650
10/12/2018 23:40	24,219	52,575	23,785	55,555	21,891	23,870	45,700	23,260	23,910	0,000	53,000	0,300
10/12/2018 23:50	24,122	53,663	23,737	56,606	22,106	23,830	46,750	23,210	23,810	0,000	101,000	0,510
11/12/2018 00:00	24,026	54,621	23,665	57,402	21,987	23,700	47,870	23,130	23,720	0,000	60,000	0,460
11/12/2018 00:10	23,954	55,361	23,593	58,318	21,939	23,520	48,830	23,050	23,650	0,000	84,000	0,890
11/12/2018 00:20	23,857	56,095	23,497	58,951	21,891	23,490	49,540	22,990	23,560	0,000	90,000	1,590
11/12/2018 00:30	23,785	56,395	23,376	59,148	21,891	23,390	50,150	22,890	23,490	0,000	17,000	0,650
11/12/2018 00:40	23,689	56,132	23,280	58,671	21,604	23,320	49,710	22,760	23,360	0,000	20,000	0,610
11/12/2018 00:50	23,617	54,093	23,232	56,127	21,581	23,080	47,980	22,620	23,260	0,000	75,000	1,240
11/12/2018 01:00	23,521	52,196	23,184	54,407	21,390	23,150	45,320	22,570	23,230	0,000	104,000	0,320
11/12/2018 01:10	23,448	51,303	23,112	53,458	21,485	23,120	44,300	22,490	23,140	0,000	57,000	0,630
11/12/2018 01:20	23,376	51,577	23,040	54,074	21,366	23,010	44,610	22,460	23,080	0,000	84,000	0,980
11/12/2018 01:30	23,280	51,690	22,920	54,525	21,151	22,880	45,190	22,360	22,990	0,000	41,000	1,500
11/12/2018 01:40	23,184	52,495	22,800	55,100	21,008	22,710	45,870	22,230	22,860	0,000	93,000	0,710
11/12/2018 01:50	23,112	52,894	22,705	55,490	21,032	22,650	46,380	22,170	22,760	0,000	52,000	0,790
11/12/2018 02:00	23,040	53,260	22,633	56,163	20,936	22,690	46,790	22,060	22,700	0,000	35,000	0,660
11/12/2018 02:10	22,944	53,716	22,489	56,637	20,555	22,490	47,170	21,930	22,630	0,000	98,000	0,620
11/12/2018 02:20	22,872	54,331	22,345	57,234	20,317	22,590	47,620	21,810	22,510	0,000	88,000	0,800
11/12/2018 02:30	22,800	54,851	22,202	57,890	19,912	22,390	48,370	21,670	22,440	0,000	129,000	0,310
11/12/2018 02:40	22,705	55,459	22,082	58,487	19,865	22,350	48,570	21,570	22,330	0,000	119,000	0,380
11/12/2018 02:50	22,633	56,039	21,939	59,231	19,365	22,220	49,490	21,450	22,200	0,000	54,000	0,180
11/12/2018 03:00	22,537	56,365	21,843	59,828	19,674	21,910	50,200	21,280	22,110	0,000	62,000	0,760
11/12/2018 03:10	22,465	56,819	21,795	60,430	19,841	21,980	50,680	21,270	22,000	0,000	59,000	0,450
11/12/2018 03:20	22,369	57,577	21,724	60,785	19,841	21,840	51,150	21,330	21,930	0,000	40,000	0,640
11/12/2018 03:30	22,298	57,781	21,652	61,047	19,865	21,940	51,600	21,220	21,900	0,000	105,000	0,500
11/12/2018 03:40	22,226	57,986	21,604	61,282	19,936	21,810	51,730	21,210	21,790	0,000	41,000	0,850
11/12/2018 03:50	22,154	58,467	21,557	61,608	19,936	21,640	52,310	21,150	21,720	0,000	37,000	1,290
11/12/2018 04:00	22,082	58,579	21,533	61,877	20,055	21,600	52,280	21,130	21,720	0,000	89,000	1,250
11/12/2018 04:10	22,034	58,940	21,509	62,176	20,055	21,640	52,650	21,120	21,670	0,000	36,000	1,180
11/12/2018 04:20	21,963	59,480	21,461	62,411	20,007	21,670	52,760	21,090	21,630	0,000	82,000	1,250
11/12/2018 04:30	21,915	59,747	21,413	62,675	19,984	21,570	53,000	21,050	21,600	0,000	35,000	1,030
11/12/2018 04:40	21,867	59,893	21,413	62,826	20,126	21,500	53,440	21,020	21,570	0,000	82,000	1,290
11/12/2018 04:50	21,843	60,499	21,437	63,373	20,269	21,440	53,910	21,070	21,540	0,000	82,000	1,230
11/12/2018 05:00	21,795	61,769	21,366	64,833	20,079	21,470	54,770	21,030	21,510	0,000	42,000	0,880
11/12/2018 05:10	21,748	63,002	21,342	65,817	20,126	21,470	55,990	21,000	21,500	0,000	30,000	0,830
11/12/2018 05:20	21,700	63,899	21,318	66,648	20,150	21,440	56,940	20,970	21,470	0,000	80,000	1,690
11/12/2018 05:30	21,652	65,032	21,270	67,679	20,174	21,400	57,790	20,970	21,440	0,000	44,000	2,980
11/12/2018 05:40	21,628	65,687	21,223	68,500	20,126	21,270	58,850	20,930	21,400	0,000	82,000	2,200
11/12/2018 05:50	21,581	66,276	21,151	68,930	19,865	21,230	59,560	20,860	21,350	0,000	17,000	0,790
11/12/2018 06:00	21,533	66,775	21,056	69,620	19,674	21,200	59,970	20,750	21,270	0,000	42,000	0,680
11/12/2018 06:10	21,485	67,124	20,984	70,195	19,627	21,130	60,620	20,680	21,210	0,000	91,000	1,070
11/12/2018 06:20	21,413	67,824	20,913	70,856	19,698	21,130	60,860	20,660	21,170	3,955,00	52,000	3,100
11/12/2018 06:30	21,366	68,378	20,841	71,310	19,865	21,030	61,740	20,720	21,120	12,310	49,000	1,690
11/12/2018 06:40	21,342	68,581	20,865	71,432	20,484	20,960	62,080	20,800	21,150	33,400	53,000	1,370
11/12/2018 06:50	21,366	68,762	20,984	70,986	22,274	21,030	61,640	21,090	21,260	72,070	36,000	2,490

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)							VELOC. DO VENTO (m/s)
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)		
11/12/2018 07:00	21,413	68,742	21,199	70,352	23,617	21,270	61,440	21,480	21,440	103,300	10,000	1,490	
11/12/2018 07:10	21,509	68,522	21,318	69,845	25,065	21,400	61,100	21,890	21,710	135,800	48,000	0,470	
11/12/2018 07:20	21,628	68,159	21,795	68,070	26,256	21,670	60,010	22,440	22,050	171,800	88,000	1,400	
11/12/2018 07:30	21,795	67,476	21,987	67,510	26,842	21,950	59,090	22,970	22,410	208,700	140,000	1,470	
11/12/2018 07:40	22,011	66,620	22,321	66,376	27,628	22,360	57,280	23,570	22,910	247,400	84,000	0,770	
11/12/2018 07:50	22,274	65,619	22,657	64,784	28,245	22,690	55,480	24,160	23,410	284,800	32,000	1,320	
11/12/2018 08:00	22,585	64,982	22,896	64,644	29,090	23,000	55,000	24,620	23,830	324,700	72,000	0,990	
11/12/2018 08:10	22,944	63,776	23,497	62,564	30,697	23,850	52,310	25,610	24,580	363,400	94,000	1,020	
11/12/2018 08:20	23,280	62,376	23,930	61,108	32,381	24,380	50,290	26,290	25,180	400,300	36,000	0,580	
11/12/2018 08:30	23,569	61,294	24,171	59,888	33,809	24,750	48,930	27,030	25,730	462,700	28,000	0,930	
11/12/2018 08:40	23,785	59,950	24,050	59,869	31,281	24,680	48,620	27,200	25,980	220,100	352,000	1,410	
11/12/2018 08:50	24,098	58,890	24,315	58,985	33,287	25,390	46,470	28,150	26,490	463,500	89,000	0,930	
11/12/2018 09:00	24,629	57,392	24,871	57,646	34,519	26,400	43,480	29,740	27,420	658,900	41,000	1,040	
11/12/2018 09:10	25,258	55,519	25,162	56,693	35,609	27,380	40,480	30,940	28,250	593,600	74,000	1,420	
11/12/2018 09:20	25,744	54,270	25,453	55,861	36,281	27,690	40,170	31,460	28,970	538,500	77,000	1,070	
