

CAIO FREDERICO E SILVA autor  
MARTA ADRIANA BUSTOS ROMERO orientadora

Tese de Doutorado | PPG FAU UnB

---

O CONFORTO TÉRMICO DE  
**CAVIDADES URBANAS:**  
CONTEXTO CLIMÁTICO DO DISTRITO FEDERAL

Brasília, abril de 2013

---

Tese de Doutorado | PPG FAU UnB

O CONFORTO TÉRMICO DE  
**CAVIDADES URBANAS:**  
CONTEXTO CLIMÁTICO DO DISTRITO FEDERAL

Tese de autoria de Caio Frederico e Silva orientada pela Prof.a Dr.a Marta Adriana Bustos Romero submetida à Banca Examinadora como requisito obrigatório para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

Brasília, abril de 2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de  
Brasília. Acervo 1007449.

S586c Silva, Caio Frederico e.  
O conforto térmico de cavidades urbanas : contexto  
climático do Distrito Federal / Caio Frederico e Silva. --  
2013.

xvi, 175 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade  
de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação  
em Arquitetura e Urbanismo, 2013.

Inclui bibliografia.

Orientação: Marta Adriana Bustos Romero.

1. Microclimatologia. 2. Climatologia urbana.  
3. Bioclimatologia. 4. Simulação (Computadores).

I. Romero, Marta Adriana Bustos. II. Título.

CDU 72:551.586

Já que a **técnica** define o presente e, sob muitos aspectos, limita ou abre as portas do **porvir**, devemos explorar esse **fenômeno** em todas as suas **dimensões** – desde a propriamente técnica e **operacional**, até as referências **culturais** e políticas que comandam a sua incorporação na história do mundo e dos **lugares**.

(Santos, 1995, p. 714).

*Ao meu avô Wenceslau  
(in memoriam)*

*Candango da construção de Brasília,  
personagem de uma trajetória da qual  
eu faço parte.*

## Agradecimentos

**A Deus e à Nossa Senhora**, pela inspiração e expiração nesta caminhada.

**À minha orientadora**, Profa Marta Romero, companheira em inúmeras pesquisas, desde o mestrado, passando pela especialização Reabilita, culminando neste doutoramento, pelo seu olhar bioclimático, atento em todos os momentos deste percurso, hoje, minha parceira de departamento e colega na FAU UnB.

**À banca examinadora**, em especial às queridas Léa Souza e Gianna Barbirato, ícones do conforto ambiental e do clima urbano no Brasil e aos professores e estimados colegas Marcos Thadeu e Rômulo Ribeiro, pelas contribuições transdisciplinares tão valiosas.

**À minha família nuclear**, representada pela minha avó, Maria da Paz, que é como um ninho para todos. Agradeço pelo carinho e admiração que sentem por mim e pela minha trajetória. Em especial à minha mãe, mano, Geraldinho, tia Rosário e Jamaira, pelo inegável amor cotidiano e pela feliz proximidade. Aos amigos de sempre que foram motivo de inspiração dentre tantos momentos, especialmente à Gisa, Sílvia, Bruno e Plínio.

**À família Brasiliense**, composta pela antiga e eterna república piauiense, por terem oportunizado espaços para produção e para ócio, tão oportunos e fundamentais para o sucesso dessa jornada. Amigos queridos: Giuliana Sousa, Ana Paula, Cláudia Mascarenha, George Costa, Márcia Mascarenha, Maria Batista, Eky Barradas, Igor Brasileiro e Ranniêr.

**À família UnB**, às professoras Marília Steimberger pelo seu olhar crítico ainda urbano, mesmo que de fora da arquitetura e Cleide Quixadá, pela didática que permeia minha vida acadêmica. Pelos colegas professores e colegas pesquisadores: Milena Sampaio, Júlia Fernandes, Cláudia Amorim, Ricardo Trevisan, Vanda Alice e Daniel Richard, pela confiança depositada nesta vitória. Aos funcionários da FAU: Júnior e João pela disponibilidade e aos estagiários Leandro Aguiar e Nayanna Nobre pela empolgação e pela técnica.

**À família de Barcelona**, representada pelas amigas: Karena Matos, Grazi Demantova e Linda Steffens, pelo carinho nos dias de biblioteca e também nos de picnic e praia. À Cynthia Enchave do Instituto de Ecologia Urbana de Barcelona, por sua disponibilidade gentil, à profa Carmem Moreno do Departamento de Geografia da Universidade de Barcelona (UB) pelas aulas sobre climatologia urbana, e, por fim, à equipe do laboratório de energia da Escuela Técnica Superior de Barcelona (ETSAB) da Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) coordenado pela profa Helena Coch, minha tutora dos breves e frutíferos meses de Barcelona.

**Às instituições fundamentais**, UnB pela receptividade enquanto aluno e, agora, professor. Ao CNPq pela bolsa em parte do doutorado, ao Programa Erasmus Mundus pela bolsa de doutorado sanduíche. À UPC e ETSAB pelo acolhimento na temporada de experimentos e experiências em Barcelona.

## Resumo

Na escala microclimática, o conforto térmico urbano é um dos parâmetros mais importantes para avaliar o grau de qualidade ambiental proporcionado pela configuração urbana. Neste sentido, o objetivo desta tese é compreender a relação entre o gabarito e a distância entre edifícios e o seu impacto no conforto térmico urbano microclimático. Para isto, apresenta-se uma avaliação computacional para o clima da cidade de Brasília, classificado como tropical de altitude. Discute-se aqui qual o grau de fechamento ou abertura dos espaços urbanos, assim como qual a melhor relação entre altura e distância entre edifícios que geram espaços urbanos mais confortáveis. Este grau de fechamento e abertura é controlado por diferentes alturas (*height*) e afastamentos (*wide*) das edificações que conformam uma fração do cânion urbano, nesta tese denominada de cavidade urbana. Esta cavidade urbana tem o seu nível de conforto térmico condicionado pelas variáveis: orientação do conjunto edificado, pelo grau de sombreamento projetado pelos edifícios e pelos materiais conformadores da base da cavidade. Para isso, o método de avaliação é apoiado em simulações computacionais desenvolvidas no software *ENVI-met*, no qual se utilizou o índice do voto médio predito – PMV de conforto para uma análise comparativa entre 42 (quarenta e dois) cenários hipotéticos de cavidades urbanas. As conclusões do trabalho definem para o clima de Brasília três categorias de cavidades urbanas (CVU): CVU1, CVU 2 e CVU3, segundo o seu valor de W/h e o conforto térmico gerado. São recomendados para o clima de Brasília cavidades urbanas com relação W/h entre 1 e 7, respectivamente, as cavidades urbanas 2 e 3. Por fim, destaca-se a efetiva contribuição dos materiais de revestimento do solo para a geração de conforto térmico.

**Palavras-chave:** simulação computacional, microclima, cânion urbano.

## Abstract

In microclimatic scale, the thermal comfort is a commonly used parameter to assess the level of environmental quality provided by urban configuration. This thesis aims to investigate the relationship between the height and the distance between buildings and their impact on thermal comfort urban. In this regard, this thesis presents a computer evaluation of Brasilia's climate, classified as tropical of altitude. It is argued which degree of openness or closure of urban spaces, as well as the best relationship among height and distance between buildings can generate more comfortable urban spaces. This degree of openings and closures is controlled by different heights of buildings that engender a fraction of the urban canyon, called in this work as urban cavity. This cavity has its urban level of thermal comfort conditioned by the following variables: orientation of the buildings, the degree of shadowing by buildings or designed with conforming material of the base of the cavity. The evaluation method used is based on computer simulations developed in freeware *ENVI-met* (developed in University of Bochum by Michael Bruse team), which was used in the index of predicted medium vote (PMV) and forty-two hypothetical types of urban cavity were developed. The conclusions define three categories of urban cavity (CVU) to Brasilia's climate (CVU 1, CVU 2 e CVU 3), according to their comfort levels and W/h ratio. Finally, presents the contribution of different urban materials in order to improve thermal comfort.

**Word-key:** computer simulation; microclimate; urban canyon.



## Resumen

En escala microclimática, el confort térmico urbano es uno de los parámetros más importantes para evaluar el grado de calidad ambiental proporcionada por el entorno urbano. El objetivo de esta tesis es evaluar la relación entre la altura y la distancia entre los edificios y su impacto en el confort térmico urbano. En este sentido, se presenta una evaluación de cálculo digital para el clima de la ciudad de Brasilia, que se clasifica como tropical de altitud. Aquí se plantea que el grado de apertura o cerramiento de los espacios urbanos, así como la mejor forma de relación entre la altura y la distancia entre los edificios son los responsables por la creación de espacios urbanos más cómodos. Este grado de apertura y cierre se controla mediante diferentes alturas (*height*) y anchura (*wide*) de los edificios que componen una fracción del cañón urbano, en esta tesis se llama cavidad urbana. Esta cavidad tiene su nivel de confort térmico urbano definido por las siguientes variables condicionantes: la orientación de los edificios, su grado de sombra proyectada, o materiales de configuración urbana. Para ello, el método de evaluación se apoya en simulaciones por ordenador desarrollados por *software ENVI-met*, que fue utilizada en el índice PMV (*Predicted Medium Vote*) para un análisis comparativo de 42 (cuarenta y dos) tipos hipotéticos. Las conclusiones del trabajo para definir el clima de Brasilia tres categorías de cavidades urbanas (CVu 1, CVU 2 e CVU 3), de acuerdo a su grado de confort térmico y su relación W/h. Además se presenta de la contribución de los diferentes materiales urbanos para el confort térmico.

**Palabras-claves:** simulación computacional, microclima, cañón urbano.

## Lista de Siglas

ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
APA	Área de Preservação Ambiental
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
BIM	Building Information Modeling
BIM	Building Information Modeling
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CFD	<i>Computational fluid dynamics</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
ETSAB	Escola Técnica Superior de Arquitetura
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
FVC	Fator de Visão do Céu
H/W	<i>Height/Wide</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LACAM	Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética
LASUS	Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e Urbanismo
NGB	Normas de Gabarito
ONU	Organização das Nações Unidas
PD	Plano Diretor
PDL	Plano Diretor Local
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PMV	<i>Predicted Medium Vote</i>
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
POT	Plano de Ocupação Territorial
POUSO	Plano de Ocupação e Uso do Solo
PPCUB	Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico
PPD	<i>Predicted Percentual Dissatisfaction</i>
PPG	Programas de Pós-Graduação
PPI	Percentual de Pessoas Insatisfeitas
RUROS	Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces
SCU	Sistema de Clima Urbano
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SVF	Sky View Factor
UB	Universidade de Barcelona
UnB	Universidade de Brasília
UPC	Universidade Politécnica da Catalunha
VMP	Voto Médio Predito
W/h	<i>Wide/Height</i>
WEF	<i>The World Economic Forum</i>

## Lista de Figuras

FIGURA 1 – ESQUEMA DIDÁTICO DA ESTRUTURA DA TESE.....	13
FIGURA 2 – ESQUEMA DIDÁTICO DA PRIMEIRA PARTE DA TESE .....	13
FIGURA 3 - ESQUEMA DIDÁTICO DA SEGUNDA PARTE DA TESE .....	14
FIGURA 4 – RISCOS GLOBAIS QUANTO À PROBABILIDADE. FONTE: WEF, 2012.....	22
FIGURA 5 – RISCOS GLOBAIS QUANTO AO IMPACTO GERADO. FONTE: WEF, 2012.....	23
FIGURA 6 – ESQUEMA DE CÂNION URBANO (A) E DE CAVIDADE URBANA (B).....	28
FIGURA 7 – REGIME DE CIRCULAÇÃO DE VENTO ENTRE AS EDIFICAÇÕES.....	31
FIGURA 8 – ASSOCIAÇÃO ENTRE PMV, PET, PERCEPÇÃO TÉRMICA E GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO. .....	40
FIGURA 9 - FÓRMULA DO PMV (VMP).....	42
FIGURA 10 – EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE PMV E A TAXA METABÓLICA CORPORAL.....	43
FIGURA 11 – QUATRO VARIÁVEIS BÁSICAS DO DESENVOLVIMENTO. ADAPTADO DE LEDO (1996).....	46
FIGURA 12 – REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS (SPERLING, 2012, P. 2) .....	47
FIGURA 13 – MAPA DO BRASIL COM DESTAQUE PARA O DISTRITO FEDERAL .....	64
FIGURA 14 – MAPA E ABORDAGEM DA PROPOSTA DE REVISÃO DO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO .....	71
FIGURA 15 – ROSA DOS VENTOS PARA BRASÍLIA – VENTOS POR FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA. FONTE: SOFTWARE SOL-AR.....	77
FIGURA 16 – ROSA DOS VENTOS PARA BRASÍLIA – VELOCIDADES PREDOMINANTES POR DIREÇÃO. FONTE: SOFTWARE SOL-AR. ....	77
FIGURA 17 – MAPA DO DF COM A SUBDIVISÃO DAS PRINCIPAIS RAS .....	78
FIGURA 18 – MAPA CLIMATOLÓGICO DO DF. FONTE: CODEPLAN, 1986 .....	79
FIGURA 19 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DO DF. FONTE: CODEPLAN, 1986 .....	79
FIGURA 20 – TIPOS CLIMÁTICOS DAS POLIGONAIS DISTRITO FEDERAL – DIVISÃO POLÍTICA.....	80
FIGURA 21 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE CAVIDADE URBANA DE W/H = 2 .....	89
FIGURA 22 – ESQUEMA DE ORGANIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS CENÁRIOS .....	94
FIGURA 23 – PLATAFORMA DE MODELAGEM DO PROGRAMA ENVI-MET.....	95
FIGURA 24 – DESTAQUE PARA O CAMPO LATERAL.....	96
FIGURA 25 – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO GERAL DO ENVI-MET .....	97
FIGURA 26 – TELA DE OPÇÕES DE SAÍDA DO ENVI-MET .....	97
FIGURA 27 – EXEMPLO DE MAPA DE DADOS UTILIZANDO O PLUGIN LEONARDO.....	98
FIGURA 28 – EXEMPLO DE DADOS DE SAÍDA SISTEMATIZADOS EM PLANILHAS DE EXCEL .....	99
FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO DE PMV PARA PEDRA, ÀS 9H DO TIPO 02L.....	113
FIGURA 30 - REPRESENTAÇÃO DE PMV PARA ÁRVORE, ÀS 9H DO TIPO 02L .....	113
FIGURA 31 - REPRESENTAÇÃO DE PMV PARA TERRA, ÀS 9H DO TIPO 02L.....	113
FIGURA 32 - REPRESENTAÇÃO DE PMV PARA CONCRETO, ÀS 9H DO TIPO 02L .....	113
FIGURA 33 - REPRESENTAÇÃO DE PMV PARA ASFALTO, ÀS 9H DO TIPO 02L .....	113
FIGURA 34 - REPRESENTAÇÃO DE PMV PARA GRAMA, ÀS 9H DO TIPO 02L.....	113
FIGURA 35 - LEGENDA DE CORES DOS NÍVEIS DE PMV .....	113
FIGURA 36 – RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 01 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	116
FIGURA 37 – RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 01 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	116
FIGURA 38 – RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 02 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	117
FIGURA 39 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 02 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	117
FIGURA 40 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 03 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	118
FIGURA 41 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 02 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	118
FIGURA 42 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 04 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	119
FIGURA 43 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 04 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	119
FIGURA 44 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 05 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	120
FIGURA 45 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 05 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	120
FIGURA 46 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 06 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	121
FIGURA 47 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 06 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	121
FIGURA 48 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 07 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	122
FIGURA 49 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 07 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	122
FIGURA 50 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 08 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	123