11/12/2018 09:30	26,134	53,220	25,453	55,986	34,889	27,590	40,480	31,540	29,440	803,000	10,000	1,640	
11/12/2018 09:40	26,867	51,191	26,109	54,101	36,606	28,590	37,440	33,400	30,920	795,200	76,000	1,340	
11/12/2018 09:50	27,358	49,944	26,524	53,148	37,618	28,620	37,570	33,490	31,860	909,000	29,000	0,690	
11/12/2018 10:00	27,186	49,409	26,500	52,415	34,413	27,460	39,650	32,430	30,870	864,000	64,000	1,500	
11/12/2018 10:10	27,554	47,974	26,867	50,872	37,700	28,300	37,030	37,530	31,730	883,000	9,000	1,000	
11/12/2018 10:20	27,653	47,696	27,063	50,674	35,985	27,980	37,800	38,410	31,720	866,000	343,000	2,030	
11/12/2018 10:30	28,097	46,844	27,579	49,363	37,563	28,900	36,510	43,820	32,120	855,000	72,000	2,310	
11/12/2018 10:40	28,692	44,273	27,875	47,982	37,866	28,990	34,150	45,000	32,940	875,000	309,000	1,190	
11/12/2018 10:50	29,090	44,057	27,924	48,053	38,449	29,390	34,080	42,630	33,910	905,000	347,000	2,740	
11/12/2018 11:00	29,540	42,561	28,048	47,810	39,375	29,720	33,030	40,400	35,420	987,000	284,000	0,300	
11/12/2018 11:10	29,941	41,382	28,791	45,528	42,535	30,350	32,750	38,060	36,630	949,000	292,000	0,590	
11/12/2018 11:20	30,142	40,806	28,990	45,388	39,093	30,010	32,100	35,610	36,410	975,000	24,000	0,800	
11/12/2018 11:30	30,545	39,950	29,090	44,942	39,403	30,550	31,490	35,210	36,920	986,000	3,000	0,820	
11/12/2018 11:40	30,748	40,305	29,464	45,052	39,743	30,480	32,300	35,200	37,330	983,000	306,000	2,310	
11/12/2018 11:50	30,925	39,322	29,765	43,576	39,914	30,410	31,960	35,030	37,560	1.001,00	321,000	3,420	
11/12/2018 12:00	30,925	39,389	29,540	44,405	38,756	30,380	31,860	34,810	37,460	1.005,00	278,000	2,650	
11/12/2018 12:10	30,950	39,258	29,515	44,270	39,065	30,110	31,860	35,870	36,980	1.039,00	311,000	1,160	
11/12/2018 12:20	31,026	38,998	29,565	43,849	41,065	30,550	31,790	40,080	37,560	1.129,00	126,000	0,870	
11/12/2018 12:30	31,714	38,061	30,596	42,150	44,688	32,040	29,380	47,130	39,700	1.167,00	319,000	1,000	
11/12/2018 12:40	31,331	37,485	30,192	41,376	35,208	30,620	30,570	39,110	36,450	281,500	341,000	1,700	
11/12/2018 12:50	30,621	38,655	29,640	42,672	33,966	30,010	31,620	35,070	33,640	241,200	233,000	1,780	
11/12/2018 13:00	30,293	37,415	29,240	41,570	33,966	29,880	30,340	34,160	32,620	275,000	48,000	0,460	
11/12/2018 13:10	30,672	38,158	29,340	43,462	41,298	31,250	28,170	44,800	35,950	1.187,00	198,000	1,030	
11/12/2018 13:20	31,357	36,948	30,091	41,895	42,267	31,460	29,260	47,270	37,800	1.109,00	116,000	0,540	
11/12/2018 13:30	31,996	35,692	30,849	40,382	42,863	32,040	28,170	49,020	39,280	1.113,00	260,000	1,280	
11/12/2018 13:40	32,175	35,777	30,925	40,057	42,060	31,490	29,020	49,070	39,290	1.127,00	259,000	2,470	
11/12/2018 13:50	32,768	34,643	30,950	40,326	44,442	32,150	28,060	50,950	40,890	1.132,00	233,000	0,420	
11/12/2018 14:00	33,209	32,633	31,306	38,154	43,556	32,860	26,220	50,540	41,470	1.157,00	256,000	2,020	
11/12/2018 14:10	33,053	33,167	31,331	38,291	39,829	32,050	27,110	46,230	39,620	334,200	105,000	1,750	
11/12/2018 14:20	32,407	35,154	31,001	39,998	35,823	31,500	29,280	38,840	36,610	267,300	191,000	1,270	
11/12/2018 14:30	32,124	35,399	31,052	39,502	41,590	31,740	28,910	45,090	37,490	1.076,00	226,000	2,540	
11/12/2018 14:40	32,613	34,901	31,535	38,815	41,707	32,660	27,450	47,480	39,300	980,000	292,000	2,240	
11/12/2018 14:50	32,536	35,370	31,281	39,794	37,755	31,840	28,940	43,990	38,470	265,100	315,000	2,810	
11/12/2018 15:00	31,919	36,463	30,773	40,174	34,045	30,820	30,500	36,140	34,740	140,300	9,000	0,610	
11/12/2018 15:10	31,255	38,216	30,495	42,271	33,001	30,310	31,280	33,610	32,800	117,100	303,000	1,530	
11/12/2018 15:20	30,748	39,704	30,167	42,599	32,820	30,160	32,380	32,850	31,840	135,500	340,000	0,440	
11/12/2018 15:30	30,419	40,070	30,066	42,819	33,157	30,170	32,210	33,150	31,670	178,300	286,000	0,840	
11/12/2018 15:40	30,343	40,562	30,192	42,568	34,150	30,480	31,600	33,940	31,940	221,300	302,000	0,820	
11/12/2018 15:50	30,394	39,334	30,117	42,163	33,992	30,390	31,810	34,460	32,140	235,200	334,000	1,030	
11/12/2018 16:00	30,520	39,347	30,293	41,188	35,368	30,800	30,830	35,310	32,700	667,600	300,000	1,740	
11/12/2018 16:10	31,052	37,457	30,925	39,723	41,473	32,500	27,700	43,500	36,400	759,600	255,000	1,280	
11/12/2018 16:20	31,510	35,341	31,179	38,175	39,686	33,040	26,070	43,720	38,090	530,300	146,000	1,680	
11/12/2018 16:30	32,021	34,098	31,331	37,283	40,400	34,180	24,190	46,070	40,030	677,600	42,000	1,530	
11/12/2018 16:40	32,381	33,517	31,663	37,248	41,913	34,780	23,170	48,210	41,530	600,500	329,000	1,300	
11/12/2018 16:50	32,124	36,381	31,128	40,645	34,466	32,420	28,530	40,050	38,330	155,900	352,000	2,080	
11/12/2018 17:00	31,281	38,152	30,394	41,796	31,637	30,550	31,660	34,070	34,350	55,250	94,000	0,960	
11/12/2018 17:10	30,495	39,411	29,991	42,678	30,748	29,670	32,910	31,690	31,980	40,790	250,000	1,200	
11/12/2018 17:20	29,966	40,887	29,865	43,126	30,571	29,380	33,570	30,910	30,870	42,540	293,000	1,150	
11/12/2018 17:30	29,490	45,807	28,916	49,858	29,414	28,740	39,890	30,210	29,990	53,300	241,000	1,060	
11/12/2018 17:40	29,090	47,063	28,493	50,671	29,265	28,350	41,190	29,810	29,330	32,470	289,000	1,030	
11/12/2018 17:50	28,990	44,930	28,593	48,331	29,190	28,730	37,080	29,770	29,200	24,130	166,000	0,720	
11/12/2018 18:00	29,140	43,077	28,941	45,153	29,540	29,100	35,930	29,980	29,380	34,450	65,000	0,450	
11/12/2018 18:10	29,389	42,907	28,941	46,035	29,439	29,520	34,130	30,320	29,710	32,040	102,000	0,780	

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
11/12/2018 18:20	29,439	42,913	28,816	46,541	29,140	29,290	34,710	30,160	29,700	22,390	69,000	0,580
11/12/2018 18:30	29,365	43,267	28,593	47,164	28,916	29,190	35,360	29,870	29,560	34,020	119,000	1,020
11/12/2018 18:40	29,165	48,014	28,345	52,731	28,667	28,850	40,940	29,700	29,390	18,660	204,000	2,130
11/12/2018 18:50	28,816	51,356	28,097	55,806	28,122	28,440	44,200	29,130	28,910	7,901,00	192,000	0,490
11/12/2018 19:00	28,419	54,587	27,653	59,315	27,579	27,870	48,450	28,570	28,480	9,660	140,000	0,350