FIGURA 51 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 08 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	123
FIGURA 52 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 09 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	124
FIGURA 53 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 09 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	124
FIGURA 54 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 10 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	125
FIGURA 55 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 10 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	125
FIGURA 56 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 11 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	126
FIGURA 57 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 11 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	126
FIGURA 58 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 12 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	127
FIGURA 59 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 12 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	127
FIGURA 60 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 13 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	128
FIGURA 61 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 13 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	128
FIGURA 62 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 14 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	129
FIGURA 63 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 14 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	129
FIGURA 64 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 15 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	130
FIGURA 65 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 15 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	130
FIGURA 66 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 16 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	131
FIGURA 67 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 16 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	131
FIGURA 68 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 17 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	132
FIGURA 69 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 17 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	132
FIGURA 70 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 18 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	133
FIGURA 71 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 18 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	133
FIGURA 72 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 19 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	134
FIGURA 73 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 19 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	134
FIGURA 74 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 20 DE ORIENTAÇÃO LESTE .....	135
FIGURA 75 - RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TIPO 20 DE ORIENTAÇÃO NORTE .....	135

## Lista de Gráficos

GRÁFICO 1 – PRINCIPAIS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL	63
GRÁFICO 2 – FLUXOGRAMA DE PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A SIMULAÇÃO	89
GRÁFICO 3- DESEMPENHO DE CAVIDADES COM ÁRVORE	140
GRÁFICO 4 - DESEMPENHO DE CAVIDADES COM ASFALTO	141
GRÁFICO 5 - DESEMPENHO DE CAVIDADES COM CONCRETO	142
GRÁFICO 6 - DESEMPENHO DE CAVIDADES COM GRAMA	144
GRÁFICO 7 - DESEMPENHO DE CAVIDADES COM PEDRA	145
GRÁFICO 8 - DESEMPENHO DE CAVIDADES COM TERRA	147
GRÁFICO 9 – VALORES DE PMV MÉDIO PARA TIPOS ORIENTADOS PARA LESTE	150
GRÁFICO 10 – VALORES DE PMV MÉDIO PARA TIPOS ORIENTADOS PARA NORTE	150
GRÁFICO 11 – CONTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS URBANOS PARA O ÍNDICE PMV	151
GRÁFICO 12 – PERFIL DO PMV DE CAVIDADES URBANAS COM MATERIAIS PERMEÁVEIS (LESTE)	153
GRÁFICO 13 – PERFIL DO PMV DE CAVIDADES URBANAS COM MATERIAIS IMPERMEÁVEIS (LESTE).	153
GRÁFICO 14 – PERFIL DO PMV DE CAVIDADES URBANAS COM MATERIAIS PERMEÁVEIS (NORTE).	153
GRÁFICO 15 – PERFIL DO PMV DE CAVIDADES URBANAS COM MATERIAIS IMPERMEÁVEIS (NORTE).	154

## Lista de Quadros

QUADRO 1 – ESCALAS CLIMÁTICAS .....	26
QUADRO 2– CATEGORIAS DE ÍNDICES DE CONFORTO .....	39
QUADRO 3– FASES DA URBANIZAÇÃO BRASILEIRA .....	62
QUADRO 4 – REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL .....	64
QUADRO 5– MAPA E ABORDAGEM DO MAPA CLIMÁTICO BRASILEIRO. FONTE: INMET, 2009 .....	69
QUADRO 6 – MAPA E ABORDAGEM DO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO .....	69
QUADRO 7 – QUADRO-RESUMO DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE BRASÍLIA (1961-1990).....	73
QUADRO 8 – QUADRO DAS MESOZONAS BIOCLIMÁTICAS DO DF.....	82
QUADRO 9 – DESENHO ESQUEMÁTICO DOS TIPOS DE RELAÇÃO W/H ANALISADAS .....	91
QUADRO 11 – DADOS MÍNIMOS PARA CONFIGURAÇÃO BÁSICA NO <i>ENVI-MET</i> .....	96
QUADRO 12 - CONFIGURAÇÃO BÁSICA DO PROGRAMA <i>ENVI-MET</i> .....	100
QUADRO 13 – ESQUEMA DO QUADRO RESUMO COM AS INFORMAÇÕES DE SIMULAÇÃO .....	114
QUADRO 14 – CATEGORIA DE CAVIDADE URBANA 01 .....	157
QUADRO 15 – CATEGORIA DE CAVIDADE URBANA 02.....	158
QUADRO 16 – CATEGORIA DE CAVIDADE URBANA 03.....	159

## Lista de Tabelas

TABELA 1- PROPRIEDADES RADIANTES DE SUPERFÍCIES ENCONTRADAS NOS ESPAÇOS URBANOS.	24
TABELA 2 – TIPO CLIMÁTICO POR REGIÃO ADMINISTRATIVA	81
TABELA 3 - RELAÇÃO NUMÉRICA DOS FATORES W/H DEFINIDOS PARA CADA TIPO (M)	90
TABELA 4 – DADOS DE PMV DOS TIPOS DE 01 A 07.	104
TABELA 5 – TABELA DO STATUS DO ÍNDICE PMV	105
TABELA 6 – PONTUAÇÃO DO STATUS DE CONFORTO	105
TABELA 7 – DADOS DE PMV DOS TIPOS DE 01 A 07	107
TABELA 8 – DADOS DE PMV DOS TIPOS 08 A 14	108
TABELA 9 – DADOS DE PMV DOS TIPOS DE 15 A 21	109
TABELA 10 – DADOS DE PMV DOS TIPOS 21 A 28	110
TABELA 11 – DADOS DE PMV PARA OS TIPOS 29 A 35	111
TABELA 12 – DADOS DE PMV PARA OS TIPOS 36 A 42	112
TABELA 13 – PONTUAÇÃO DO STATUS DE CONFORTO	138
TABELA 14 – RESULTADOS DE PMV PARA TIPOS ORIENTADOS PARA LESTE (9H)	148
TABELA 15 - RESULTADOS DE PMV PARA TIPOS ORIENTADOS PARA LESTE (18H)	148
TABELA 16 – RESULTADOS DE PMV PARA TIPOS ORIENTADOS A NORTE (9H)	149
TABELA 17 – RESULTADOS DE PMV PARA TIPOS ORIENTADOS A NORTE (18H)	150
TABELA 18 – DESVIO-PADRÃO (S) DOS DIFERENTES TIPOS (9H E 18H)	151
TABELA 19 – VALORES DE DESVIO-PADRÃO PARA CAVIDADES DE ORIENTAÇÃO LESTE	152
TABELA 20 – VALORES DE DESVIO-PADRÃO PARA CAVIDADES DE ORIENTAÇÃO NORTE	152
TABELA 21 – PONTUAÇÃO DO STATUS DE CONFORTO	154
TABELA 22 – TABELA DE PONTUAÇÃO DOS TIPOS DE ORIENTAÇÃO LESTE	155
TABELA 23 – TABELA DE PONTUAÇÃO DOS TIPOS DE ORIENTAÇÃO NORTE	155
TABELA 24 – PONTUAÇÃO MEDIANA DE CAVIDADES URBANAS A PARTIR DO SEU GRAU DE CONFORTO	155
TABELA 25 – CATEGORIAS DE CAVIDADES URBANAS SEGUNDO O SEU GRAU DE CONFORTO TÉRMICO	156

## Preâmbulo

Esta tese é fruto de pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de Brasília (UnB). Os estudos foram desenvolvidos com o apoio do Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo (LaSUS), onde participo como pesquisador desde 2007, e, a partir de 2011 como professor, dentro da linha de pesquisa: Desempenho Ambiental, grupo de pesquisa liderado pela Professora Titular da FAU Marta Romero, também orientadora desta tese.

Durante os meses de setembro de 2010 a março de 2011 foram desenvolvidos estudos no Laboratório de Energia da Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad Politécnica de Catalunya, acompanhado pela prof.a Helena Coch, quando, por meio do Programa Erasmus Mundus, complementei meus estudos doutorais vivenciando a experiência urbana de residir na cidade de Barcelona, Espanha, onde também pude acompanhar de pesquisas no Instituto de Ecologia Urbana de Barcelona, chefiado por Salvador Rueda e de aulas de climatologia urbana na Universidade de Barcelona, acompanhado pela professora Carmém Moreno García.

A partir deste contexto, apresento uma tese de arquitetura e urbanismo com um rico caráter interdisciplinar, em que busca na geografia a compreensão do clima em sua escala urbana, busca na matemática e na computação os métodos e ferramentas precisos para que possamos avaliar e monitorar a qualidade do nosso espaço construído, e, acima de tudo, deve ser comprometida aos interesses do desenvolvimento urbano e da construção de cidades alinhada aos preceitos da sustentabilidade ambiental urbana. Desta forma, destaco o caráter inovador desta tese quando se propõe relacionar o tema do clima urbano e do conforto térmico, parâmetros preciso de qualidade ambiental, e as simulações computacionais, como uma nova ferramenta oferecida pela revolução digital, desta vez, aplicada numa escala pouco usual para o método empregado, a da morfologia urbana, própria da escala do urbanismo.

Esses temas são tratados na manipulação de um problema-chave da pesquisa, o conforto térmico, desta vez, urbano, desviando-se, assim, do senso comum que trata as questões de conforto e de simulação geralmente associadas a estudos de edifícios. Saliento que essas temáticas não são tratadas aqui com o enredamento do discurso teórico, mas projetadas no arcabouço da tese com uma visão prospectiva e prática, experimentando a técnica e buscando oferecer respostas objetivas para alguns dos problemas urbanos como o desconforto térmico proveniente de arranjos urbanísticos não adaptados ao clima do lugar.

## Estrutura da Tese

Esta tese está constituída de **introdução, seis capítulos e conclusão**. Os seis capítulos foram didaticamente organizados em duas partes.

**A parte I** é composta por três capítulos de ordem conceitual que se dedicam aos antecedentes teóricos e ao estabelecimento do contexto climático no qual foi desenvolvida a pesquisa. Nesta parte são apresentados os dois eixos temáticos tratados durante a tese: conforto térmico e simulações computacionais, além de apresentar-se o Distrito Federal enquanto contexto climático.

**O primeiro capítulo** trata da temática mais específica da tese, o conforto térmico e o clima urbano, aborda os aspectos climáticos e microclimáticos dentro da escala do clima urbano. Neste capítulo, são destacados tópicos do conforto térmico urbano trabalhados durante a pesquisa, além de apresentar a escolha de um índice de conforto térmico a ser trabalhado durante a tese. **O segundo capítulo** apresenta a temática da modelagem e simulação computacional, onde são discutidas, no panorama da revolução digital, as tecnologias computacionais associadas à arquitetura e urbanismo, focando nas ferramentas voltadas à avaliação de desempenho ambiental. **O terceiro capítulo** contextualiza o Distrito Federal enquanto território urbanístico, com foco na sua caracterização bioclimática. Neste capítulo, se propõe uma classificação da mesoescala climática do DF.

**A parte II**, de caráter mais operacional e prospectivo, consta também de três capítulos. **O quarto capítulo** apresenta os procedimentos metodológicos, os conceitos de modelagem e de simulação computacional assim como elenca os critérios avaliados nesta pesquisa e apresenta os tipos desenvolvidos que foram submetidos ao processo de simulação. **O quinto capítulo** dedica-se aos dados provenientes das simulações computacionais. Neste capítulo é apresentada a sistematização dos dados, e os apresenta devidamente tabulados e organizados em quadros-resumo. **O sexto e último capítulo** analisa os dados apresentados no capítulo anterior, após tratamento estatístico devido. O propósito deste capítulo é equacionar os ganhos de conforto avaliados nas simulações, dotando-os de precisão e confiabilidade. Os insumos deste capítulo são provenientes dos dados modelados e simulados no decorrer da tese.

Para finalizar, a tese apresenta suas conclusões, onde organiza as principais contribuições, registra a originalidade da pesquisa, além de apontar as dificuldades encontradas, e, sobretudo, traça recomendações para trabalhos futuros.

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>I OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>II PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>12</b>
<b>PARTE I</b> .....	<b>18</b>
<b>1. Clima Urbano e Conforto Térmico</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1 Estudos de clima urbano</b> .....	<b>21</b>
1.1.1 Climatologia urbana e clima urbano .....	21
1.1.2 Fatores climáticos .....	24
1.1.3 Escalas climáticas.....	25
<b>1.2 Avaliação de conforto térmico e configuração urbana</b> .....	<b>26</b>
1.3.1 Fator de Visão do Céu (FVC) e índice W/h (Width/Height).....	30
1.3.2 Ilha de calor urbana.....	32
<b>1.4 O conforto térmico dos espaços abertos</b> .....	<b>34</b>
1.4.1 Conforto e elementos climáticos .....	35
1.4.2 Avaliação do conforto térmico urbano .....	36
1.4.4 Índice da Temperatura Fisiológica Equivalente (TFE).....	40
1.4.5 Temperatura Neutra Exterior e Índice de Temperatura e Umidade.....	41
1.4.6 Índice do voto médio predito (PMV).....	41
<b>1.5 Considerações finais do capítulo</b> .....	<b>44</b>
<b>2. Modelagem e Simulação Ambiental</b> .....	<b>45</b>
<b>2.1 A revolução digital e as ferramentas computacionais</b> .....	<b>46</b>
2.1.1 Ferramentas computacionais.....	47
2.1.2 Uso do computador em arquitetura e urbanismo.....	48
<b>2.2 A modelagem e a simulação: o fazer e o mensurar</b> .....	<b>49</b>
2.2.1 Modelagem ambiental.....	49
2.2.2 Simulação computacional bioclimática.....	50
2.2.3 Simulação computacional aplicada.....	51
<b>2.3 Simulação computacional ambiental: desafio e complexidade.</b> .....	<b>52</b>
<b>2.4 Programas para análise de conforto térmico</b> .....	<b>55</b>
2.4.1 Escala do edifício .....	56
2.4.2 Escala do urbano.....	57
2.4.3 Escala das interações edifício-meio urbano .....	58
2.4.4 Seleção do programa ENVI-met.....	59
<b>2.5 Considerações finais do capítulo</b> .....	<b>60</b>
<b>3. Distrito Federal: território e clima</b> .....	<b>61</b>
<b>3.1 Urbanização do Distrito Federal e o contexto brasileiro</b> .....	<b>62</b>
3.1.1 Distrito Federal: território e urbanização .....	63
3.1.2 Caracterização territorial do DF.....	64
3.1.3 Legislação urbana do DF.....	65
<b>3.2 Caracterização bioclimática do Distrito Federal e o contexto brasileiro</b> .....	<b>67</b>
3.2.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB) .....	68



3.2.2	Proposta de revisão do ZBB .....	70
<b>3.3</b>	<b>Caracterização bioclimática do DF</b>	<b>71</b>
3.3.2	Caracterização Climática do Distrito Federal .....	75
<b>3.4</b>	<b>Proposta de zoneamento climático do Distrito Federal</b>	<b>77</b>
<b>3.5</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b>	<b>82</b>
<b>PARTE II</b>	<b>.....</b>	<b>84</b>
<b>4.</b>	<b>O Processo de Modelagem e Simulação Bioclimática .....</b>	<b>86</b>
<b>4.1</b>	<b>Simulação bioclimática</b>	<b>87</b>
<b>4.2</b>	<b>Especificação do programa de modelagem e simulação</b>	<b>87</b>
<b>4.3</b>	<b>Procedimentos metodológicos</b>	<b>88</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Construção dos cenários de cavidades urbanas</b>	<b>89</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Modelagem dos parâmetros avaliados</b>	<b>94</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Configuração ambiental para o ENVI-met</b>	<b>96</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Simulação mediante escolha do parâmetro de análise</b>	<b>97</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Geração de mapas de resultados (Leonardo)</b>	<b>98</b>
<b>4.3.6</b>	<b>Sistematização dos dados de saída</b>	<b>98</b>
4.3.7	Configuração climática para simulação.....	99
<b>4.4</b>	<b>Requisitos mínimos para simulação</b>	<b>99</b>
4.4.1	Horários de simulação analisados .....	101
<b>4.5</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b>	<b>102</b>
<b>5.</b>	<b>O Desempenho do Conforto Térmico de Cavidades Urbanas .....</b>	<b>103</b>
<b>5.1</b>	<b>Sistematização dos resultados</b>	<b>104</b>
<b>5.2</b>	<b>Resultados gerais das simulações</b>	<b>106</b>
5.2.1	Resultados em Médias Diárias (Tabelas) .....	106
<b>5.3</b>	<b>Apresentação tridimensional dos resultados</b>	<b>112</b>
<b>5.4</b>	<b>Apresentação dos mapas de resultados</b>	<b>114</b>
5.4.1	Resultados horários – manhã e tarde.....	115
5.4.2	Resultados organizados em quadros .....	115
<b>5.5</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b>	<b>136</b>
<b>6.</b>	<b>Análise do Desempenho Térmico de Cavidades Urbanas .....</b>	<b>137</b>
<b>6.1</b>	<b>Sistematização da análise dos resultados</b>	<b>138</b>
<b>6.2</b>	<b>Desempenho de cavidades urbanas</b>	<b>138</b>
6.2.1	Configuração: árvore .....	139
6.2.2	Configuração: asfalto. ....	140
6.2.3	Configuração: concreto.....	141
6.2.4	Configuração: grama .....	142
6.2.5	Configuração: pedra .....	144
6.2.6	Configuração: terra (solo natural).....	145
<b>6.3</b>	<b>Análise do desempenho de diferentes materiais</b>	<b>147</b>
6.3.1	Orientação leste-oeste .....	147
6.3.2	Orientação norte-sul .....	149
6.3.3	Contribuição térmica por material .....	150
<b>6.4</b>	<b>Análise e categorização das cavidades urbanas</b>	<b>151</b>
<b>6.5</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b>	<b>160</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>.....</b>	<b>162</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>.....</b>	<b>168</b>





## INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e o seu conseqüente processo acelerado de urbanização impactaram diretamente o clima urbano. Essas relações entre urbanização e clima passaram a ser objeto de pesquisas nos últimos anos, tanto no contexto internacional (OKE, 1987; NIKOLOPOULOU, 2004; SANTAMOURIS, 1997, 2006) como no Brasil (CARLO e ASSIS, 1999; BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007; ROMERO, 2001). Nesse sentido, os profissionais envolvidos diretamente com esse processo de urbanização, como os arquitetos e urbanistas, passam a protagonizar a busca de soluções que minimizem esses impactos e potencializem a qualidade de vida do homem urbano (EDWARDS, 2009).