11/12/2018 19:10	27,974	57,550	27,186	62,308	27,014	27,530	50,560	28,190	28,080	4,170	129,000	2,550
11/12/2018 19:20	27,604	59,743	26,818	64,304	26,646	27,190	53,210	27,800	27,630	1,098,00	105,000	0,470
11/12/2018 19:30	27,407	60,799	26,475	65,678	26,329	27,190	53,930	27,620	27,470	0,000	125,000	1,210
11/12/2018 19:40	27,161	60,574	26,231	65,515	25,987	26,880	53,620	27,300	27,230	0,000	152,000	0,490
11/12/2018 19:50	26,965	58,461	26,158	62,664	25,671	26,650	52,100	26,980	27,000	0,000	83,000	0,660
11/12/2018 20:00	26,842	58,442	26,085	62,652	25,404	26,590	51,460	26,660	26,830	0,000	128,000	1,930
11/12/2018 20:10	26,818	57,377	26,036	61,538	25,331	26,560	50,000	26,580	26,760	0,000	110,000	2,090
11/12/2018 20:20	26,720	56,423	25,939	60,536	25,210	26,390	49,350	26,390	26,600	0,000	138,000	1,760
11/12/2018 20:30	26,573	56,307	25,890	60,096	25,210	26,260	49,320	26,350	26,470	0,000	95,000	0,580
11/12/2018 20:40	26,378	56,122	25,647	60,119	25,137	26,050	49,350	26,280	26,290	0,000	141,000	2,140
11/12/2018 20:50	26,231	56,257	25,574	59,984	24,895	25,950	49,150	26,080	26,140	0,000	135,000	1,530
11/12/2018 21:00	26,036	58,662	25,404	62,663	24,291	25,780	51,500	25,760	25,970	0,000	101,000	0,620
11/12/2018 21:10	25,890	58,360	25,186	62,137	24,146	25,610	51,770	25,460	25,760	0,000	129,000	1,160
11/12/2018 21:20	25,768	58,434	25,089	62,305	24,219	25,410	51,330	25,460	25,660	0,000	187,000	1,920
11/12/2018 21:30	25,671	57,517	25,040	60,948	24,171	25,410	50,170	25,390	25,610	0,000	175,000	0,900
11/12/2018 21:40	25,598	56,352	24,992	59,708	24,267	25,540	49,350	25,380	25,540	0,000	121,000	1,980
11/12/2018 21:50	25,453	54,449	24,774	58,438	24,146	25,200	47,280	25,350	25,440	0,000	133,000	1,660
11/12/2018 22:00	25,331	55,185	24,629	58,972	23,930	25,170	47,650	25,170	25,300	0,000	132,000	0,940
11/12/2018 22:10	25,258	55,206	24,532	59,266	23,930	25,070	47,790	25,070	25,200	0,000	120,000	1,350
11/12/2018 22:20	25,162	56,256	24,388	60,383	23,881	24,970	48,710	25,100	25,100	0,000	89,000	1,080
11/12/2018 22:30	25,089	56,308	24,363	60,256	23,809	24,770	49,400	24,980	25,010	0,000	148,000	1,240
11/12/2018 22:40	25,016	57,481	24,291	61,533	23,521	24,770	50,350	24,810	24,910	0,000	63,000	0,900
11/12/2018 22:50	24,992	58,161	24,146	62,548	23,376	24,700	50,830	24,730	24,840	0,000	92,000	1,510
11/12/2018 23:00	24,944	59,330	24,098	63,970	23,328	24,670	52,050	24,650	24,780	0,000	86,000	1,330
11/12/2018 23:10	24,871	60,121	24,050	64,507	23,232	24,600	53,240	24,580	24,710	0,000	138,000	1,110
11/12/2018 23:20	24,798	59,925	24,002	63,893	23,088	24,600	53,070	24,440	24,640	0,000	61,000	1,180
11/12/2018 23:30	24,750	59,145	24,002	62,707	23,184	24,540	52,190	24,340	24,600	0,000	99,000	0,840
11/12/2018 23:40	24,726	58,894	24,050	62,228	23,112	24,540	51,810	24,340	24,540	0,000	92,000	1,730
11/12/2018 23:50	24,726	56,192	24,050	59,129	23,040	24,500	49,840	24,310	24,500	0,000	55,000	1,560
12/12/2018 00:00	24,677	55,529	24,026	58,786	22,896	24,300	48,450	24,110	24,440	0,000	27,000	1,560
12/12/2018 00:10	24,581	56,170	23,978	59,703	22,896	24,100	49,400	23,950	24,280	0,000	56,000	0,880
12/12/2018 00:20	24,532	57,657	23,930	61,200	23,136	24,170	50,830	24,140	24,260	0,000	65,000	1,090
12/12/2018 00:30	24,508	58,087	23,905	61,502	23,136	24,070	51,550	24,200	24,270	0,000	115,000	1,420
12/12/2018 00:40	24,460	58,328	23,857	61,799	23,064	24,100	51,480	24,130	24,240	0,000	91,000	3,030
12/12/2018 00:50	24,436	58,788	23,809	62,158	22,872	24,140	51,720	24,010	24,210	0,000	82,000	0,930
12/12/2018 01:00	24,363	58,900	23,737	62,298	22,705	23,870	52,360	23,740	24,100	0,000	73,000	0,780
12/12/2018 01:10	24,291	59,105	23,665	62,287	22,393	23,830	52,500	23,580	23,980	0,000	66,000	0,700
12/12/2018 01:20	24,195	57,915	23,641	61,031	22,441	23,800	51,680	23,490	23,900	0,000	78,000	1,110
12/12/2018 01:30	24,122	58,369	23,569	61,722	22,345	23,660	51,680	23,420	23,840	0,000	26,000	0,900
12/12/2018 01:40	24,026	59,588	23,448	63,103	22,274	23,590	52,980	23,320	23,740	0,000	69,000	0,910
12/12/2018 01:50	23,954	58,960	23,352	61,839	22,106	23,560	52,840	23,230	23,640	0,000	97,000	2,570
12/12/2018 02:00	23,857	57,183	23,328	60,215	22,178	23,560	50,320	23,150	23,610	0,000	24,000	2,730
12/12/2018 02:10	23,809	55,963	23,304	58,737	22,178	23,290	49,570	23,130	23,540	0,000	78,000	1,240
12/12/2018 02:20	23,761	55,021	23,208	57,735	21,939	23,320	48,150	23,020	23,460	0,000	65,000	0,660
12/12/2018 02:30	23,665	53,661	23,088	56,385	21,843	23,220	47,330	22,920	23,400	0,000	113,000	2,570
12/12/2018 02:40	23,545	52,608	22,944	55,805	21,843	23,080	45,800	22,850	23,300	0,000	54,000	1,480
12/12/2018 02:50	23,400	53,342	22,824	56,656	21,700	23,080	46,480	22,760	23,170	0,000	48,000	0,750
12/12/2018 03:00	23,328	54,334	22,729	57,724	21,581	22,810	47,530	22,660	23,080	0,000	46,000	1,780
12/12/2018 03:10	23,280	55,170	22,657	58,790	21,318	22,880	48,350	22,540	22,990	0,000	72,000	1,480
12/12/2018 03:20	23,232	56,872	22,585	60,648	21,342	22,850	50,560	22,450	22,890	0,000	54,000	1,400
12/12/2018 03:30	23,160	57,604	22,513	61,125	21,294	22,720	51,320	22,420	22,850	0,000	63,000	1,320
12/12/2018 03:40	23,088	58,426	22,465	62,060	21,246	22,680	51,660	22,360	22,800	0,000	49,000	1,840
12/12/2018 03:50	23,040	59,157	22,393	62,716	21,246	22,650	52,650	22,290	22,730	0,000	68,000	0,750
12/12/2018 04:00	22,968	59,760	22,321	63,309	21,151	22,490	53,430	22,230	22,670	0,000	38,000	0,920
12/12/2018 04:10	22,920	60,396	22,274	64,086	20,936	22,490	53,770	22,120	22,610	0,000	50,000	1,380
12/12/2018 04:20	22,872	61,152	22,226	64,830	20,984	22,460	54,760	22,080	22,550	0,000	66,000	1,510
12/12/2018 04:30	22,800	61,750	22,202	65,277	20,889	22,350	55,240	22,060	22,500	0,000	54,000	0,610
12/12/2018 04:40	22,776	62,172	22,154	65,599	20,817	22,520	55,340	22,000	22,480	0,000	66,000	0,950
12/12/2018 04:50	22,753	62,411	22,178	65,603	20,960	22,390	55,780	21,970	22,450	0,000	36,000	1,060
12/12/2018 05:00	22,729	62,498	22,178	65,753	20,913	22,250	56,060	21,960	22,410	0,000	101,000	2,210
12/12/2018 05:10	22,705	62,798	22,130	65,954	20,674	22,350	56,290	21,880	22,380	0,000	49,000	0,290