As cidades nunca abrigaram tantas pessoas, nem tão grande proporção da raça humana. Entre 1950 e 1990, a população das cidades no mundo decuplicou: passou de 200 milhões para mais de dois bilhões. [...] o futuro da civilização será determinado pelas cidades e dentro das cidades, uma vez que elas possuem grande capacidade crítica e reúnem centros de pesquisas capazes de desenvolver soluções para os problemas criados. (ROGERS, 2001, p. 27).

Com o diagnóstico apresentado pela Unesco, por meio do relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), de 2012, e pelo Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 2010, é necessário que o espaço urbanizado seja projetado e planejado, dotando as nossas cidades de mais qualidade ambiental e contribuindo para uma condição de vida mais satisfatória. Essas preocupações são relevantes, pois a Unesco afirma que, em 2025, 60% do mundo será urbano (ONU, 2012), no entanto, as projeções populacionais mostram-se ultrapassadas, pois, desde 2012, esse quadro registra que mais de 80% da população mundial já vive em cidades. E, no Brasil, que possui 14 regiões metropolitanas (IBGE, 2010), 82% vive em médias (62%) ou grandes cidades (20%).

Muitos dos problemas causados pelo processo de urbanização estão fortemente relacionados ao clima. A abordagem de análise do desempenho climático dos espaços urbanos é amparada por diversas pesquisas, nas quais a relação entre o clima e homem e as estratégias de desenho urbano são encaradas como aliadas ao ganho de conforto ambiental (GIVONI, 1969; OLGAY, 1998, SERRA, 1999 e ROMERO, 2000).

---

O processo de urbanização intensa pelo qual as cidades vêm passando evidencia graves problemas de ordem ambiental nas cidades (WALDHEIM, 2012). Esses problemas envolvem desde a falência dos sistemas tradicionais de drenagem de águas pluviais até o excesso de poluição do ar, provocada pelo acúmulo de meios de transportes movidos a combustíveis fósseis (CHAMPS, 2001; ROGERS, 2001).

A crise do tipo de desenvolvimento atual das cidades baseadas no carbono e no petróleo<sup>1</sup> está esgotado. As trocas energéticas naturais do meio urbano compõem um processo dinâmico que, para Santos (2010), pode ser chamado de metabolismo urbano tradicional. Este tipo que incorpora às cidades materiais básicos como o petróleo (asfalto) associado aos valores recordes de emissões de carbono nas cidades— está falido. Porém, muitas cidades ainda são construídas, ou expandidas, mantendo a fórmula tradicional, na qual os materiais urbanos são os mesmos, e o impacto ambiental continua sendo alarmante.

Nesse sentido, os espaços devem ser construídos levando-se em consideração ideias inovadoras que visem recuperar a condição de equilíbrio entre o homem e a natureza, fazendo com que esta se perpetue. Mas, diante de um conceito ampliado de sustentabilidade urbana, a cidade poderá contribuir com a minimização dos impactos negativos gerados pelo processo de urbanização e, ainda, se possível, diluir os problemas gerados pelos edifícios e pelas pessoas, ampliando sua capacidade de resiliência<sup>2</sup>, condição cada vez mais desejável no contexto contemporâneo.

Na história, sempre se buscou potencializar a qualidade dos espaços construídos. As primeiras normas higienistas, como, por exemplo, a exigência de ventilação natural nas fábricas e a introdução de exaustores, além da exigência de luz natural, já se mostravam como as primeiras formas oficiais de introdução de critérios de qualidade ambiental urbana nas primeiras cidades industriais (BUTERA, 2009). O acúmulo de pessoas e o subsequente adensamento urbano — fruto dos primeiros grandes desenvolvimentos industriais — também introduziram na cidade uma série de problemas de salubridade, sendo este o grande motivo pelos quais o ambiente urbano foi modificado, repercutindo nos códigos de obras das cidades pós-Revolução Industrial.

Com tantas variáveis ambientais, alguns dos problemas afetam diretamente o conforto dos usuários, assim, alguns dos fatores mais agravados consubstancialmente pela urbanização foram o aumento da impermeabilização do solo e a conseqüente alteração do microclima urbano. Essas alterações ao solo natural tornam o centro urbano cada vez mais desconfortável termicamente (OKE, 1997). A alteração dos microclimas urbanos,

---

<sup>1</sup> Conceito extraído da tese: Post Oil City. Autor: Claudio de Jesús Santos. Tese defendida pelo Departamento de Urbanismo, Máster en Gestión y Valoración Urbana da ETSAB, UPC, Barcelona, 2010.

<sup>2</sup> Capacidade de suporte, segundo relatório ambiental da ONU, 2012)

---

muitas vezes, geram áreas desconfortáveis termicamente, pois o incremento dos materiais impermeáveis e, ainda, a retirada da cobertura de solo ou vegetal aumentam o fenômeno de ilhas de calor urbanas, dentre outros problemas diretamente relacionados com a qualidade de vida das pessoas (BARBIRATO, SOUZA, TORRES, 2007).

Essa visão também é questionadora a respeito de qual cidade é construída, qual cidade é projetada e qual o tipo de cidade se está disposto a construir. Afirma-se que o desenho urbano deveria favorecer uma cidade mais compacta, flexível e de usos mistos, uma vez que o tipo atual é representado pela lógica da ocupação extensiva do solo, que repercute na falta de mobilidade, habitação e trabalho, o que resultará em breve no colapso das infraestruturas das cidades (RUEDA, 2002).

Pondera-se que, em todos os aspectos, a construção da cidade com sustentabilidade passa pela qualidade dos espaços construídos, bem como pela pauta da agenda ambiental debatida internacionalmente. Essa qualidade passa, por sua vez, pelos bons níveis de conforto térmico.

O controle desses aspectos mais precisos é esquecido, ou desprezado, na elaboração dos planos diretores das cidades. O formato da cidade traz uma configuração que não promove o conforto, e, em consequência, espera-se que os edifícios resolvam todas as questões relacionadas ao conforto térmico, tornando, assim, uma cidade cada vez mais despreparada para equacionar as questões relacionadas a este tema, e edifícios cada vez mais dependentes de climatização mecânica, o que agrega um indesejável e alto custo ambiental.

Assim, as atenções dos projetistas e dos planejadores urbanos estão voltadas ao impacto das alterações do clima urbano, o que é justificável, uma vez que as variáveis do clima urbano afetam não somente os espaços abertos, mas atuam diretamente nos espaços construídos, repercutindo diretamente no conforto dos usuários (SILVA e ROMERO, 2010).

Hoje, a busca por uma cidade mais qualificada deve, portanto, amparar-se tecnicamente na dimensão ambiental da sustentabilidade, com uma pauta mais avançada, ou seja, que atenda também aos requisitos de conforto ambiental, ampliando a dimensão ambiental da sustentabilidade. Assim, a busca por uma cidade qualificada ambientalmente, que promova o conforto térmico sem causar impactos energéticos, requer uma compreensão do contexto do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, é necessário compreender, antes de tudo, a importância da interface ambiental nesse processo definidor de uma cidade qualificada, uma vez que, quando se estabelece o processo de urbanização, a dimensão ambiental é a mais delicada e facilmente alterada, além de ter sido historicamente preterida nos processos tradicionais de urbanização.

---

Para implantar um tipo de urbanização no qual se considere a interface ambiental como a prioritária, deve-se compreender, primeiramente, que a qualidade na cidade está diretamente relacionada à condição de incorporar o ambiente natural na composição do ambiente urbano, desconstruindo o conceito de cidade opositor ao conceito de natureza. Quando, segundo estudos de Franco (1995), é premente um desenho ambiental da cidade.

No processo de construção de uma cidade, deve-se pensar em estabelecer uma sintonia entre o contexto ambiental e o socioeconômico da sociedade que a habitará. Dessa forma, o espaço urbano será otimizado e qualificado ambientalmente, pois as demandas da sociedade contemporânea exigem que o processo de urbanização traga benefícios ambientais. No entanto, o dinamismo que a cidade complexa exige requer uma intensa atividade econômica, ausente em muitas cidades, e, por outro lado, o tipo compacto pode apresentar repercussões climáticas desfavoráveis.

Vê-se como é desafiador o propósito do desenvolvimento sustentável, que tem como premissa, entre outras compreensões, aliar o equilíbrio ambiental ao crescimento urbano. Esse desafio marca o século XXI e promove uma sensibilização para todas as comunidades humanas (BRASIL, 2001b). A pauta ambiental consolidada no século XXI traz um discurso antidesperdício, que consiste na redução do impacto da urbanização e reflete na construção de cidades menos poluidoras, que mantenham uma relação saudável com o seu meio.

Em 1982, Brundtland (BRASIL, 2001b) declarou haver três dimensões do desenvolvimento sustentável: social, econômica e ambiental, sendo esta última diretamente relacionada aos impactos promovidos pelo processo de urbanização, uma vez que, segundo Serra (1999, p. 11), a dimensão ambiental pode ser entendida como “uma aproximação do sítio urbano às energias naturais”, usufruindo da melhor forma de fontes primárias como o sol, os ventos e, principalmente, as águas, o solo e a vegetação. Assim, pode-se garantir uma cidade ambientalmente mais equilibrada, visto que a arquitetura e o urbanismo passam a fazer parte do meio ambiente de forma indissociável.

Nesse sentido, nas palavras de Romero (2011), a integração entre o espaço construído e o espaço natural “resulta de uma acertada leitura do meio ambiente” sendo, sem dúvida, uma das melhores formas de gerir um território com menores impactos e que permita a melhor permanência do homem, atingindo uma situação equilibrada que pode ser considerada como sustentável.

É desafiador estabelecer esse equilíbrio ou uma adequada proporção urbana uma vez que, na história, o homem sempre se preocupou em ordenar o seu convívio. Foi e é instigante para os urbanistas esse estabelecimento de regras, pois é uma forma de

---

controlar o desenho da cidade e a sua relação com o modo de vida. Diante dos mais diversos problemas encarados pela sociedade atual, a cidade deve adequar em suas formas as mais diferentes propostas, deve abrigar os mais diferentes usos, mas deve fazer isso sendo regida pela dimensão ambiental. Nesse sentido, o plano ideal para uma cidade do futuro deve buscar o dinamismo e ser flexível a mudanças, como explica Rosenau (1999), ao afirmar que as cidades da Holanda, Suécia e Finlândia representam a vanguarda do urbanismo contemporâneo, que marcou o final do século XIX, pois sofrem constantes transformações urbanísticas conectadas ao seu contexto sociocultural e afinadas com suas demandas ambientais.

As cidades mostram-se, a cada dia, mais frágeis e despreparadas para encarar o desafio do desenvolvimento sustentável, revelando que tiveram o seu crescimento distante de uma organização qualificada. Assim, verifica-se a necessidade de as cidades serem reabilitadas e requalificadas, tornando-as cada vez mais saudáveis e sustentáveis.

Essa condição requer dos diversos atores urbanos, sejam eles gestores públicos, arquitetos, urbanistas ou cidadãos comuns, uma postura mais pragmática diante dos problemas urbanos, uma vez que é compromisso de todos contribuir com a busca de soluções para os problemas trazidos com o crescimento desordenado das cidades.

A necessidade de re-construir, re-fazer e re-pensar a cidade sugere a adoção de práticas inovadoras, que qualifiquem o espaço urbano para as gerações presentes e futuras. Dessa forma, faz-se necessária a busca por instrumentos que auxiliem a tomada de decisões no processo de requalificação de áreas urbanas ou na projeção de ambientes mais confortáveis, à luz dos conceitos da sustentabilidade. Os espaços construídos imersos no ambiente urbano devem, portanto, ser transformados em espaços verdadeiramente aptos para as práticas sociais, além de mais aprazíveis e democráticos (ROMERO, 2001).

O dinamismo presente nas cidades de hoje exige um planejamento cíclico, ou seja, que busque uma permanente revisão, e que utilize os meios tecnológicos nesse registro e monitoramento da qualidade ambiental da cidade. Isso reforça a necessidade de sistemas que monitorem a qualidade ambiental das cidades, por meio de instrumentos tecnológicos e balizados por parâmetros técnicos.

Além disso, o espaço urbanizado está sendo construído, adensado e modificado sem critérios claros que promovam a qualidade ambiental urbana. Esse processo de modificações do cenário urbano, que muitas vezes são realizadas sem se promover a qualidade ambiental nas cidades, deve-se à carência de prescrições ambiental-climáticas específicas, ou mesmo de uma legislação urbanística apropriada à cultura climática de cada lugar. Faltam regras para a construção ambiental do espaço urbano, por meio das

---

quais a cidade possa ser manipulada com propósitos amplos e que considerem o clima urbano como condição indissociável em sua construção.

Aproximando o olhar para o contexto brasileiro, o relatório do último Censo do IBGE, em 2010, mostra que 82% da população brasileira mora em cidades médias ou grandes e 84,4% vive em áreas urbanas. Muitos dos municípios que têm mais de 20.000 habitantes são considerados áreas urbanas, mesmo sem possuir uma estrutura urbana dignamente implantada, o que evidencia divergências de qualidade em relação ao padrão de urbanização implantado nas diferentes cidades do Brasil. Esse processo de urbanização desigual, sem padrão e, muitas vezes, de baixa qualidade, traz à tona um problema de precariedade dos espaços urbanizados, pois, para equacionar a demanda do crescimento populacional, as estruturas urbanas das cidades foram sendo ampliadas, sem se realizar, muitas vezes, uma leitura apropriada do seu contexto sociocultural, muito menos do seu contexto físico-geográfico, para que a cidade pudesse se estabelecer com mais qualidade no território.

Em relação ao processo de urbanização no Distrito Federal (DF), os dados mostram que a população, na unidade federativa composta pelo DF, duplicou nos últimos trinta anos (IBGE, 2010), o que representa um dos maiores índices de crescimento do país. Apesar do crescimento acima da média, a cidade de Brasília registra densidade populacional de apenas 4,70 habitantes por hectare (hab./ha) (DISTRITO FEDERAL, 2008), o que é considerado baixo se comparado a outras aglomerações urbanas do próprio DF, como o Cruzeiro, que possui 199,84 hab./ha, e a região do Sudoeste/Octogonal, com 95,05 hab./ha (DISTRITO FEDERAL, 2008). Diante dessas informações, pode-se compreender o quadro de desuniformidade nas densidades urbanas dentro do DF, fruto de aglomerações com arranjos urbanísticos de diferentes períodos e iniciativas, que culminaram numa estrutura urbana bastante dispersa (ANJOS, 2007) e com baixo grau de integração (HOLANDA, 2010).

Nesse contexto, uma das formas para avaliar os impactos ambientais gerados pelas diferentes aglomerações urbanas é a quantificação dos aspectos relacionados a esses impactos, como o grau de densidade urbana. Essa análise é relevante, sobretudo, nas regiões em expansão e com alto índice de crescimento populacional, como é o caso do DF (IBGE, 2010), pois, por meio dela, é possível compreender o potencial de aumento de densidade urbana, o que favorece a correta articulação entre o espaço construído e o espaço natural.

Com o crescimento populacional, os legisladores urbanos tiveram de estabelecer regras mínimas para conduzir o uso e a ocupação do solo, sobretudo nos centros urbanos, permitindo o adensamento necessário naquele contexto. Deve-se compreender, entretanto, que muitas das regras criadas para as cidades não seguiram premissas do



---

desenvolvimento sustentável, conforme a pauta internacional. É um desafio conhecer o funcionamento da cidade, encarando-a como um ecossistema complexo.

Na maioria das cidades brasileiras, não existem prescrições urbanísticas claras que orientem a produção qualificada do espaço construído (IBAM, 2011). No caso de Brasília, o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), na sua edição mais atual, aprovada em 15 de agosto de 2012, estabelece regras gerais de caráter regulatório (DISTRITO FEDERAL, 2012), cumprindo a função legal de em um plano diretor, mas deixa de abordar a associação do clima de cada região do DF com mais especificidade.

No caso do DF, há mecanismos da legislação local como os Planos Diretores Locais (PDL) e as Normas de Gabarito (NGB) que organizam recomendações precisas quanto ao uso e à ocupação do solo, definindo projeções, recuos e gabaritos para que sejam mais adequados a cada lugar. É desejável, no entanto, que essas prescrições urbanísticas busquem uma adequada leitura das características climáticas típicas do sítio em que se inserem, o que não ocorre no DF. É deficiente o uso de ferramentas capazes de conduzir o processo de urbanização, ou mesmo de avaliá-lo. Isso se dá pela dificuldade de capacitação pelos profissionais que produzem e avaliam o espaço construído — profissionais estes que, muitas vezes, não foram preparados para lidar com tais situações durante a sua formação acadêmica.

Avaliar ou monitorar os projetos e planos urbanísticos que visam alterar o uso do solo da cidade requer conhecimento amplo, e, muitas vezes, os departamentos técnicos não estão preparados e capacitados para realizar tais ações. No exercício desse monitoramento, o uso de ferramentas poderosas como *software* de informações geográficas e simuladores computacionais que auxiliem essa missão se torna objeto de desejo dos planejadores. Cabe ressaltar que o uso dessas ferramentas foi parcialmente conquistado a partir da difusão dos sistemas de informação geográfica no final do século XX.

Mas, além dos sistemas de informação geográfica, outros *softwares* mais específicos de modelagem ambiental e avaliação sistemática de parâmetros ambientais, como o *ENVI-met* (Universidade de Bochum), passam a ser importantes aliados no controle da qualidade ambiental urbana. Nesse sentido, estudos científicos que possam subsidiar a criação dessas ferramentas são fundamentais para a manutenção da boa forma urbana, além de estabelecer a forte relação que deve ser mantida entre as contribuições da academia para com o governo local.

Um dos aspectos fundamentais a serem monitorados em uma cidade são as alterações de seu uso do solo, que, por sua vez, refletem diretamente em alterações de sua morfologia urbana. Nesta tese, a análise da morfologia urbana se dará a partir da análise do desempenho climático de determinadas composições urbanísticas, nas quais se

percebem diferentes proporções entre a distância existente entre os edifícios e os seus gabaritos de altura. Estudos de Barbirato, Souza e Torres (2007) já exemplificaram a interação entre a altura das edificações a distância e o clima urbano geram uma situação mais ou menos favorável ao conforto térmico.

Nesse sentido, essa construção do espaço urbano deve ser compreendida a partir de seus aspectos configuracionais, ou formais, na qual os elementos que compõem a massa edificada são importantes características do urbano. Parte-se, então, para o conceito de morfologia, que, para Lamas (2010, p. 37), “é a ciência que estuda as formas, interligando-as com os fenômenos que lhes deram origem”. A morfologia urbana, ainda segundo Lamas (2010, p. 37), “estuda essencialmente aspectos exteriores do meio urbano e suas relações recíprocas”. Assim, compreender a morfologia é tarefa fundamental para o profissional que pretende contribuir com a qualidade da cidade, uma vez que a sua qualidade está intimamente relacionada aos seus aspectos configuracionais de tamanho, proporção, recuos e afastamentos, sendo aspectos, portanto, formais.

São evidentes os impactos ambientais derivados da morfologia urbana, em relação à densidade e à forma da massa edificada. Para a autora, os impactos afetam diretamente a escala urbana e os setores microurbano, ou a microescala urbana (SCHILLER, 2009).

A produção do espaço da microescala com mais conforto térmico envolve fatores climáticos locais – “que condicionam, determinam e dão origem ao microclima, isto é, o clima que se verifica num ponto restrito, cidade, bairro ou rua” (ROMERO, 2000), o que configura a escala intraurbana. Ao se analisarem os fatores climáticos locais: topografia, vegetação e revestimento do solo, percebe-se que estes são os principais responsáveis pelas alterações do desempenho climático na pequena escala, conformando, nesse caso, o microclima (ROMERO, 2001).

Na cidade, o clima sofre influência direta de todo o contexto intraurbano, uma vez que, a partir da alteração dos materiais superficiais, quantidade e disposição das massas vegetadas e, principalmente, a partir da forma do conjunto edificado na cidade, há a conformação do clima da pequena escala.

Diante disso, a dissociação entre o clima do lugar e a sua produção arquitetônica e urbanística acarretam num empobrecimento cultural, uma vez que a correta leitura da dinâmica climática do sítio torna-se um fator direcionador da composição urbanística da cidade, que mantém coerência com o seu clima, e faz que a sua arquitetura se identifique com o contexto ambiental local (ROMERO, 2001).

O espaço da cidade possui determinadas características morfológicas que podem ser medidas por meio da avaliação do grau de qualidade desse espaço, a partir do seu

desempenho microclimático. O espaço conformado entre edifícios, com larguras e alturas variadas, e a alteração dos materiais superficiais de determinados setores urbanos têm gerado um grande impacto na alteração dessa qualidade.

Nesse sentido, essa pesquisa analisa a relação entre a altura e a distância existentes entre edifícios, quando estes conformam um espaço que se aproxima do cânion urbano, que significa o espaço resultante entre duas superfícies urbanas contíguas, paralelas, que uniformizam as características ambientais ali presentes.

O conceito de cânion urbano é discutido na climatologia urbana e, segundo Barbirato, Souza e Torres (2007),

consiste na principal unidade da camada intraurbana, refere-se ao volume de ar delimitado pelas paredes e o solo entre dois edifícios adjacentes, e as inter-reflexões produzidas nas superfícies que o compõem, resultando em microclimas particulares dentro do macroclima da cidade. (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007, p. 57).

A autora discute a aplicação do cânion como uma maneira simplificada de tratar a forma urbana e com objetivos relacionados à modelação climática, ao afirmar que:

são comumente encontrados os termos “urban canyon” ou “street canyon”. Esses se referem a uma unidade geométrica, de natureza tridimensional, correspondendo a um perfil de via urbana de forma retangular, orientado sob um ângulo 0 em um perfil de via urbana de forma retangular, orientado sob um ângulo 0 em relação ao eixo norte-sul. (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007, p. 55).

É necessário, então, conhecer o conceito de cânion para avaliar a proporcionalidade urbana. Assim, esta tese pretende definir, de forma mais concisa, um formato de cânion, no qual se deve dedicar para compreender melhor o seu desempenho. Esta nova categoria de cânion, mais especificamente um fragmento do cânion ou um espaço-base configurado entre edifícios alinhados, sem necessariamente conformar um cânion urbano, pode ser chamada aqui de cavidade urbana, e será conceituada no capítulo 1.

A compreensão do ambiente urbano por meio da avaliação de suas qualidades é uma forma objetiva de contribuir com a formação de espaços mais qualificados, ao mesmo tempo em que possibilita ao pesquisador conhecer melhor a dinâmica do espaço urbano e para que se proponham melhorias para a cidade.

Neste sentido, o processo de construção da cidade assume, a cada dia, o compromisso de envolver-se — com o seu contexto ambiental — suas características climáticas. Neste envolvimento, torna-se essencial conhecer o desempenho da ventilação no local, o percurso aparente do Sol e o regime de chuvas, por exemplo, pois, sem este conhecimento, os impactos ambientais gerados no processo de urbanização e na

---

produção do espaço construído são ampliados e o desenvolvimento sustentável torna-se comprometido.

Dentro desse entendimento, discute-se que a escala do desenho urbano e, mais especificamente, a escala microclimática, carecem de uma observação bastante aproximada do território, assim, as ferramentas computacionais podem ser um importante auxílio para estudos nessa escala. Há diversos problemas ambientais e urbanos que só são visíveis ao se aproximar o olhar à menor escala, a do entorno do edifício, onde o clima urbano tem uma caracterização bem peculiar e onde se apresenta um forte impacto sobre o usuário do espaço urbano. Uma vez que se pode contar com os avanços do sensoriamento remoto, com imagens de qualidade com um nível de precisão a cada 45 cm do território, essas ferramentas passam a ser estratégicas para os urbanistas.

O espaço urbano da microescala que conforma o ambiente urbano é merecedor de muitos estudos, assim como os já realizados por Romero (2010), Duarte e Serra (2003) e Silva (2009), pois é ali que muitas reações acontecem, tanto promovidas pelo edifício quanto pelo entorno, além do caráter educativo, que é o de informar as pessoas que utilizam o espaço público que ele pode e deve possuir mais qualidade, uma vez que contribui para a qualidade do espaço construído.

A microescala climática tratada aqui complementa o conceito estabelecido por Monteiro (2003), ao explicar que o “microclima é próprio para avaliar a grande edificação, habitação ou setor de habitação” (MONTEIRO, 2003, p. 29). Nesse caso, o microclima também pode ser compreendido como o clima que se processa resultante do impacto da vegetação em seu entorno imediato.

Para contribuir com uma melhor avaliação do impacto provocado a partir das mudanças configuracionais que a cidade vem sofrendo, o uso de indicadores e ferramentas de avaliação, portanto, são bem vindos. No entanto, os projetistas do espaço urbano carecem dessas ferramentas específicas, que auxiliam no desenvolvimento do projeto urbano e na avaliação do desempenho dos seus projetos ou mesmo na análise de uma área urbana já consolidada. A falta de ferramentas disponíveis para essa avaliação leva o profissional a buscar métodos mais sofisticados, o que requer, muitas vezes, amplo estudo de campo, ou contratação de especialistas para desenvolver tais estudos.

Associado a isso, coloca-se que, com a disponibilidade de ferramentas computacionais que servem como apoio à avaliação da qualidade do ambiente urbano, o método computacional de análise passa a ser fundamental para a compreensão do dinamismo do clima urbano, sobretudo o da microescala. Além disso, a divulgação de pesquisas específicas que utilizem os saberes associados ao uso das ferramentas computacionais é fundamental para o fomento dessas técnicas.

Nesse sentido, os procedimentos metodológicos apresentados neste estudo baseiam-se no uso de *software* de simulação computacional para mensurar o impacto no microclima urbano advindo de diferentes configurações urbanas determinadas por edifícios de diferentes alturas e superfície do solo revestida de arborização, grama e outros diferentes materiais urbanos. Assim, o uso dessas simulações computacionais auxilia na identificação de índices e quocientes que possam associar o conforto térmico a uma configuração urbana específica que proporcione maior grau de conforto térmico, dado um contexto físico conhecido.

Para a compreensão dessa íntima relação entre a morfologia urbana e a geração de microclimas mais confortáveis, portanto, foi essencial que se estabelecesse um contexto físico específico. Este contexto, por sua vez, possui uma dinâmica territorial, ambiental e climática própria. A análise desenvolvida nesta tese tem sua aplicação no clima do Distrito Federal, por meio da utilização de dados climáticos da estação climatológica de Brasília.

Diante da problematização trazida, questiona-se: [1ª] O conforto térmico da microescala urbana é influenciado pelo aumento de gabarito das edificações limítrofes da fração urbana e pelo uso de materiais superficiais? E, a partir disso, [2ª] o uso de simulações computacionais auxilia a identificação do grau de conforto térmico de áreas da microescala urbana?

## *I OBJETIVOS*

### **Objetivo Geral**

Esta tese tem o objetivo de compreender a relação entre o gabarito e a distância entre edifícios (que conformam a cavidade urbana) e o seu impacto no conforto térmico urbano por meio de ferramentas computacionais num contexto climático conhecido.

### **Objetivos específicos**

- compreender o desempenho do conforto térmico na cavidade urbana;
- experimentar o método computacional como ferramenta de análise do conforto térmico urbano no contexto climático de Brasília;
- identificar a relação entre os materiais de superfície do solo urbano e o espaço entre as edificações com o conforto térmico proporcionado na microescala urbana.
- classificar as cavidades urbanas segundo o desempenho de conforto para o clima do DF.
- propor uma subdivisão climática para o Distrito Federal com prescrições urbanísticas que associem clima e configuração urbana.

Para finalizar a introdução, serão apresentados os **procedimentos metodológicos** desenvolvidos para esta tese.

## *II PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS*

Optou-se por uma tese de pesquisa<sup>3</sup>, uma vez que o estudo se baseia no uso de ferramentas computacionais como método para avaliar o desempenho térmico de determinadas composições urbanas, aqui classificadas como cavidades urbanas.

A utilização do método computacional têm encontrando grande espaço em pesquisas nos últimos anos (NAKATA e SOUZA, 2012; HIRASHIMA, 2010; SHINZATO, 2007; CASTELO BRANCO, 2009, SILVA, 2009 e SILVA E ROMERO, 2009 e SILVA et al 2010,). Vislumbra-se, com o final do trabalho de pesquisa, a possibilidade de redigir elementos de fundamentação para prescrições urbanísticas focadas no conforto ambiental térmico. Esses fundamentos serão alicerçados pelos resultados provenientes da análise das simulações computacionais efetuadas.

Esta pesquisa abrange também uma leitura acertada de dados de clima urbano específicos da cidade para a qual se estabeleceu como contexto empírico, Brasília. A consulta de dados se deu no intuito de fundamentar os arquivos climáticos utilizados no processo de configuração climática no programa computacional escolhido.

Para orientar o trabalho desta pesquisa, os procedimentos metodológicos seguidos foram didaticamente organizados em seis momentos. A saber:

- **[A] revisão bibliográfica:** desenvolvida nos capítulos 1 e 2;
- **[B] caracterização do Distrito Federal:** desenvolvida no capítulo 3;
- **[C] modelagem bioclimática:** desenvolvida no capítulo 4;
- **[D] simulações computacionais:** desenvolvidas nos capítulos 4 e 5;
- **[E] resultados e análises de desempenho térmico:** desenvolvidas no capítulo 6.

Além desta introdução, os sete capítulos da tese estão organizados em duas partes, arrematadas pelas conclusões.

---

<sup>3</sup> Eco (2009, p. 4) categoriza as teses em dois tipos: “de compilação” e “de pesquisa”.