12/12/2018 05:20	22,705	62,979	22,082	66,304	20,507	22,220	56,530	21,780	22,320	0,000	67,000	1,570
12/12/2018 05:30	22,681	62,975	22,011	66,471	20,412	22,250	56,740	21,720	22,270	0,000	83,000	1,240

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
12/12/2018 05:40	22,609	63,054	21,987	66,467	20,555	22,150	56,910	21,700	22,260	0,000	88,000	1,660
12/12/2018 05:50	22,585	63,353	22,011	66,620	20,841	22,080	56,810	21,720	22,230	0,000	48,000	0,750
12/12/2018 06:00	22,513	63,704	21,987	66,795	20,865	22,080	57,250	21,750	22,170	0,000	353,000	0,710
12/12/2018 06:10	22,489	64,032	21,963	66,970	20,817	22,080	57,420	21,730	22,200	0,000	52,000	2,600
12/12/2018 06:20	22,465	64,179	21,939	67,174	20,793	22,010	57,690	21,690	22,170	3,515,00	1,000	2,730
12/12/2018 06:30	22,465	64,148	21,915	67,140	20,674	22,050	57,380	21,750	22,170	11,860	307,000	0,390
12/12/2018 06:40	22,465	64,540	21,891	67,404	21,056	22,110	57,620	21,810	22,230	26,810	243,000	0,270
12/12/2018 06:50	22,465	64,299	22,034	66,744	23,424	22,150	57,080	22,080	22,320	65,690	54,000	0,790
12/12/2018 07:00	22,513	64,398	22,226	66,509	25,065	22,250	57,140	22,500	22,480	96,900	120,000	0,530
12/12/2018 07:10	22,585	63,988	22,705	65,063	27,481	22,520	56,700	22,980	22,790	126,600	91,000	0,460
12/12/2018 07:20	22,681	64,155	23,160	63,085	28,667	22,760	55,480	23,640	23,130	161,700	355,000	0,120
12/12/2018 07:30	22,848	63,064	23,497	62,015	30,041	23,170	53,780	24,250	23,550	195,100	78,000	0,260
12/12/2018 07:40	23,040	62,914	24,050	60,452	30,520	23,480	53,340	24,780	24,050	234,700	128,000	0,810
12/12/2018 07:50	23,280	61,858	24,291	59,629	31,153	23,940	51,590	25,410	24,550	273,800	88,000	0,590
12/12/2018 08:00	23,545	61,260	24,581	58,625	31,893	24,310	50,560	26,010	25,050	311,300	60,000	0,990
12/12/2018 08:10	23,809	59,954	24,798	58,007	32,949	24,550	49,640	26,500	25,520	351,500	103,000	0,810
12/12/2018 08:20	24,146	58,527	24,944	56,879	34,308	25,260	47,260	27,210	26,040	392,600	315,000	0,790
12/12/2018 08:30	24,460	57,770	25,428	56,170	35,262	25,630	46,310	27,900	26,570	427,500	10,000	0,210
12/12/2018 08:40	24,871	56,588	25,793	54,812	35,743	25,930	45,040	28,570	27,190	469,200	97,000	0,560
12/12/2018 08:50	25,283	55,742	25,768	55,562	35,155	26,500	43,340	29,110	27,690	505,600	338,000	1,050
12/12/2018 09:00	25,793	53,804	26,329	53,311	35,582	27,720	40,480	29,990	28,350	547,700	27,000	1,160
12/12/2018 09:10	26,256	52,699	26,500	53,524	35,716	27,760	39,690	30,390	28,740	585,900	355,000	0,470
12/12/2018 09:20	26,769	51,210	27,063	51,760	36,335	28,670	37,520	31,260	29,590	616,800	9,000	0,060
12/12/2018 09:30	27,210	49,347	27,259	50,476	36,065	28,490	37,780	31,660	30,190	657,300	320,000	1,190
12/12/2018 09:40	27,702	48,541	27,431	50,435	36,715	28,960	36,420	32,460	31,210	688,000	10,000	2,140
12/12/2018 09:50	28,048	47,713	27,727	49,639	36,987	28,850	36,690	32,860	32,060	720,400	288,000	0,840
12/12/2018 10:00	28,593	46,286	28,245	48,610	37,866	29,600	34,270	34,890	32,740	751,500	108,000	0,450
12/12/2018 10:10	29,265	44,897	28,667	48,017	38,226	30,230	33,750	38,430	33,470	781,700	348,000	0,650
12/12/2018 10:20	29,590	44,279	29,140	46,744	38,700	29,950	34,300	41,780	33,640	816,000	3,000	0,820
12/12/2018 10:30	29,941	43,200	29,565	45,751	40,228	30,620	32,560	45,320	34,150	834,000	251,000	0,690
12/12/2018 10:40	30,016	42,879	29,665	45,337	39,743	30,200	33,780	44,720	34,190	849,000	43,000	0,970
12/12/2018 10:50	30,394	40,600	29,765	43,708	39,601	30,700	31,430	43,660	34,870	885,000	27,000	0,630
12/12/2018 11:00	30,419	39,570	29,665	43,235	38,282	30,210	32,000	39,350	34,890	907,000	326,000	1,790
12/12/2018 11:10	30,798	38,472	29,715	42,746	39,234	30,690	30,130	36,830	35,950	933,000	344,000	1,170
12/12/2018 11:20	31,230	38,147	30,167	42,102	39,234	31,300	29,890	35,840	36,830	938,000	277,000	1,790
12/12/2018 11:30	31,561	37,036	30,571	40,985	40,257	31,470	29,140	35,670	37,290	959,000	316,000	0,680
12/12/2018 11:40	32,021	36,979	30,646	41,691	40,487	32,210	28,670	36,020	38,420	967,000	275,000	3,980
12/12/2018 11:50	32,150	35,299	30,773	39,640	36,606	31,740	28,600	35,710	38,090	179,800	291,000	2,270
12/12/2018 12:00	32,073	35,496	30,849	39,615	40,688	31,540	28,430	35,280	37,680	1,008,00	301,000	0,710
12/12/2018 12:10	32,201	34,863	31,052	39,235	40,660	31,880	28,400	37,550	38,650	1,025,00	315,000	1,260
12/12/2018 12:20	32,175	35,811	31,128	39,410	41,795	31,910	28,740	41,460	38,940	943,000	327,000	0,190
12/12/2018 12:30	32,253	34,255	31,128	38,136	40,891	32,010	27,890	43,050	38,520	1,098,00	309,000	2,220
12/12/2018 12:40	32,742	34,505	31,408	38,735	42,684	32,550	27,410	47,240	39,600	1,134,00	35,000	2,010
12/12/2018 12:50	32,949	34,421	31,535	39,151	39,431	32,520	27,820	44,460	39,180	281,100	303,000	1,860
12/12/2018 13:00	32,665	35,653	31,586	39,926	39,971	32,080	29,450	42,890	37,860	1,120,00	341,000	0,780
12/12/2018 13:10	32,768	35,595	31,765	39,342	42,564	32,490	28,360	47,770	39,280	1,124,00	302,000	1,570
12/12/2018 13:20	33,053	34,090	31,970	38,019	41,854	32,590	27,240	49,030	40,150	695,300	350,000	0,430
12/12/2018 13:30	32,742	35,117	31,586	39,122	39,743	31,770	29,450	43,560	37,660	1,085,00	348,000	2,400
12/12/2018 13:40	32,898	33,017	31,970	36,806	41,327	32,380	26,700	47,240	38,780	1,075,00	249,000	1,780
12/12/2018 13:50	33,443	31,623	32,253	36,021	42,564	33,170	25,510	48,870	40,370	1,047,00	313,000	1,810
12/12/2018 14:00	33,730	32,473	32,433	36,715	42,386	33,060	26,460	48,910	40,780	1,025,00	312,000	2,650
12/12/2018 14:10	33,940	31,803	32,587	36,155	43,435	33,540	25,370	49,630	41,390	1,012,00	240,000	1,670
12/12/2018 14:20	34,334	29,868	32,691	34,704	41,972	33,950	23,810	49,180	41,530	1,014,00	289,000	2,380
12/12/2018 14:30	34,598	29,230	33,287	33,427	45,092	34,010	23,910	51,140	42,280	1,030,00	301,000	3,120
12/12/2018 14:40	34,942	25,768	33,469	29,936	44,043	34,590	20,820	51,810	42,760	1,064,00	285,000	3,180
12/12/2018 14:50	35,075	27,527	33,287	31,954	43,163	34,480	21,360	50,870	42,640	790,500	245,000	1,690
12/12/2018 15:00	34,440	29,426	32,820	34,444	39,346	33,530	23,740	42,240	39,350	1,002,00	335,000	0,810