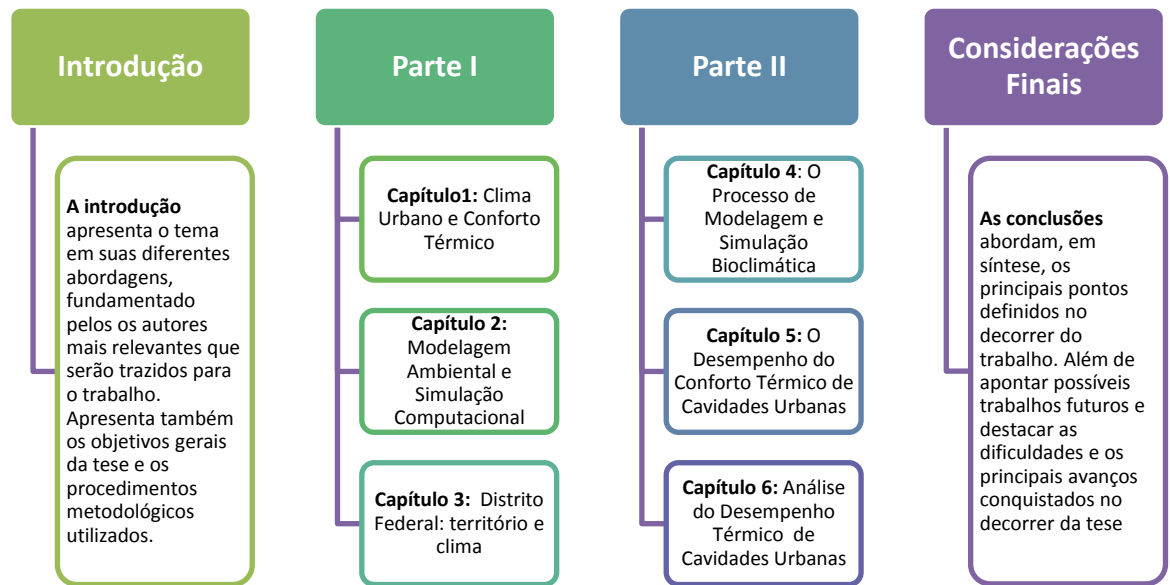


Figura 1 – Esquema didático da estrutura da tese

A parte 1 da tese dedica-se aos três conteúdos-âncora que foram tratados nesta pesquisa: o primeiro: conforto térmico e o seu contexto no clima urbano; o segundo: as simulações computacionais a partir da consequente modelagem bioclimática; e, por fim, o terceiro: o contexto bioclimático de aplicação da metodologia - o Distrito Federal. Esses três grandes temas trazidos na primeira parte adquirem, em instância didática, caráter de parâmetro de qualidade, método de avaliação e estrutura de aplicação, respectivamente (Figura 2).

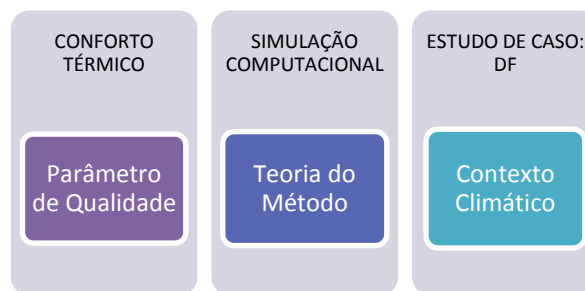


Figura 2 – Esquema didático da primeira parte da tese

A parte 2 da tese aborda a operacionalização da pesquisa. O capítulo 4 dedica-se aos procedimentos metodológicos das etapas de modelagem e simulação computacional. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com as simulações e, por fim, o capítulo 6 desenvolve uma análise paramétrica dos resultados obtidos.

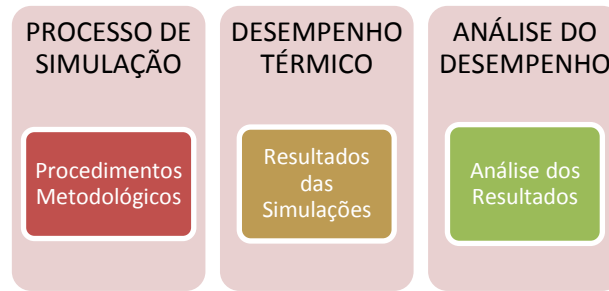


Figura 3 - Esquema didático da segunda parte da tese

Os cinco momentos metodológicos são organizados por assunto e com os referidos autores, conforme apresenta-se:

### **[A] Revisão Bibliográfica**

Nesse momento, encontram-se dois eixos temáticos: trabalhados na primeira parte da tese. Como primeiro eixo temático: clima e conforto, conceituou-se clima urbano (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003), em seguida, foram estudados os aspectos do clima e a sua relação com o ambiente bioclimático (OLGYAY, 1998; ROMERO, 2011). Os impactos no microclima urbano advindos com o processo de urbanização (GARCÍA, 1992; BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007; SANTAMOURIS, 1997 e 2001), além de indicadores de conforto térmico (MONTEIRO e ALUCCI; FANGER, 1970) arrematados pela discussão do zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2004; RORIZ, LAMBERTS e SATLER, 1999; RORIZ, 2012). Para alicerçar o contexto da sustentabilidade urbana, foram abordados critérios de parametrização de sustentabilidade (RUEDA, 1995 e 1999; OCHOA DE LA TORRE, 1999; ROMERO, 2007 e 2010).

No segundo eixo temático, que apresenta o conteúdo mais inovador da tese, aborda-se a contribuição da tecnologia para os estudos na área de arquitetura e urbanismo (LEDO, 1996). Foram discutidos os estudos precursores do uso dos computadores no panorama da revolução digital (MONTENEGRO, 2001). No segundo momento, foram citados os conceitos de Modelagem (CHRISTOFOLETTI, 1999; ANJOS, 2007) e Simulação Computacional (BRUSE, 2007). E, em seguida, organizaram-se os principais programas computacionais utilizados em trabalhos científicos de conforto térmico nos centros de pesquisa de várias universidades do mundo. Para isso, buscou-se fundamentação em relatórios de pesquisa no Departamento de Energia da Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universitat Politècnica de Catalunya durante do estágio de doutorado sanduíche em Barcelona. Utilizou-se a tese de Martinez (2007) como referência nesta pesquisa.



## [B] Caracterização do clima do Distrito Federal

Ainda na parte I, caracterizou-se o território e o clima do Distrito Federal enquanto estudo de caso. Para essa caracterização climática do Distrito Federal, partiu-se dos dados oficiais climáticos para Brasília. Nesse sentido, foram utilizados dados oficiais de clima urbano (INMET, 2009; 2012), contextualizados nos estudos climáticos de referência (GIVONI, 1969 e 1989; OKE, 1997; SERRA, 1999; MENDONÇA e MONTEIRO, 2003) e, na esfera do Distrito Federal (FERREIRA, 1965; ROMERO, 2000 e 2001). Além desses, abordam-se mapas geomorfológicos do Distrito Federal e sua interpretação diante das classificações climáticas Köppen (CODEPLAN, 1986).

## [C] Modelagem Bioclimática

Para a modelagem bioclimática, utilizou-se a plataforma do programa *ENVI-met*<sup>4</sup> (BRUSE e FLEER, 1998, BRUSE, 2006). Para controlar a variância dos resultados das diversas simulações realizadas, optou-se por modelar cenários hipotéticos de diferentes relações morfológicas — entre afastamento e altura edificada, permitindo-se, assim, a representação de cavidades urbanas diversificadas. Nesta etapa de modelagem, foram utilizados os programas o Sketch Up, AutoCAD e *ENVI-met*.

Foram desenvolvidos diversos tipos hipotéticos chegando-se ao quantitativo de 21 tipos, cada um representando um valor de proporção urbanística. Os tipos representam 21 situações com diferentes índices de W/h. Partiu-se de um índice de W/h com o valor de referência relativamente baixo: 0,1, que foi considerado o menor valor avaliado. Ou seja, tipo que representa a distância entre os edifícios como sendo 10 vezes menor que a altura do edifício. Este tipo foi chamado de Tipo 0. A partir desse valor, obteve-se o tipo de maior valor avaliado, ou seja, tipo cuja distância entre edifícios fosse 10 vezes a altura média entre os mesmos, também situação hipotética extrema, que passou a ser denominado de Tipo 20. A partir do tipo com W/h de 0,1 até o valor de W/h 10, obteve-se uma variação para cada 0,5, ou seja, gerando-se, assim: 21 tipos.

Todos os tipos possuem cem metros quadrados de área e o mesmo arranjo formal, alterando-se a altura das edificações, resultando em 21 tipos que possuem diferentes valores de relação W/h e alterando-se a orientação de implantação dos edifícios, ora no eixo norte-sul, ora no eixo leste-oeste, resultando em 42 tipos. Em cada um desses 42

---

<sup>4</sup> É um modelo microclimático tridimensional concebido para simular as interações superfície-planta-ar no ambiente urbano. Tem aplicação em diversas áreas correlatas à Climatologia Urbana, Arquitetura, Edificações e Planejamento Ambiental. É especializado em análise ambiental microclimática desenvolvido no Departamento de Geografia da Universidade de Bochum – Alemanha, atualmente em desenvolvimento no Centro de Pesquisa da Universidade de Mainz. As simulações seguem os procedimentos aplicados por Silveira (2007), desenvolvidos na UFMG - Brasil, Silva (2009) e Burgos (2009), desenvolvido na UnB - Brasil, todos baseados na metodologia de Bruse (2006). *Software* livre disponível no site: [www.ENVI-met.com](http://www.ENVI-met.com).

tipos, foi modificada a composição do solo, totalizando seis diferentes configurações: asfalto, concreto, pedra, solo natural, grama e área arborizada. Ao final, foram obtidos 252 tipos diferentes, simulados para um período característico do clima da cidade de Brasília, considerado desconfortável termicamente, representado pelo mês de setembro. Nesses tipos, o único objeto de avaliação foi o grau de conforto térmico urbano por meio do índice PMV (FANGER, 1970).

#### **[D] Simulações Computacionais**

Nesta etapa, foram desenvolvidas as simulações computacionais, seguindo metodologia já estabelecida (BRUSE, 2006; SILVEIRA, 2007; NAKATA E SOUZA, 2012; HIRSAHIMA, 2010, SHINZATO, 2007; CASTELO BRANCO, 2009 e SILVA, 2009). O programa utilizado, o *freeware ENVI-met*, foi o principal suporte para os cálculos computacionais desenvolvidos no decorrer do trabalho. Este programa trabalha com a análise dos índices de conforto de Fanger (parâmetro PMV) na modelagem de cenários urbanos, configurados a partir da morfologia urbana (gabarito das edificações) e diferentes tipos de materiais urbanos, por meio de simulações dinâmicas (BRUSE E FLEER, 1998, BRUSE, 2006).

Já especificado o *software*, foi essencial compreender como funciona o método da simulação computacional. O processo de simulação computacional pode ser resumido em três etapas essenciais: modelagem, simulação propriamente dita e análise dos dados simulados.

Para o procedimento, denominado simulação computacional propriamente dita, é necessária a definição de um parâmetro de avaliação, uma vez que está definido o programa de avaliação: *ENVI-met*. Como parâmetro de simulação, utilizou-se o grau de desempenho do conforto humano no espaço aberto, neste caso, obtido por meio do índice de conforto de PMV — *Predicted Mean Vote* — de FANGER (1970). Para essa análise, foram utilizadas ferramentas de simulação computacional, importantes mecanismos de avaliação do desempenho ambiental de frações urbanas.

#### **[E] Resultados e Análises de Desempenho Térmico.**

Estão sistematizados, nesta última etapa, os dados obtidos pelas simulações computacionais realizadas na etapa D. A intenção, ao analisar os diversos dados obtidos, é a de fornecer subsídios para futuras ferramentas de avaliação da qualidade ambiental do espaço urbanizado, mais especificamente, na medição do potencial de conforto térmico. Para tanto, foram desenvolvidos cenários com diferentes elementos ambientais no contexto climático do DF. Espera-se, ao final do trabalho de análise, que seja organizado um protocolo mínimo para subsidiar estudantes, arquitetos e urbanistas na elaboração de avaliações bioclimáticas do ponto de vista do conforto térmico, além de

incentivar o uso mais frequente e correto de ferramentas computacionais que auxiliem estas análises. Salienta-se que o método de análise bioclimática por simulações computacionais é útil tanto para a projeção de novas áreas urbanizadas quanto para a intervenção ambiental de áreas existentes.

Para a extração e tratamento dos dados provenientes do processo de simulação computacional, foram utilizados os programas Leonardo<sup>5</sup> e Excel.

A partir das contribuições quantificadas de cada recurso ambiental utilizado e das simulações efetivadas para cada orientação solar analisada, pretende-se, como estudo futuro (posterior à tese), a elaboração de uma ferramenta para avaliação instantânea do desempenho térmico de uma área urbanizada. Espera-se que, ao se determinar o gabarito dos edifícios da área urbana analisada, bem como os materiais urbanos que compõem o solo e a orientação solar de implantação dos edifícios, possa ser alcançado um indicativo do nível de conforto térmico.

---

<sup>5</sup> Leonardo é o plugin de apresentação de mapas do programa *ENVI-met*. Trata-se de um *freeware* capaz de apresentar, em escala e legenda adequados, os resultados simulados de modo especializado, facilitando a compreensão dos dados simulados.

Os climas podem ser entendidos como conhecimento e poesia, comodidade e utilidade, evidência e engano, afirmação e negação, relato e silêncio. No ambiente, nos climas da arquitetura, não fazem mais que refletir, outra vez, todas as dualidades da vida humana.  
Serra, 2009, p. 19

## PARTE I

### Referencial Teórico

**O REFERENCIAL TEÓRICO** consta dos capítulos 1, 2 e 3. Esta parte configura-se como o tripé de sustentação temática desta tese. Assim, a lógica de organização dos capítulos buscou abarcar os três temas mais pertinentes tratados no decorrer da pesquisa, a saber: conforto térmico, simulação computacional e morfologia urbana. O primeiro capítulo intitulado: CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO aborda o conforto térmico urbano, aspectos do clima urbano, bioclimatismo e os índices de conforto térmico. O segundo capítulo denominado MODELAGEM AMBIENTAL E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL aborda a modelagem ambiental e descreve o processo de simulação computacional, traz também os temas correlatos como as tecnologias e a avaliação do desempenho por meio de ferramentas computacionais. O terceiro capítulo denominado DISTRITO FEDERAL: TERRITÓRIO E CLIMA: dedicado à apresentação de abordagem geopolítica, com foco climático, o conteúdo do capítulo estabelece a relação entre o espaço urbano do Distrito Federal e o sua caracterização bioclimática, contextualizado no Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



## Capítulo 1

# 1. Clima Urbano e Conforto Térmico

Neste capítulo conceitua-se clima urbano e conforto térmico. De modo mais específico, o clima será tratado enquanto recurso ambiental da microescala urbana. O conforto aqui será tratado como conforto urbano ou conforto para os espaços abertos. Para isso, apresenta-se o conceito de clima urbano (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003) e a sua relação com o bioclimatismo (ROMERO, 2011). Para conhecer a dinâmica do clima urbano (OKE, 1997) e sua relação com o conforto térmico (GIVONI, 1969, FANGER, 1970, SANTAMOURIS, 1997; OLGAY, 1998; SERRA, 1999) abordando-se a classificação de clima urbano por meio do Sistema de Clima Urbano (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003), além das escalas climáticas e sua relação com o ambiente urbano (OCHOA DE LA TORRE, 2009; ROMERO, 2001). Apresentam-se critérios para a parametrização da sustentabilidade urbana (ROMERO, 2007, 2010; RUEDA, 1999). Apresenta-se relação entre clima e configuração urbana (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007; BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2008; ROMERO, 2000 e 2001), sobretudo na caracterização do fenômeno da ilha de calor urbana (HOWARD, 1833, LOMARDO, 1985, GARCÍA, 1992). Finaliza-se com as pesquisas acerca de índices de conforto térmico para espaços abertos (MONTEIRO e ALUCCI, 2005 e 2007; FROTA e SCHIFFER, 1988, NIKOLOPOULOU, 2004).

## 1.1 Estudos de clima urbano

Para tratar-se de clima urbano, apresenta-se a concepção de Mendonça e Monteiro (2003) quando esclarece que: “a concepção de clima prende-se àquela dos estados médios dos elementos atmosféricos sobre o dado lugar que, no caso, prende-se a existência de uma cidade”. (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003, p. 11).

Logo, o clima urbano é influenciado diretamente pela dinâmica do ambiente urbano. É dotado de particularidades, uma vez que é resultante da combinação entre os fatores climáticos globais como a latitude e longitude e, no caso do microclima, influenciado pelos fatores climáticos locais como a morfologia das ruas, o gabarito das edificações, a arborização dos espaços livres e os materiais de conformação do solo. De um modo geral, o clima urbano é alterado sensivelmente também pelos fatores físicos como a radiação e a condução, além dos fatores dinâmicos como características climáticas, calor antropogênico provocado pelas emissões de carros, pela presença de indústrias, entre outros. (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007).

O ambiente das cidades sofre influência tanto do clima preexistente quanto de modificações climáticas introduzidas pela urbanização (ROMERO, 2001). Essas alterações são percebidas principalmente na velocidade e direção dos ventos, qualidade do ar, radiação solar e umidade relativa do ar. Essas condicionantes são afetadas pelo volume de massa construído, pela forma das edificações, pela poluição atmosférica, pelas alterações das superfícies que aumentam o calor (reflexão e absorção), pela impermeabilização do solo e pela escassez de vegetação e água.

### 1.1.1 Climatologia urbana e clima urbano

A climatologia urbana é o ramo da ciência dedicada aos estudos do clima urbano (GARCÍA, 1992) tem grande aplicabilidade no desenvolvimento de pesquisas das áreas da arquitetura e do urbanismo. O urbanista tem interesse específico no clima que se processa no espaço urbanizado que, nas palavras de Mendonça e Monteiro (2003) é aquele que se identifica a partir do sítio, constituiu o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere.

O relatório da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) de 1977 já afirmava que “em escala local o clima é afetado por emissões térmicas diretas das áreas urbanas e industriais”. Este relatório foi construído embasado em vários pesquisadores dentre os quais Chandler (1969), Landsberg (1972) e Oke (1975), (CARVALHO, 1993, p. 233). No entanto, mesmo cercado por diversas pesquisas que abordaram a temática do clima

urbano, “entre 1972 e 1984, as pesquisas foram realizadas dentro de uma concepção geográfica” (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003, p. 77).

Estudos apresentados pelo Fórum Mundial de Economia (WEF, 2012) apresentaram os principais riscos internacionais nos últimos anos, em relação à probabilidade de ocorrência e quanto aos impactos gerados. Neste estudo, as questões de climatologia foram apontadas tanto nos riscos globais prováveis como dos riscos de maior impacto. (Figura 4 e Figura 5).

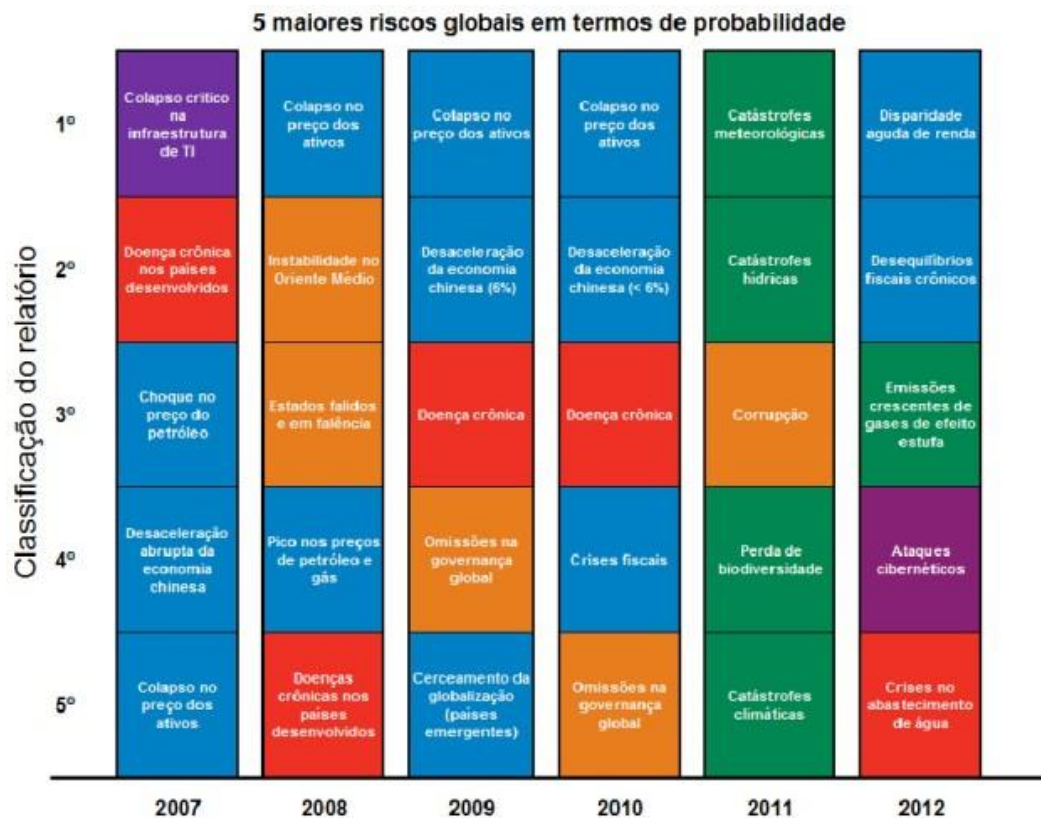


Figura 4 – Riscos globais quanto à probabilidade. Fonte: WEF, 2012

Apesar da estratégica importância conferida à área da climatologia, BRASIL (2008) no Plano Nacional sobre Mudança no Clima (PNMC) destaca dentre as frentes de vulnerabilidade apenas áreas não diretamente ligadas ao processo de urbanização, como, por exemplo: florestas, agropecuária, indústria, resíduos, transportes e saúde.



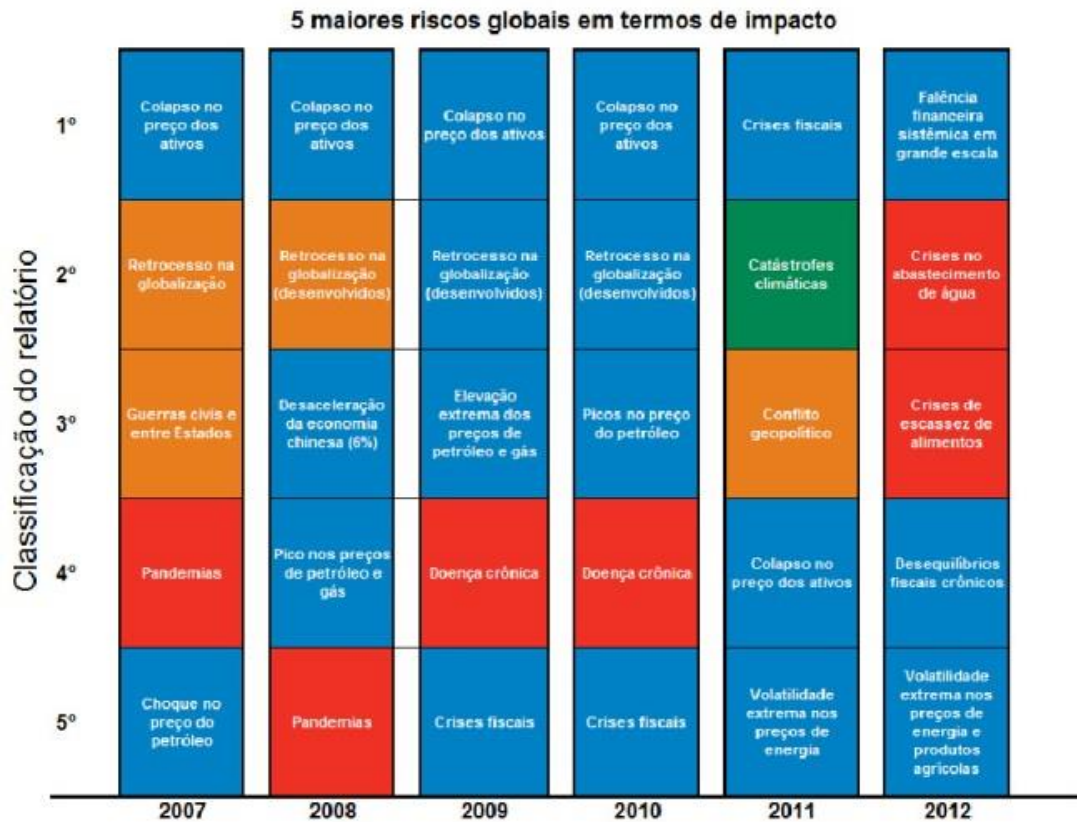


Figura 5 – Riscos globais quanto ao impacto gerado. Fonte: WEF, 2012.

O clima da cidade está estritamente relacionado às características ambientais do sítio em que ela está instalada. Nos últimos anos, o clima urbano ganhou relevância nas pautas do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, percebe-se que o processo de urbanização tende a modificar os ecossistemas naturais, aumentando a temperatura, reduzindo a umidade, além de alterar a composição química da atmosfera, o que acarreta a criação de microclimas. Estes, por sua vez, apresentam condições de habitabilidade e sustentabilidade nem sempre satisfatórias, podendo ampliar a necessidade de intervenções urbanas bioclimáticas que podem reverter ou minimizar essas consequências.

Dessa forma, percebe-se que muitos dos problemas causados pelo processo de urbanização estão intimamente relacionados ao microclima, o que é justificável, uma vez que as variáveis do clima urbano afetam não somente os espaços abertos, mas atuam de forma clara nos espaços construídos, repercutindo diretamente no conforto dos usuários.

### 1.1.2 Fatores climáticos

Fatores climáticos podem ser divididos segundo a sua escala de atuação no clima. Podem ser exemplificados como temperatura, umidade do ar, radiação solar, latitude, pressão atmosférica, entre outros. Romero (2001) os separa segundo a sua escala de atuação no clima urbano: globais e locais. Os globais originam o macroclima, enquanto os locais compõem o microclima. Portanto, sua distribuição e composição condicionam o clima e o microclima urbano. Essa associação se dá de modo mais forte ou mais ameno, uma vez que cada clima tem uma resposta diferente para os elementos ambientais: solo, água, vegetação etc.

Alguns recursos naturais são vistos como estratégicos pelo seu poder de atuação na criação de microclimas urbanos diferenciados. São eles os elementos: água ou áreas aquíferas, vegetação e solo. No cenário da cidade, muitas vezes, a água poderá se manifestar não em sua forma natural, mas em artifícios projetados pelo homem, muitas vezes com intenção bioclimático-paisagística. Assim como a vegetação que possui diversas manifestações de atuação na paisagem desde superfícies gramadas, pequenos arbustos ou mesmo grandes massas arbóreas. E o solo que pode ser composto por matéria natural, terra, ou revestido e mais impermeável, muito mais comum no contexto da cidade, composto de camadas de concreto, asfalto, areia, pedra, etc.

Todos esses materiais e os elementos ambientais são estudados enquanto sua propriedade física, seus índices de especularidade, seu albedo e seu comportamento para agregar conforto ambiental. Neste sentido, vê-se que os aspectos que se referem à influência do entorno urbano sobre o clima zonal, com diferentes formas, densidades e tipos de trama urbana são também relevantes na seleção das estratégias bioclimáticas a serem adotadas. Das propriedades térmicas que são mensuradas para a avaliação dos materiais tem-se a taxa de albedo e a emissividade. O albedo representa o calor gerado por reflexão de radiação, logo, está associado à cor do material. Quanto mais escuro o material, mais baixa a taxa de radiação solar, e, conseqüentemente, mais baixo o albedo. Já a emissividade está associada à capacidade do material de emitir radiação, neste caso, os materiais urbanos são comumente materiais de alta emissividade (Tabela 1).

Tabela 1- Propriedades radiantes de superfícies encontradas nos espaços urbanos.

Material	Albedo (%)		Emissividade (%)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Solo	<b>5</b>	<b>75</b>	<b>90</b>	<b>98</b>
Solo arenoso	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>84</b>	<b>91</b>

---

Vegetação	5	30	90	99
Asfalto	5	15	95	
Concreto	10	50	71	90

Adaptado de MARTINEZ (2007, p. 165).

### 1.1.3 Escalas climáticas

As escalas climáticas referem-se aos recortes de análise do clima urbano que parte deste a macroclimática até a escala local, ou do microclima. Para a sua compreensão é essencial partir-se da categorização taxonômica proposta por Mendonça e Monteiro (2003). Para eles:

Em primeiro lugar, proponho mesoclima. Nesse caso, há uma concordância com o quadro de Trincart & Cailleux. Não deverá haver aí qualquer confusão com a escala de tratamento. [...] Como última unidade, aparece o microclima, mais próximos dos limites que lhe foram traçados por Geiger (1950), sem a rigidez dos dois metros, mas sem atingir muitas dezenas de metros (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003, p. 29).

Torna-se relevante, nesse momento, apresentar as escalas climáticas segundo os trabalhos de Romero (2000), que se traduzem em: topo, meso e microclima. É na última escala climática, a do microclima, que agem os fatores climáticos locais entendidos como vegetação, topografia e revestimento do solo.

De forma complementar aos conceitos apresentados, como exemplo, Ochoa de La Torre (2009) aponta que desde a janela de um automóvel, pode-se observar o clima zonal. Essa é uma escala intermediária que permite a visão das coisas em três dimensões; essa grande imagem de paisagem urbana começa a tomar forma e segue sendo uma visão mais ou menos geral, no entanto, podem-se apreciar mudanças na trama urbana de modo mais sutil em relação às demais escalas. O autor afirma que na escala zonal é possível distinguir com mais clareza os elementos que compõem o espaço urbano.

Reforça-se que o microclima pode ser muito diferente do clima zonal. As medições das estações meteorológicas são representativas de uma área mais ou menos ampla, mas, para fins de desenho urbano e arquitetônico, os efeitos do clima sobre os seres humanos, seus edifícios ou demais organismos vivos não podem ser deduzidos diretamente desses resumos climatológicos, já que as condições do clima em contato com ar mais próximo à superfície estão sendo influenciados por diversos fatores e se transformam rapidamente. Uma sistematização das escalas climáticas e de seus principais autores são reunidos para uma leitura mais didática. (Quadro 1).

Quadro 1 – Escalas climáticas

AUTORES	ESCALAS E SUA ABRANGÊNCIA					
	MACRO-CLIMÁTICA	TOPO-CLIMÁTICA	MESO-CLIMÁTICA	ZONAL	LOCAL	MICRO-CLIMÁTICA
Mendonça e Monteiro (2003)	Continental		Região		Localidade: parque, bosque, vale, montanha	Zona específica considerando todas as variáveis locais.
Ochoa de la torre (2009)				Escala intermediária. Local com propriedades uniformes		
Romero (2001)		Associada aos fatores climáticos globais	Escala intermediária			

Adaptado de MENDONÇA e MONTEIRO (2003, p. 29) E OCHOA DE LA TORRE (2009) e ROMERO (2001).

Pode-se extrair o seguinte conceito a partir dos estudos ora apresentados. O microclima é a menor escala climática de menor abrangência, por outro lado, a mais mutável. É a escala de interesse dos estudiosos do clima urbano e o seu impacto na cidade, pois tem relação íntima com a escala local e a escala do usuário.

## 1.2 Avaliação de conforto térmico e configuração urbana

Uma avaliação de conforto térmico exige a análise pormenorizada da configuração urbana do lugar. Uma análise precisa deverá levar em conta as características climáticas, além de fatores culturais e sociais. Atualmente, surgem alguns indicadores e tipos criados para avaliar alguns aspectos dos espaços urbanos, no entanto, muitos desses indicadores enfatizam a produção dos bens e buscam a redução do consumo energético.