12/12/2018 15:10	34,572	28,881	33,417	32,857	43,890	34,380	22,520	48,280	41,020	967,000	288,000	2,230
12/12/2018 15:20	34,545	29,157	33,261	32,432	39,829	33,830	23,540	44,240	40,190	408,800	68,000	1,290
12/12/2018 15:30	34,519	28,807	33,053	33,236	40,142	34,580	22,310	43,690	39,950	892,000	260,000	1,080
12/12/2018 15:40	34,308	29,138	33,521	32,797	44,781	34,920	21,630	47,500	41,560	841,000	234,000	0,290
12/12/2018 15:50	33,861	29,830	33,001	33,265	37,398	33,630	23,400	41,100	39,220	237,900	225,000	0,630
12/12/2018 16:00	33,704	29,506	32,820	33,010	38,924	33,770	23,540	41,380	38,330	199,500	310,000	0,590
12/12/2018 16:10	33,887	29,139	33,157	32,834	41,942	34,420	22,380	43,850	39,080	804,000	251,000	4,410
12/12/2018 16:20	33,730	28,988	32,794	32,939	39,601	33,170	23,100	41,090	37,870	834,000	316,000	1,110
12/12/2018 16:30	33,992	28,558	33,339	32,301	43,193	34,460	21,810	45,320	39,440	753,800	144,000	1,680
12/12/2018 16:40	34,281	28,580	33,600	32,461	43,254	34,970	21,840	46,390	40,540	690,700	291,000	0,960
12/12/2018 16:50	34,334	29,279	33,652	32,877	41,648	34,860	22,280	46,880	40,690	536,500	309,000	1,390

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
12/12/2018 17:00	33,992	29,460	33,287	33,051	38,421	34,480	22,280	44,180	39,780	377,300	295,000	1,770
12/12/2018 17:10	33,757	29,718	33,105	33,240	39,149	34,480	22,480	45,940	39,600	312,400	242,000	2,220
12/12/2018 17:20	33,417	30,622	32,665	34,293	35,235	33,090	24,080	38,180	36,910	148,200	267,000	1,400
12/12/2018 17:30	32,898	31,336	32,278	34,802	34,202	32,480	25,340	35,820	35,040	138,600	230,000	3,310
12/12/2018 17:40	32,484	31,679	31,970	34,943	34,150	31,940	26,190	34,290	33,770	358,300	217,000	0,860
12/12/2018 17:50	32,304	32,349	31,996	35,183	34,045	32,260	25,950	35,030	33,640	106,800	53,000	0,210
12/12/2018 18:00	32,253	36,495	31,816	40,819	33,521	32,300	28,000	34,330	33,380	96,500	108,000	2,040
12/12/2018 18:10	31,944	39,428	31,153	43,800	32,355	31,420	32,760	33,530	32,780	75,450	111,000	1,340
12/12/2018 18:20	31,586	39,323	30,646	43,940	31,510	31,400	32,550	32,900	32,290	68,880	129,000	2,160
12/12/2018 18:30	31,128	41,212	30,293	45,740	30,900	30,660	34,290	32,130	31,650	61,870	126,000	1,200
12/12/2018 18:40	30,925	42,352	30,142	46,703	31,842	30,870	34,740	32,830	31,540	78,980	129,000	1,700
12/12/2018 18:50	30,798	42,437	29,991	46,945	31,052	30,800	34,770	32,560	31,530	78,110	168,000	1,620
12/12/2018 19:00	30,646	42,056	29,740	46,458	30,621	30,730	34,360	32,230	31,390	70,220	143,000	1,340
12/12/2018 19:10	30,419	42,263	29,515	46,920	29,991	30,290	34,810	31,500	30,980	25,670	168,000	1,310
12/12/2018 19:20	30,167	42,632	29,340	47,094	29,515	29,920	35,380	30,800	30,540	13,170	159,000	1,330
12/12/2018 19:30	29,941	42,969	29,165	47,300	28,941	29,580	35,930	30,220	30,130	7.242,00	130,000	0,920
12/12/2018 19:40	29,715	43,142	28,990	47,148	28,667	29,320	36,440	29,830	29,780	1.975,00	149,000	1,060
12/12/2018 19:50	29,615	43,493	28,891	47,526	28,468	29,490	36,410	29,600	29,640	0,000	123,000	1,930
12/12/2018 20:00	29,464	43,081	28,642	47,268	28,196	29,220	35,970	29,440	29,500	0,000	119,000	1,400
12/12/2018 20:10	29,365	42,707	28,518	47,025	27,949	29,260	35,460	29,280	29,380	0,000	138,000	0,890
12/12/2018 20:20	29,240	43,187	28,493	47,282	27,949	28,920	36,080	29,120	29,200	0,000	122,000	1,450
12/12/2018 20:30	29,090	43,038	28,345	47,199	27,875	28,920	35,870	29,080	29,070	0,000	143,000	1,170
12/12/2018 20:40	29,015	43,392	28,320	47,455	27,974	28,960	35,910	29,090	29,030	0,000	126,000	2,480
12/12/2018 20:50	28,891	45,442	28,147	49,951	27,850	28,550	38,180	29,040	28,890	0,000	80,000	1,620
12/12/2018 21:00	28,593	47,034	27,604	51,833	27,210	28,070	40,700	28,690	28,530	0,000	10,000	2,320
12/12/2018 21:10	28,295	49,681	27,210	53,972	26,475	27,830	42,030	28,280	28,140	0,000	142,000	1,060
12/12/2018 21:20	27,875	52,476	26,818	56,186	25,065	27,190	47,530	26,900	26,860	0,000	81,000	0,570
12/12/2018 21:30	27,554	49,810	26,475	54,626	25,671	27,120	43,830	27,220	26,760	0,000	89,000	1,550
12/12/2018 21:40	27,259	49,867	26,061	55,259	25,671	26,930	43,500	27,360	26,940	0,000	78,000	1,380
12/12/2018 21:50	26,842	51,953	25,623	57,572	25,210	26,460	45,680	27,040	26,790	0,000	118,000	1,140
12/12/2018 22:00	26,622	53,541	25,453	59,161	25,065	26,360	46,900	26,830	26,600	0,000	131,000	1,350
12/12/2018 22:10	26,378	54,675	25,307	60,097	25,016	26,190	47,760	26,680	26,430	0,000	126,000	2,010
12/12/2018 22:20	26,280	55,102	25,331	59,854	25,040	26,190	47,990	26,570	26,320	0,000	134,000	1,580
12/12/2018 22:30	26,353	54,829	25,550	58,959	25,089	26,290	47,240	26,660	26,290	0,000	148,000	1,790
12/12/2018 22:40	26,353	53,788	25,550	57,997	24,677	26,260	46,530	26,400	25,770	0,000	107,000	1,630
12/12/2018 22:50	26,085	54,917	25,016	59,928	24,122	25,880	49,250	26,240	25,590	0,000	122,000	1,790
12/12/2018 23:00	25,939	56,183	24,968	60,074	23,424	25,780	49,930	25,930	24,980	0,000	140,000	1,240
12/12/2018 23:10	25,841	54,473	25,016	58,258	23,905	25,750	47,720	25,820	24,800	0,000	128,000	0,780
12/12/2018 23:20	25,817	53,713	25,040	57,889	24,388	25,820	46,360	25,960	25,410	0,000	134,000	2,200
12/12/2018 23:30	25,817	53,555	25,113	57,309	24,557	25,650	46,500	25,860	25,620	0,000	48,000	2,420
12/12/2018 23:40	25,890	52,965	25,258	56,583	24,629	25,650	45,540	25,850	25,720	0,000	33,000	2,260
12/12/2018 23:50	25,890	53,249	25,234	56,766	24,484	25,580	46,600	25,680	25,720	0,000	9,000	1,970
13/12/2018 00:00	25,939	53,256	25,307	56,995	24,532	25,610	46,220	25,670	25,740	0,000	54,000	0,950
13/12/2018 00:10	25,939	53,667	25,258	57,611	24,460	25,680	46,840	25,640	25,750	0,000	55,000	1,060
13/12/2018 00:20	25,890	53,913	25,210	57,759	24,315	25,510	47,350	25,510	25,710	0,000	84,000	1,250
13/12/2018 00:30	25,866	54,161	25,162	58,000	24,219	25,510	47,550	25,410	25,650	0,000	31,000	1,520
13/12/2018 00:40	25,817	54,627	25,113	58,458	23,978	25,280	48,170	25,260	25,550	0,000	107,000	2,590
13/12/2018 00:50	25,768	54,651	25,040	58,416	23,665	25,380	48,710	25,060	25,470	0,000	68,000	2,080
13/12/2018 01:00	25,695	54,704	24,968	58,777	23,737	25,250	48,580	25,000	25,370	0,000	39,000	0,720