Adolphe (2003) elabora sistemas que integram o clima externo no desenho dos espaços urbanos por meio de indicadores de desempenho ambiental para as cidades. Sua pesquisa tem dois focos: “a energia e o microclima e tem três objetos: os edifícios, a vegetação e o transporte”. O autor apoia seu trabalho em quatro critérios: “morfológico, tecnológico, tipológico e perceptivo”. Esses trabalhos utilizam a tecnologia SIG para estruturar os dados e propõem atuar diferenciadamente para a construção, a vegetação e o transporte nas cidades.

Destaca-se agora a necessidade da regra ou parâmetro para avaliar a qualidade urbana. Neste sentido, Serra (1999) conceitua parametrizar como:

conhecer as características objetivas de um determinado espaço de modo que possam ser mensuradas em termos energéticos e ambientais, sempre incorporando as ações dos seus ocupantes, e os colocando numa situação de equilíbrio, ou seja, de conforto (SERRA, 1999, p. 12)

Tratando-se de parâmetros de qualidade ambiental urbana, o impacto do entorno edificado é pouco ou não é considerado para os cálculos de avaliação. No entanto, é sabido que a massa construída exerce forte impacto nos espaços urbanos, ou pela projeção da sombra do edificado nos espaços abertos, pela barreira aos ventos que esses edifícios exercem ou até mesmo pela reflexão de luz e de ondas de calor que provocam, alterando significativamente o grau de conforto térmico.

De modo mais específico, a relação entre forma e conforto se dá na medida em que se têm materiais diferentes que conformam o recinto urbano, e, segundo Romero (1995), são modificadas as propriedades do componente “base” (conceito da autora), onde inclui os elementos do espaço público assentados na superfície, tais como: pavimentos, vegetação, água, mobiliário urbano. O clima urbano altera diretamente o desempenho das propriedades físicas dos materiais de cada um deles (ROMERO, 1995).

Além dos materiais urbanos, a forma com estão compostos e organizados na cidade é fundamental para o comportamento térmico e a conformação de microclimas diferenciados. Corbella e Yannas (2003) afirmam que

A posição das ruas com a relação às trajetórias solares e aos ventos dominantes, a altura dos edifícios com relação à largura das ruas, a presença de vegetação e água, as cores da pavimentação e das fachadas, as reflexões da energia solar sobre as pessoas, são alguns dos elementos determinantes das modificações do microclima urbano em relação ao rural (CORBELLA e YANNAS, 2003, p. 172)

Assis (1990) afirma que as questões do uso do solo e, conseqüentemente, da morfologia urbana, estão ligadas às ações profissionais de arquitetos, engenheiros civis e planejadores urbanos que, através do projeto das estruturas urbanas e/ou de edificações, determinam não apenas as condições internas, mas tem grande responsabilidade pelo ambiente climático exterior.

Fontes (1999) estuda a relação entre a morfologia urbana e a temperatura do ar. A autora defende a importância de estudos do microclima urbano e sua contribuição para o planejamento urbano. Desenvolve, para a cidade de São Carlos, uma série de regressões lineares, no sentido de identificar as relações causa e efeito entre a temperatura do ar e parâmetros da estrutura urbana, fundamentais para subsidiar o planejamento urbano.

Barbirato, Souza e Torres (2007, p. 7) afirmam que “as edificações interferem na quantidade de radiação solar, que atinge as superfícies da estrutura urbana, pois grande parte desta radiação é por elas bloqueada”. Neste sentido, Romero (2009) coloca que:

ao longo de um ciclo diário, as superfícies que constituem a rua experimentam diferenças espaciais e temporais de temperatura, devido aos diferentes níveis de exposição solar. Os materiais de construção são também, tal como a vegetação, elementos com uma elevada absorção e baixa refletividade e, como tal, uma grande parte da radiação solar que neles incide é absorvida (ROMERO, 2009, p. 240).

### 1.3 Cânion urbano e cavidade urbana

Para a compreensão desta tese, o cânion urbano será abordado em seu fragmento, aqui denominado cavidade urbana, conformando um recinto urbano específico, não sendo necessário se obter a dimensão de cânion. A análise baseia-se, portanto, no estudo do desempenho térmico da área urbana proveniente desta composição edilícia: a cavidade urbana. Nesse contexto, é verificado o comportamento climático de diferentes espaços urbanos, nos quais foi realizada uma série de 400 simulações computacionais com a finalidade de mensurar o desempenho climático dos referidos recintos urbanos. Nos tipos avaliados, foram alterados a altura e o afastamento entre as edificações.

Este espaço-base conformado por edificações paralelas, para efeito desta tese, é denominado cavidades urbanas, que podem ser compreendidas como uma variação do cânion urbano, que, por sua vez, foca-se na base da fração urbana, enquanto o cânion analisa todo o complexo do comportamento térmico das fronteiras e da base da fração, a cavidade foca-se no elemento base. Além disso, a escala da cavidade é menor, enquanto o cânion pode ser compreendido analisando-se a rua, a cavidade foca-se na análise no espaço conformado entre dois edifícios paralelos (análise de 1 plano), sem necessariamente formarem um cânion (análise nos três planos) (Figura 6).

a) Destaque para 3 (três) planos

b) Destaque para 1 (um) plano

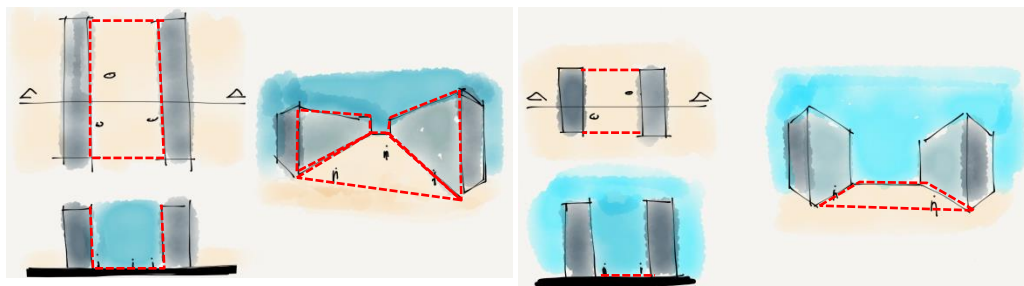


Figura 6 – Esquema de Cânion Urbano (a) e de Cavidade Urbana (b)

Para diferenciar a camada limite urbana da cobertura urbana, Barbirato, Souza e Torres (2007) afirmam que:

enquanto a camada limite urbana é um fenômeno de escala local a da mesoescala, a camada de cobertura urbana é governada por processos de microescala, presentes na camada intra-urbana das ruas, que formam os canyons entre as edificações (BARBIRATO, SOUZA E TORRES, 2007, p. 55).

A cavidade urbana pode representar, portanto, uma fração do cânion urbano; trata-se da base<sup>6</sup> da estrutura urbana, ao passo que o cânion corresponde, também, aos planos verticais conformados pelos paredões edificados. Assim, esse estudo dedica-se a compreender o que ocorre no espaço configurado como essa cavidade urbana; que é mais específica que o cânion urbano.

Essas frações de cânions urbanos, chamadas cavidades, são configurações morfológicas próprias do meio urbano. É nas cidades onde se encontra o espaço urbano que é delimitado lateralmente por dois edifícios alinhados, conformando uma fração da microescala urbana com características próprias. As cavidades são encontradas em quaisquer conjuntos edificados, neste caso, abrange mais situações de arranjos urbanísticos, não necessariamente representa a rua, mais numa quadra, num conjunto de edifícios, num setor, entre outras conformações, pois pode ser delimitada por variadas distâncias entre edifícios.

Outros autores tentam conceituar o espaço configurado entre os edifícios. Cullen (2008, p. 47), por exemplo, descreve este espaço que se conceitua de cavidade como “uma espécie de estreitamento que é caracterizada pela aproximação de dois grupos compactos de edifícios que resulta numa espécie de pressão”. Ainda segundo o autor, “esses espaços permitem manter uma atmosfera de recinto”, ou seja, a cavidade é caracterizada pelo ambiente urbano criado por barreiras edificadas. Por esse motivo, será adotado, nesta tese, o termo cavidade em vez de cânion urbano, tendo em vista que a primeira representa uma maior variedade de cenários urbanos e caracteriza de modo mais adequado o objeto de estudo.

Para representar o comportamento térmico das cavidades urbanas é razoável adotar um parâmetro de análise. Dentre diversos parâmetros de análise, são bastante utilizados em estudos de desempenho térmico urbano o Fator de Visão do Céu (FVC) e a relação entre a largura e altura da caixa viária  $W/h$  ou  $H/W$ , a saber.

---

<sup>6</sup> Conceito de Romero (2001).



### 1.3.1 Fator de Visão do Céu (FVC) e índice W/h (Width/Height)

Podem ser citados os índices Fator de Visão do Céu (Sky View Factor) e W/h (ou  $H/W^7$ ) como dois dos mais importantes índices utilizados para avaliar o desempenho da qualidade do espaço urbano. Ambos os índices associam a influência da morfologia urbana com o conforto ambiental proporcionado. Utilizam fórmulas para calcular a relação entre a largura da via e altura dos edifícios do entorno imediato.

Romero (2009) classifica a relação W/h como um elemento de geometria urbana, quando cita:

A geometria urbana (W/h – relação entre largura das vias e a altura dos edifícios) é fundamental no controle da ilha de calor, por ter influência no processo de absorção da radiação solar e da radiação de ondas longas emitida pelas superfícies dos edifícios e do solo, na redução das perdas de calor devido aos ventos e na produção antropogênica de calor. (ROMERO, 2009, p. 239).

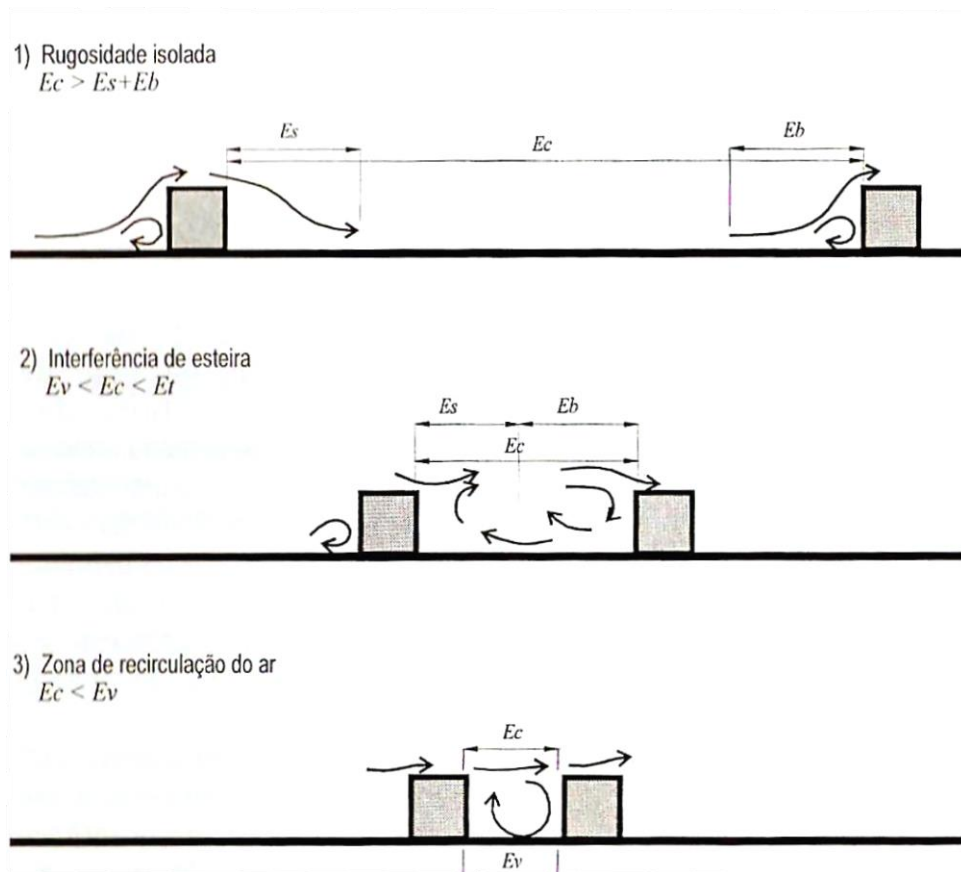
Nesta tese será utilizado o índice W/h de Romero (2001) em detrimento do índice H/W utilizado em outras pesquisas oriundas da difusão do trabalho de Tim Oke (1974). Este uso deve-se a um fato didático. A relação pesquisada aqui parte do tamanho da cavidade, base, considerada como a primeira variável, portanto, será utilizado o índice que considera a largura = W como a primeira variável

Estudos anteriores classificam os espaços configurados entre edifícios, resultantes da proporção entre a distância dos prédios e suas alturas, em três categorias: expansivos, de recolhimento e claustrofóbicos (ROMERO, 2001). Assim, a avaliação desses espaços é feita segundo os seus índices de W/h, em que podem ser considerados desde espaços claustrofóbicos ( $W/h < 1$ ) e expansivos ( $W/h > 6$ ), segundo a conceituação de Romero (2001). A autora defende que os espaços de recolhimento são aqueles que apresentam o melhor desempenho bioclimático:

Os espaços claustrofóbicos, em áreas de densidade alta, com as proporções  $W=1/8H$ ,  $W=1/4H$  e  $W=1/2H$  absorvem calor muito acima do nível do solo. Existe um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo. Em espaços de recolhimento, de densidade média, com proporções  $W=H$ ,  $W=2H$  e  $W=3H$  a absorção de calor se dá próxima ao nível do solo. Existe uma menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior. Nos espaços expansivos, de densidade baixa, com proporções  $W \geq 4H$  a maior parte da radiação é refletida. A possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior (ROMERO, 2009, p. 240).



Percebe-se que não há limites claros entre os espaços muito próximos, caracterizados como claustrofóbicos por Romero (2001) e muito afastados, ou expansivos, classificados também por Romero (2001). Além desta visão, Bittencourt e Cândido (2008) alertam que é a relação entre o distanciamento entre os edifícios do conjunto edificado geram uma importante interferência na recuperação dos ventos dominantes. Para os autores, o arranjo dos edifícios pode ser classificado em três categorias.



A) de rugosidade isolada. B) de interferência da esteira e c) De zona de recirculação de ar, onde  $E_c$  é o espaço entre as construções;  $E_s$  é o espaço de sotavento;  $E_b$  é o espaço de barlavento,  $E_v$  é o espaço de vórtices e  $E_t$  é espaço total (**Erro! Autoreferência de indicador não válida.**).

Figura 7 – Regime de circulação de vento entre as edificações

Fonte: Lee et al, 1980 apud Bittencourt e Cândido (2008, p. 54).

Romero (2011) afirma que o FVC e a relação entre a largura da via e a altura dos edifícios que a emolduram ( $W/h$ ) revelaram-se importantes instrumentos para o monitoramento das relações geométricas do espaço com o ambiente climático. Dentre eles, o FVC destaca-se por representar mais adequadamente a realidade morfológica

urbana. Através dele é possível visualizar o impacto espacial das edificações, individualmente ou em grupo, tanto em sua fase projetual como após a construção.

Souza (1993) afirma que “o fator de visão do céu (FVC) é um parâmetro adimensional também chamado de fator de configuração ou ainda fator angular”. Ele representa uma estimativa da área visível de céu, que, por apresentar normalmente sua temperatura inferior à da superfície terrestre, é elemento essencial no balanço energético. Oke (1981) complementa que o FVC é um importante parâmetro de avaliação do fenômeno da ilha de calor urbana.

O FVC é um parâmetro que pode influenciar a dimensão urbanística em grande escala, assim, contribui para o norteamento de uma “organização espacial sustentável” (MINELLA, ROSSI e KRUGER, 2009). Os autores afirmam ainda que os estudos em espaços abertos podem contribuir para aumentar a conexão desejável entre climatologistas e projetistas e que o balanço de radiação em um cânion urbano depende do FVC.