13/12/2018 01:10	25,598	55,130	24,895	59,075	23,593	25,150	48,850	24,930	25,300	0,000	87,000	1,210
13/12/2018 01:20	25,525	55,056	24,847	58,573	23,521	25,220	48,550	24,880	25,250	0,000	78,000	1,300
13/12/2018 01:30	25,501	54,613	24,871	58,297	23,593	25,050	48,170	24,830	25,200	0,000	80,000	1,600
13/12/2018 01:40	25,453	54,920	24,847	58,449	23,569	25,180	48,210	24,800	25,170	0,000	61,000	1,500
13/12/2018 01:50	25,404	54,976	24,823	58,507	23,713	25,180	48,270	24,770	25,160	0,000	81,000	1,970
13/12/2018 02:00	25,331	55,593	24,726	59,265	23,545	24,940	49,400	24,670	25,060	0,000	84,000	1,310
13/12/2018 02:10	25,234	56,485	24,605	60,048	23,400	24,780	50,150	24,590	24,960	0,000	75,000	1,550
13/12/2018 02:20	25,186	56,509	24,557	60,194	23,280	24,880	50,350	24,490	24,900	0,000	61,000	1,110
13/12/2018 02:30	25,113	56,499	24,484	60,091	23,256	24,770	50,320	24,410	24,860	0,000	39,000	2,040
13/12/2018 02:40	25,065	56,554	24,436	60,052	23,208	24,570	50,350	24,360	24,760	0,000	70,000	0,960
13/12/2018 02:50	24,992	56,512	24,388	60,106	23,136	24,710	50,010	24,290	24,730	0,000	62,000	1,430
13/12/2018 03:00	24,944	56,941	24,339	60,314	22,944	24,610	50,460	24,210	24,660	0,000	44,000	0,720
13/12/2018 03:10	24,895	57,214	24,291	60,706	22,705	24,410	51,140	24,100	24,560	0,000	46,000	0,880
13/12/2018 03:20	24,847	57,642	24,195	61,242	22,465	24,340	51,410	24,000	24,500	0,000	121,000	0,320
13/12/2018 03:30	24,823	57,887	24,098	61,747	22,058	24,340	51,890	23,870	24,430	0,000	65,000	0,460
13/12/2018 03:40	24,798	58,348	24,002	62,372	21,843	24,210	52,190	23,810	24,360	0,000	56,000	0,640
13/12/2018 03:50	24,774	58,530	23,905	62,722	22,226	24,170	52,470	23,770	24,330	0,000	35,000	1,530
13/12/2018 04:00	24,702	59,014	23,857	63,079	22,154	24,140	53,250	23,700	24,230	0,000	59,000	0,540
13/12/2018 04:10	24,629	59,405	23,785	63,432	22,011	24,070	53,390	23,670	24,160	0,000	23,000	0,670

DATA - HORA	HOB0 INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOB0 SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA		ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)							
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
13/12/2018 04:20	24,605	59,586	23,641	64,317	21,700	24,070	53,960	23,560	24,160	0,000	134,000	0,290
13/12/2018 04:30	24,460	60,333	23,521	65,022	21,724	23,870	54,300	23,460	24,040	0,000	191,000	0,050
13/12/2018 04:40	24,388	61,089	23,400	65,543	21,270	23,830	54,680	23,350	23,930	0,000	31,000	0,220
13/12/2018 04:50	24,291	61,258	23,376	65,660	21,676	23,660	55,460	23,270	23,840	0,000	27,000	1,350
13/12/2018 05:00	24,243	61,434	23,352	65,836	21,604	23,460	56,110	23,200	23,740	0,000	8,000	1,050
13/12/2018 05:10	24,195	61,946	23,328	66,162	21,390	23,460	56,410	23,110	23,640	0,000	98,000	0,350
13/12/2018 05:20	24,171	62,278	23,256	66,660	21,557	23,420	56,720	23,070	23,640	0,000	46,000	1,370
13/12/2018 05:30	24,122	62,483	23,184	67,096	21,437	23,490	57,090	23,020	23,590	0,000	80,000	1,100
13/12/2018 05:40	24,098	62,876	23,160	67,271	21,581	23,460	57,160	23,050	23,550	0,000	36,000	1,330
13/12/2018 05:50	24,002	63,134	23,112	67,472	21,676	23,390	57,400	23,010	23,520	0,000	17,000	1,980
13/12/2018 06:00	23,930	63,456	23,040	67,936	21,604	23,290	57,910	22,930	23,450	0,000	20,000	0,680
13/12/2018 06:10	23,857	64,232	22,920	68,600	21,366	23,180	58,630	22,860	23,330	0,000	49,000	0,680
13/12/2018 06:20	23,809	64,618	22,848	69,091	21,390	23,080	59,070	22,800	23,290	3,076,00	40,000	0,430
13/12/2018 06:30	23,713	64,964	22,800	69,527	21,557	23,050	59,820	22,790	23,240	10,330	53,000	1,200
13/12/2018 06:40	23,665	65,288	22,800	69,705	22,082	23,120	59,580	22,940	23,290	22,850	22,000	1,290
13/12/2018 06:50	23,665	65,408	22,992	68,999	24,339	23,150	59,340	23,200	23,400	62,390	54,000	0,270
13/12/2018 07:00	23,737	65,451	23,497	67,779	26,426	23,420	58,730	23,670	23,650	89,600	145,000	0,550
13/12/2018 07:10	23,809	65,342	23,809	66,035	27,259	23,730	57,810	24,190	23,930	123,700	52,000	0,650
13/12/2018 07:20	23,905	64,966	23,930	65,936	28,717	23,870	57,670	24,630	24,230	155,100	103,000	0,250
13/12/2018 07:30	24,074	64,057	24,388	64,261	30,621	24,270	55,600	25,300	24,660	190,200	67,000	0,280
13/12/2018 07:40	24,267	63,117	25,065	62,087	31,255	24,820	53,930	25,980	25,160	216,600	129,000	0,220
13/12/2018 07:50	24,508	61,874	25,623	59,342	32,924	25,190	52,020	26,590	25,700	262,700	63,000	0,540
13/12/2018 08:00	24,798	60,848	25,939	57,776	33,131	25,740	49,740	27,210	26,250	290,400	69,000	0,650
13/12/2018 08:10	25,137	58,958	25,914	57,865	33,783	26,140	48,010	27,850	26,770	337,600	325,000	1,060
13/12/2018 08:20	25,501	57,367	25,841	57,605	32,742	26,170	47,250	28,190	27,170	373,000	327,000	1,160
13/12/2018 08:30	25,793	55,095	25,939	56,245	33,574	26,400	45,410	28,530	27,470	414,700	311,000	1,350
13/12/2018 08:40	26,061	54,882	26,182	56,312	34,387	26,770	44,460	29,150	27,890	429,600	122,000	0,740
13/12/2018 08:50	26,378	52,906	26,353	54,420	34,651	27,420	42,010	29,840	28,470	488,400	273,000	1,250
13/12/2018 09:00	26,646	52,276	26,671	53,801	35,235	27,520	41,630	30,330	28,720	528,300	194,000	1,830
13/12/2018 09:10	27,063	50,962	27,210	52,162	36,417	28,330	38,740	31,110	29,330	542,300	3,000	0,960
13/12/2018 09:20	27,653	49,533	27,628	50,685	36,281	29,410	36,530	31,980	30,330	591,900	82,000	2,040
13/12/2018 09:30	28,270	47,222	27,825	49,684	36,742	29,980	34,040	32,920	31,320	627,000	339,000	1,240
13/12/2018 09:40	28,642	46,390	28,097	49,333	37,015	29,670	34,850	33,300	31,990	671,700	280,000	2,520
13/12/2018 09:50	28,593	46,579	27,801	50,323	34,863	28,640	37,770	32,700	31,710	708,100	280,000	1,070
13/12/2018 10:00	28,667	46,653	27,949	50,279	35,743	28,740	37,300	33,930	31,970	744,900	316,000	1,730
13/12/2018 10:10	28,965	46,462	28,245	49,964	36,960	29,340	36,950	36,960	32,220	772,900	329,000	1,340
13/12/2018 10:20	29,365	45,629	28,543	49,616	36,796	29,650	36,340	40,240	32,760	791,600	351,000	1,390
13/12/2018 10:30	29,665	44,944	28,742	48,964	36,824	29,810	35,790	43,180	33,170	825,000	283,000	3,920
13/12/2018 10:40	29,890	44,248	29,040	48,388	37,618	30,030	35,340	43,420	33,340	843,000	311,000	1,390
13/12/2018 10:50	30,192	43,427	29,240	47,374	37,124	30,170	34,660	41,830	33,660	866,000	266,000	1,920
13/12/2018 11:00	30,318	43,309	29,315	47,611	37,096	30,230	35,230	38,660	34,230	895,000	267,000	1,000
13/12/2018 11:10	30,621	42,748	29,565	47,024	38,032	30,490	34,170	36,610	35,230	906,000	15,000	1,670
13/12/2018 11:20	30,976	41,926	29,941	45,959	39,177	30,690	33,490	35,700	35,870	924,000	352,000	1,020
13/12/2018 11:30	31,306	41,564	30,016	46,426	39,375	31,060	33,560	35,260	36,390	945,000	317,000	0,370
13/12/2018 11:40	31,612	40,764	30,369	45,519	39,743	31,230	33,150	35,670	37,150	952,000	266,000	1,240
13/12/2018 11:50	31,765	41,114	30,469	45,728	39,829	31,300	33,760	35,650	37,150	966,000	79,000	2,430
13/12/2018 12:00	32,201	39,722	30,900	43,870	39,460	32,210	31,280	36,810	38,700	207,600	283,000	1,460
13/12/2018 12:10	32,355	39,101	30,976	44,209	40,000	31,670	31,860	37,560	38,050	328,700	312,000	1,780
13/12/2018 12:20	32,381	39,271	30,900	44,431	38,060	31,640	32,610	38,870	37,590	188,600	121,000	0,680
13/12/2018 12:30	31,996	39,902	30,596	44,988	34,677	31,030	33,560	35,800	34,940	274,500	256,000	2,190
13/12/2018 12:40	31,510	40,185	30,444	43,884	33,783	30,760	33,190	34,500	33,380	201,100	3,000	0,410
13/12/2018 12:50	31,052	39,469	30,495	42,767	34,360	30,570	32,750	34,150	32,640	275,200	333,000	1,150
13/12/2018 13:00	31,612	38,320	31,153	40,548	41,648	32,140	29,900	44,760	35,870	1,120,00	55,000	0,610
13/12/2018 13:10	32,587	35,850	31,586	40,193	38,728	33,360	27,760	46,000	38,150	254,400	229,000	2,530
13/12/2018 13:20	32,381	37,015	31,331	41,533	36,065	31,930	30,450	38,080	35,840	287,800	25,000	1,470
13/12/2018 13:30	32,381	36,710	31,637	39,630	41,560	32,310	29,600	43,300	36,810	1,101,00	334,000	1,720
13/12/2018 13:40	33,079	34,365	31,816	38,676	44,012	33,500	27,150	50,230	40,070	1,108,00	131,000	2,060
13/12/2018 13:50	33,887	33,173	32,150	38,441	44,442	34,920	24,800	52,420	42,750	328,100	16,000	0,280
13/12/2018 14:00	33,835	34,024	32,587	38,283	40,228	33,440	27,620	45,180	40,340	286,800	309,000	1,360
13/12/2018 14:10	32,846	35,874	31,944	39,763	36,227	32,050	29,420	38,700	36,460	298,200	281,000	2,650
13/12/2018 14:20	32,639	35,787	31,893	39,120	40,746	32,280	29,010	41,940	36,450	1,009,00	343,000	0,550
13/12/2018 14:30	33,183	35,226	32,820	37,429	43,163	33,590	27,450	47,590	39,120	874,000	9,000	0,700
13/12/2018 14:40	33,887	33,789	32,665	38,426	38,254	34,260	26,730	46,490	40,030	301,300	177,000	0,410
13/12/2018 14:50	33,339	34,628	31,919	40,596	33,652	32,490	28,090	37,550	36,760	88,400	27,000	3,690
13/12/2018 15:00	31,791	51,495	29,890	59,785	30,571	30,350	41,780	33,260	33,360	27,630	147,000	1,580
13/12/2018 15:10	28,419	57,554	26,231	67,030	25,939	26,080	57,250	28,510	28,040	26,540	224,000	0,760
13/12/2018 15:20	26,475	61,732	24,774	68,396	24,026	24,940	61,100	26,640	25,700	0,000	308,000	1,530
13/12/2018 15:30	25,210	71,337	23,641	77,291	21,628	24,070	65,060	24,420	23,280	0,000	239,000	3,040

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
13/12/2018 15:40	23,737	76,038	22,226	81,108	20,388	22,320	74,490	21,690	20,960	3.292,00	123,000	1,560
13/12/2018 15:50	22,800	76,687	21,199	81,675	19,389	21,920	74,260	21,030	20,370	3.293,00	167,000	0,580
13/12/2018 16:00	22,011	81,090	20,412	85,316	18,961	21,360	77,990	20,550	19,870	10,100	180,000	1,010
13/12/2018 16:10	21,843	86,225	20,746	86,385	19,389	21,640	78,510	20,690	20,030	17,350	88,000	1,460
13/12/2018 16:20	22,034	86,407	21,079	84,470	19,722	21,920	77,980	21,200	20,570	18,230	49,000	1,660
13/12/2018 16:30	22,226	84,171	21,366	83,448	19,865	22,270	77,710	21,260	20,680	22,190	124,000	0,320
13/12/2018 16:40	22,154	82,389	21,127	84,453	19,532	22,200	75,640	21,230	20,560	32,070	144,000	2,150
13/12/2018 16:50	22,130	84,345	21,223	85,584	19,912	22,230	76,350	21,400	20,640	51,410	135,000	1,160
13/12/2018 17:00	22,321	85,836	21,533	84,823	20,412	22,640	76,520	21,870	20,990	79,090	107,000	0,810
13/12/2018 17:10	22,513	86,517	21,819	85,610	20,936	22,950	76,490	22,510	21,260	91,200	57,000	0,860
13/12/2018 17:20	22,824	87,143	22,178	85,470	21,557	23,010	76,690	22,960	21,510	104,800	15,000	0,900
13/12/2018 17:30	23,208	85,203	22,753	82,887	22,154	23,630	75,300	23,750	21,930	102,200	61,000	2,170
13/12/2018 17:40	23,448	79,148	22,848	80,106	22,202	23,320	71,080	24,010	21,660	122,400	235,000	1,380
13/12/2018 17:50	23,593	81,629	23,040	78,605	23,136	23,560	69,750	25,020	21,700	132,000	189,000	0,620
13/12/2018 18:00	23,809	77,239	23,352	76,424	23,569	24,100	66,720	26,010	22,020	129,000	65,000	0,590
13/12/2018 18:10	24,146	75,189	23,737	75,718	26,695	25,600	62,060	33,000	22,610	287,800	148,000	1,290
13/12/2018 18:20	24,412	74,160	24,074	74,065	28,444	26,010	60,160	36,770	23,070	280,100	88,000	3,050
13/12/2018 18:30	24,581	73,754	24,219	74,035	28,791	25,900	59,640	33,240	23,340	240,700	144,000	1,400
13/12/2018 18:40	24,750	72,079	24,508	70,672	29,115	25,730	60,180	30,570	23,630	206,900	56,000	1,460
13/12/2018 18:50	24,871	71,184	24,677	69,841	27,014	25,590	59,470	28,470	23,650	76,870	33,000	0,370
13/12/2018 19:00	24,871	70,264	24,677	68,229	24,677	25,320	59,400	26,510	23,510	49,640	251,000	0,130
13/12/2018 19:10	24,847	68,140	24,653	67,325	24,171	25,010	58,790	25,650	23,340	40,410	98,000	1,080
13/12/2018 19:20	24,798	67,171	24,581	67,252	23,930	24,870	58,480	25,200	23,290	32,070	83,000	0,880
13/12/2018 19:30	24,750	66,590	24,532	67,364	23,761	24,700	57,870	24,870	23,240	24,160	130,000	1,830
13/12/2018 19:40	24,702	66,973	24,484	66,935	23,448	24,640	59,030	24,610	23,220	9,230	114,000	1,220
13/12/2018 19:50	24,677	66,095	24,508	66,999	23,376	24,540	57,870	24,390	23,200	3.075,00	97,000	1,090
13/12/2018 20:00	24,629	65,544	24,508	65,553	23,160	24,480	57,980	24,220	23,230	0,220	116,000	1,150
13/12/2018 20:10	24,581	64,597	24,508	64,130	23,040	24,440	57,940	23,970	23,260	0,000	83,000	0,830
13/12/2018 20:20	24,532	65,013	24,557	63,256	23,088	24,310	55,460	23,870	23,260	0,000	56,000	1,150
13/12/2018 20:30	24,532	64,619	24,532	63,982	22,920	24,240	56,520	23,810	23,270	0,000	47,000	1,080
13/12/2018 20:40	24,484	66,032	24,315	66,755	22,776	24,210	57,710	23,750	23,330	0,000	28,000	1,670
13/12/2018 20:50	24,363	67,214	24,002	68,258	22,417	23,930	59,710	23,540	23,260	0,000	37,000	1,030
13/12/2018 21:00	24,243	67,433	23,833	68,854	22,130	23,800	60,290	23,420	23,230	0,000	62,000	0,590
13/12/2018 21:10	24,146	68,343	23,689	68,709	21,724	23,730	60,390	23,300	23,290	0,000	50,000	0,510
13/12/2018 21:20	24,050	67,997	23,593	68,721	21,700	23,590	60,360	23,210	23,300	0,000	93,000	0,590
13/12/2018 21:30	24,002	67,989	23,593	68,453	21,891	23,630	60,020	23,200	23,350	0,000	62,000	0,600
13/12/2018 21:40	23,954	68,667	23,521	68,738	21,819	23,490	60,840	23,130	23,330	0,000	70,000	0,380
13/12/2018 21:50	23,881	69,041	23,472	69,354	21,676	23,530	61,110	23,040	23,350	0,000	50,000	0,690
13/12/2018 22:00	23,833	67,510	23,424	68,452	21,891	23,320	60,870	23,010	23,360	0,000	37,000	0,730
13/12/2018 22:10	23,809	67,655	23,400	68,805	21,700	23,390	61,180	23,000	23,380	0,000	124,000	0,450
13/12/2018 22:20	23,737	68,836	23,256	70,617	21,509	23,390	62,170	22,890	23,350	0,000	183,000	0,330
13/12/2018 22:30	23,641	70,511	23,088	72,000	21,175	23,200	62,790	22,760	23,290	0,000	84,000	0,430
13/12/2018 22:40	23,569	69,668	23,016	72,103	21,246	23,230	62,790	22,700	23,200	0,000	114,000	0,770
13/12/2018 22:50	23,472	70,480	22,992	72,304	21,413	23,100	63,780	22,630	23,130	0,000	151,000	0,880
13/12/2018 23:00	23,376	70,876	22,944	72,530	21,223	23,030	64,020	22,580	23,070	0,000	91,000	0,580
13/12/2018 23:10	23,352	71,166	22,848	73,067	21,008	22,930	64,090	22,520	23,030	0,000	31,000	0,590
13/12/2018 23:20	23,328	71,457	22,848	73,330	20,960	23,000	64,700	22,480	23,030	0,000	123,000	0,560
13/12/2018 23:30	23,280	72,887	22,776	74,453	20,865	22,970	65,210	22,380	22,940	0,000	45,000	0,420
13/12/2018 23:40	23,256	72,032	22,729	73,541	21,127	22,800	65,250	22,390	22,880	0,000	65,000	0,810
13/12/2018 23:50	23,232	72,262	22,753	73,604	21,175	22,760	64,600	22,420	22,880	0,000	25,000	0,400
14/12/2018 00:00	23,232	72,350	22,776	73,346	21,127	22,800	64,770	22,380	22,860	0,000	44,000	1,190
14/12/2018 00:10	23,232	70,996	22,705	73,682	20,674	22,800	63,920	22,320	22,850	0,000	15,000	0,770
14/12/2018 00:20	23,184	72,488	22,633	73,843	20,555	22,800	65,010	22,260	22,820	0,000	41,000	0,170
14/12/2018 00:30	23,184	71,959	22,609	73,925	20,722	22,660	64,800	22,200	22,780	0,000	2,000	0,330
14/12/2018 00:40	23,136	72,390	22,537	74,696	20,531	22,760	65,520	22,140	22,700	0,000	111,000	0,780
14/12/2018 00:50	22,968	73,266	22,417	76,033	20,746	22,520	66,340	22,060	22,610	0,000	118,000	0,650
14/12/2018 01:00	22,848	74,961	22,321	76,677	20,770	22,450	67,700	21,990	22,510	0,000	82,000	0,620
14/12/2018 01:10	22,848	74,729	22,274	76,264	20,650	22,390	67,800	22,020	22,500	0,000	12,000	0,760
14/12/2018 01:20	22,848	73,681	22,226	75,619	20,698	22,420	66,780	21,970	22,520	0,000	43,000	1,010
14/12/2018 01:30	22,824	73,355	22,130	76,062	20,269	22,390	66,500	21,870	22,470	0,000	66,000	0,350
14/12/2018 01:40	22,800	73,759	22,058	76,709	20,031	22,350	66,780	21,780	22,380	0,000	91,000	0,240
14/12/2018 01:50	22,753	73,429	21,963	76,575	19,698	22,280	66,670	21,700	22,360	0,000	99,000	0,250
14/12/2018 02:00	22,657	74,284	21,843	77,354	19,817	22,150	67,390	21,540	22,200	0,000	32,000	0,700
14/12/2018 02:10	22,609	74,449	21,891	76,991	20,079	22,050	67,800	21,550	22,150	0,000	40,000	0,360
14/12/2018 02:20	22,561	74,003	21,843	76,982	19,651	22,320	67,090	21,530	22,140	0,000	50,000	0,360
14/12/2018 02:30	22,465	73,810	21,748	76,819	19,460	22,050	67,560	21,450	22,070	0,000	262,000	0,130
14/12/2018 02:40	22,369	74,228	21,700	77,182	19,651	21,910	67,770	21,360	21,930	0,000	294,000	0,350
14/12/2018 02:50	22,321	74,712	21,700	77,182	19,746	21,950	67,770	21,340	21,930	0,000	55,000	0,410

DATA - HORA	HOBO INFERIOR - LAJE DO PISO 1		HOBO SUPERIOR - LAJE DE COBERTURA			ESTAÇÃO CAMPBELL COM RADIAÇÃO E VENTO NA LAJE DE COBERTURA E RESTANTE NA LAJE INFERIOR (PISO 1)						
	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (°C)	TEMP. AR (°C)	UR (%)	TEMP. GLOBO (PT) (°C)	TEMP. GLOBO (CZ) (°C)	RAD. SOLAR (W/m²)	DIR. DO VENTO (°)	VELOC. DO VENTO (m/s)
14/12/2018 03:00	22,298	75,084	21,652	77,716	19,651	21,710	68,140	21,240	21,860	0,000	5,000	0,440
14/12/2018 03:10	22,226	75,214	21,557	78,268	19,341	21,640	68,720	21,180	21,780	0,000	46,000	0,180
14/12/2018 03:20	22,178	76,129	21,461	79,045	19,151	21,640	69,160	21,150	21,720	0,000	98,000	0,150
14/12/2018 03:30	22,130	76,292	21,318	79,469	19,080	21,780	69,090	21,220	21,780	0,000	172,000	0,380
14/12/2018 03:40	22,130	76,379	21,246	79,766	19,199	21,880	68,790	21,250	21,810	0,000	222,000	0,290
14/12/2018 03:50	22,082	76,513	21,223	80,214	19,294	21,670	68,990	21,150	21,720	0,000	104,000	0,870
14/12/2018 04:00	21,987	77,097	21,294	80,059	19,603	21,540	69,950	21,000	21,600	0,000	107,000	0,580
14/12/2018 04:10	21,867	77,388	21,246	80,049	19,460	21,540	70,630	20,970	21,530	0,000	105,000	0,390
14/12/2018 04:20	21,819	77,550	21,127	80,250	18,937	21,440	70,290	20,910	21,510	0,000	131,000	0,130
14/12/2018 04:30	21,748	77,535	21,079	80,861	19,056	21,400	70,520	20,840	21,450	0,000	311,000	0,200
14/12/2018 04:40	21,676	77,664	21,008	80,535	18,889	21,300	70,760	20,750	21,350	0,000	79,000	0,450
14/12/2018 04:50	21,652	77,888	21,056	80,348	19,199	21,230	70,970	20,720	21,290	0,000	16,000	0,600
14/12/2018 05:00	21,604	77,763	21,056	79,924	19,008	21,300	70,830	20,710	21,270	0,000	22,000	0,330
14/12/2018 05:10	21,604	77,963	20,984	80,925	18,794	21,330	70,590	20,700	21,290	0,000	248,000	0,110
14/12/2018 05:20	21,581	79,099	20,889	82,056	18,675	21,370	71,380	20,660	21,210	0,000	249,000	0,370
14/12/2018 05:30	21,604	78,620	20,936	81,561	18,985	21,500	70,520	20,800	21,360	0,000	122,000	0,820
14/12/2018 05:40	21,557	78,809	20,960	81,454	19,080	21,200	71,000	20,670	21,270	0,000	309,000	0,460
14/12/2018 05:50	21,557	79,094	20,984	81,319	19,056	21,160	71,550	20,600	21,180	0,000	334,000	0,330
14/12/2018 06:00	21,581	78,016	21,079	79,702	19,199	21,130	71,070	20,650	21,260	0,000	111,000	0,220