O FVC é resultante de uma relação geométrica entre as superfícies do ambiente urbano, o qual influi na troca de calor por radiação entre elas e na troca de calor dessas com o céu. “Essa relação é um parâmetro adimensional chamado de fator de visão do céu. Assim, o FVC é um recurso que permite estabelecer uma série de relações, que podem servir de instrumento para o planejamento urbano” (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007, p. 62).

O FVC é um parâmetro climatológico com fortes influências nas propriedades de radiação de cânions urbanos, indicando o relacionamento entre a área visível do céu e a área coberta por estruturas urbanas (prédios, árvores, etc.) vista de um ponto específico de observação. (SOUZA et al, 2003, p. 12).

O cálculo do FVC pode ser feito tradicionalmente por processos analíticos (gráficos), por fotografia, ou processamento de imagens. O primeiro é praticamente manual e envolve uma base de dados angulares, plantas e cortes relativos às edificações, que pode gerar um maior número de erros. O segundo usa uma lente especial “olho de peixe”, que possui uma abertura angular de 180° e produz uma imagem em projeção estereográfica, portanto, mais preciso, enquanto o terceiro usa técnica digital de tratamento digital da imagem, que é mais utilizado ultimamente.

### 1.3.2 Ilha de calor urbana

Há registros de estudos de ilha de calor já no século XIX, quando Luke Howard (1833) apresenta valores de temperatura do centro de Londres superiores ao entorno rural, comprovando o calor armazenado no epicentro urbano da metrópole londrina.

No século XX, outros estudiosos denominavam os fenômenos resultantes do impacto no microclima urbano advindo do processo de urbanização. Neste sentido, Hann denomina a diferença de temperatura entre o centro da cidade e seu entorno como sendo *Stadttemperatur*; Gordon Manley designa o mesmo fenômeno como ilha de calor. (GARCÍA, 1992).

O fenômeno ilha de calor consiste em que as cidades costumam ser, especialmente de noite, mais quentes que o meio rural ou menos urbanizado que as rodeia. Logo, a área urbana que apresenta temperaturas mais elevadas costuma coincidir com frequência com o centro das cidades, onde as construções e edifícios formam um conjunto denso e compacto. (GARCÍA, 1999, p. 28).

Complementar ao conceito de García (1992), Barbirato, Souza e Torres (2007) conceituam ilha de calor como:

um fenômeno decorrente do balanço de energia do espaço urbano, que se caracteriza através do acúmulo de calor nas superfícies e consequente elevação da temperatura do ar. Ainda que não seja uma estrutura única, mas sim um conjunto de microclimas, dinâmico, podendo ter vários núcleos [...] a forma e a intensidade da ilha de calor dependem do regime climático, estações do ano e características da cidade, podendo apresentar, conseqüentemente, uma variabilidade periódica ou aperiódica (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007, p. 76).

No Brasil, Lombardo (1985) tem estudos precursores do fenômeno urbano nomeado ilha de calor. A autora afirma que a ilha de calor urbana pode ser atribuída aos efeitos da transformação de energia no interior da cidade, pela redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação e ainda pela produção de energia antropogênica, por meio da emissão de calor pelas indústrias, trânsito e habitações.

Neste sentido, defende-se que a formação de ilhas de calor depende não só das propriedades térmicas dos materiais, mas também da distribuição das edificações no meio urbano. Assim sendo, evidencia-se a importância do planejamento urbano para a qualidade climática do meio. (SOUZA, 1993, p. 227).

Neste sentido,

pode-se observar, por exemplo, que as densidades mais altas revelaram uma produção, de cerca de 30 W/m<sup>2</sup> a mais do que a superfície da água. Este tipo de quantificação pode levar ao crescimento planejado da cidade e o uso apropriado de formas e materiais construtivos, em termos de conforto térmico urbano (...) As áreas urbanas apresentam uma grande variedade de tipos de superfície e cada uma com suas características térmicas específicas, o que torna a análise quantitativa do ambiente térmico uma tarefa complexa. (SOUZA, 1993, p. 230).

No Brasil, nem sempre o centro das cidades forma um conjunto denso e compacto. Assim, o fenômeno da ilha de calor urbana pode ser compreendida pelo fenômeno do

acúmulo de calor em frações da cidade quando o clima do entorno rural já consegue atingir seu reequilíbrio térmico mediante as trocas efetivadas com a atmosfera. Configurações urbanas como cânions podem ser consideradas potenciais áreas para a formação de ilhas de calor. Neste sentido, Barbirato, Souza e Torres (2007, p. 91) afirmam que “o padrão de ventilação e as temperaturas em cânions urbanos afetam o potencial de aproveitamento de estratégias de resfriamento passivas como a ventilação natural, aumentando a necessidade de condicionamento do ar”.

No contexto do DF, Baptista (2002) realizou estudos a partir de imagens LANDSAT TM5 de 1984 e 2001, constatando um aumento médio da temperatura de 3° C, neste período. Pode-se inferir ainda que dos resultados obtidos, as temperaturas aumentaram numa proporção direta à ocupação urbana do Distrito Federal no período.

Baptista (2003) avalia que o fenômeno de ilhas de calor é mais verificado em ambientes urbanos, pois os diferentes padrões de refletividade (albedo) são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil. Nota-se que, dependendo do albedo mais radiação será absorvida e, por consequência, mais calor será emitido pela superfície. O autor observa ainda que esses padrões diferenciados de emissão de calor acabam determinando uma temperatura mais elevada no centro e, a medida se afasta desse ponto em direção aos subúrbios, as temperaturas tendem a ser mais amenas.

A partir disto, com a falta de compreensão do fenômeno da ilha de calor nas cidades, coloca-se a necessidade de desenvolver pesquisas cada vez mais específicas, uma vez que se entende que a dinâmica do clima urbano cria situações específicas que carecem de análises mais profundas.

Nesse contexto, estudos realizados por García (2001) mostram que a ilha de calor urbana pode diagnosticar diferenças microclimáticas na ordem de 8-9 graus Celcius de temperatura em grandes cidades, como ocorreu em Barcelona – que possui o seu centro tradicional já consolidado —, já em Valência, que possui 750 mil habitantes, as diferenças se potencializam e chegam a 10 (dez) graus Celcius por possuir uma variedade ainda maior de superfícies urbanas e índices de vegetação diferenciados.

#### **1.4 O conforto térmico dos espaços abertos**

O conforto térmico dos espaços abertos é denominado como conforto térmico urbano. O conforto térmico urbano dedica-se ao estudo do conforto humano no espaço aberto. Esta área do conforto térmico dedica-se a desenvolver índices e peculiaridades do conforto nesta escala urbana.

O conforto é uma condição subjetiva (SERRA e COCH, 1995), que denota um equilíbrio corporal (ASHRAE, 2010), além de representar o estado fisiológico de neutralidade (FROTA e SCHIFFER, 1988), em outras palavras, é a busca de uma condição climática equilibrada (OLGYAY, 1998).

#### 1.4.1 Conforto e elementos climáticos

Sabe-se que um dos princípios objetivos de monitorar o microclima dos espaços externos é o de fornecer informações para a produção de um ambiente confortável para as pessoas utilizarem este espaço. Outro objetivo é o de fazer com que as pessoas tornem-se mais tolerantes em relação aos níveis de conforto, para que se adaptem mais facilmente ao dinamismo do clima urbano. Um maior nível de tolerância é fundamental para que a pessoa se torne também mais adaptada às diferentes características climáticas inclusive no espaço construído.

Givoni (1969) afirma que o clima de uma região é determinado por um tipo de variações de diversos elementos todos combinados. Cita, ainda, que os principais elementos do clima considerados para o conforto humano e para o espaço construído são: radiação solar, temperatura do ar, pressão do ar, ventos, umidade atmosférica, condensações e precipitações. Em seus estudos, organiza métodos paramétricos de conforto, estabelecendo zonas de equilíbrio sensitivo do usuário em relação ao clima para ambientes internos, focalizando apenas o espaço edificado.

No entanto, os elementos climáticos considerados para o espaço edificado também interferem consideravelmente na qualidade ambiental do espaço aberto. Essa diversidade de elementos resulta em uma cidade composta por um mosaico de microclimas diferentes, que, segundo Duarte e Serra (2003) podem ser caracterizados por pequenas ilhas de calor, ilhas de frescor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no fluxo dos ventos.

Anteriormente ao uso de equipamentos mecânicos de refrigeração ou calefação nos espaços fechados é fundamental um tratamento adequado dos espaços abertos. Assim, para a manutenção de um microclima agradável em climas tropicais é fundamental, entre várias estratégias, o uso de vegetação, que, se utilizada corretamente, qualifica o meio urbano, pois, com o crescimento das cidades, os ambientes anteriormente naturais, ricos em vegetação, passaram a ser compostos de materiais estritamente urbanos, reduzindo a presença de árvores nesse cenário, tendo o seu ambiente natural alterado.

Pesquisas de Mendonça e Monteiro (2003) afirmam que:

A vegetação, enquanto fator climático, manifesta sua influência em todas as escalas de grandezas climáticas, tendo implicações desde à formação do questionável efeito estufa planetário até à derivação de ambientes microclimáticos naturais, rurais ou urbanos (Mendonça e Monteiro, 2003, p.110)

A avaliação dos elementos climáticos e a quantificação de ganhos e perdas de conforto térmico a partir do incremento dos elementos ambientais, como a contribuição da vegetação no espaço urbano, é objeto de pesquisa de muitos profissionais envolvidos com a qualidade ambiental urbana (OCHOA DE LA TORRE, 1999 e 2009, RUEDA E MARTINEZ, 2010, LOIS E LABAKI 2001).

Essas pesquisas defendem que o índice para espaço externo deve ser cuidadosamente tratado pelo grande número de variáveis que exige (LOIS E LABAKI, 2001). É fundamental que esses índices sejam precisamente calculados, conforme a fórmula proposta por Ochoa de la Torre (2009). Quando calculados, os índices podem ser organizados numa análise paramétrica, podendo ser espacializados e gerar índices de qualidade ambiental (RUEDA e MARTINEZ, 2010).

Olgay (1998) associa o conforto térmico do ser humano às configurações urbanas. O autor destaca os principais benefícios ao homem apresentados pela vegetação associada ao desenho urbano, entre eles: efeitos da sombra produzida pelas árvores; redução, quando densa, dos sons ambientais; e o fato de as folhas capturarem a poeira, filtrando o ar e, ainda, garantindo grande privacidade visual e diminuindo o efeito do ofuscamento. Por fim, salienta que o efeito térmico representa o maior benefício entre os destacados.

No Brasil, Romero (2000) apresenta princípios bioclimáticos como norteadores do desenho urbano; a autora discute, ainda, premissas do urbanismo bioclimático como uma ferramenta para se atingir a qualidade ambiental urbana.

#### 1.4.2 Avaliação do conforto térmico urbano

Alguns pesquisadores dedicaram os seus estudos para o conforto térmico dos espaços abertos (GIVONI, 1969; FANGER, 1970; OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2001, OCHOA DE LA TORRE, 1999 e 2009; MONTEIRO E ALLUCCI, 2005).

Oke (1987) conceitua clima urbano e sua relação cidade-campo, caracterizando a camada limite urbana. Seus estudos antecipam os problemas gerados na escala do microclima urbano a partir de comparação com o comportamento climático do entorno rural.

Monteiro e Alucci (2005) focam o conforto de usuários no espaço externos num contexto climático do Brasil. Algumas pesquisas precursoras já mostram estudos para quantificar

o nível de conforto do usuário, preocupando-se se este se encontra no espaço aberto (GIVONI, 1989).

Alucci e Monteiro (2010) realizaram importante pesquisa de campo na Universidade de São Paulo, sendo estudo pioneiro no Brasil que busca um índice de conforto para o espaço aberto. O método utilizado pelos autores é o indutivo experimental, que organiza levantamento em campo de variáveis microclimáticas, individuais e subjetivas, apoiado por estudo experimental e comparativo (simulação preditiva).

Existem várias formas de avaliar o grau de conforto térmico: medição com aparelhos portáteis, entrevistando o usuário, dentre outras. De todas as formas, a maneira mais exata de avaliar o grau de conforto do usuário é mediante a utilização de algum índice.

Diferentes tipos respondem ao cálculo para o conforto térmico de espaços abertos. Nikolopoulou (2004) cria o Voto Real de Sensação (ASV), modelado a partir das pesquisas desenvolvidas para o Programa *Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces* (RUROS). Outros tipos focam-se em equações matemáticas (MATZARAKIS et al, 1999).

Em pesquisas desenvolvidas no Brasil como a de Alucci e Monteiro (2010), destacam-se a fragilidade dos dados coletados, sobretudo, nos casos em que não houver uma homogeneidade de usuários ou quando não se conseguir obter um número suficiente de respostas, não havendo, assim, relevância estatística, quando feito numa pequena escala.

Outra forma de analisar o usuário do espaço aberto é através da aplicação de equações de equilíbrio metabólico do ser humano, conforme o estabelecido na pesquisa de Ochoa de la Torre (2009) apresenta uma metodologia de cálculo de conforto de espaços exteriores a partir do balanço de energia de uma pessoa.

Oke (1974) também estuda o intercâmbio energético que se produz por meio do balanço de radiação, o acúmulo de calor pelas superfícies, a convecção, a produção de calor antropogênico etc.

Outra forma se dá pelo uso de equações matemáticas e ferramentas computacionais na avaliação do conforto. Neste sentido, tem-se os trabalhos precursores de Matzarakis et al (1999). O tipo desenvolvido por ele gera o cálculo de radiação a partir de dados climatológicos como velocidade do vento, temperatura do ar, umidade e nebulosidade. O principal problema deste tipo recai em sua aplicação a usos de planejamento urbano, exigindo uma análise com entorno controlado.

Estudos de Spagnolo e Dear (2003) (*apud* Martinez, 2007) revelam que as pessoas costumam preferir as condições de conforto em um lugar ligeiramente mais quente que o estabelecido como neutro pelos conhecidos índices de conforto. Isso se deve muitas vezes a uma resposta aos climas de frio extremo pelos quais passam os europeus, de modo a aproveitarem os espaços mais quentes, na época do ano que o clima tende a ser mais quente.

Martinez (2007) organiza os fatores que exercem mais influência sobre o balanço energético de espaços urbanos. Segundo a autora, esses fatores classificam-se em quatro grupos: o clima, a matéria, a configuração espacial e a geração de calor. A cada grupo corresponde uma série de variáveis que intervêm na caracterização de um sítio. São elas:

**Clima:** Condições do verão, inverno e efeitos da nebulosidade.

**Matéria:** tipologia de pavimentos (calçadas, passeios, pátios, terraços etc.). Superfícies envidraçadas, madeira, cores claras etc.

**Configuração espacial:** aspectos da morfologia urbana como os afastamentos e gabaritos dos edifícios que compõem a cidade.

**Geração de calor:** Calor produzido pelo fluxo veicular. Calor produzido por aparelhos de climatização. Calor produzido pela iluminação.

Cada uma das variáveis que conformam o balanço energético de uma pessoa no espaço exterior está valorada da seguinte maneira: se considera um estado de conforto quando o balanço oscila entre + 50 e - 50 W/m<sup>2</sup>. Isso quer dizer que o corpo se mantém num equilíbrio entre os ganhos e as perdas de energia pelo entorno imediato.

Givoni (1989) também fazem estimativas de conforto para ambientes exteriores. Discutem a penalização energética sobre as árvores que funcionam como barreira e prejudicam as trocas térmicas proporcionadas pela ventilação. Isso se deve à arborização que mantém a copa densa justamente quando os edifícios necessitam da ventilação para perder calor.

Para caracterizar melhor o espaço urbano onde o conforto é aferido, Ochoa de la Torre (2009) fala da criação de um espaço climático. Este pode ser considerado um espaço complexo já que possui mais que as três dimensões espaciais, uma vez que também se considera o fator tempo, que é um dos vetores de mudança mais relevantes.



O clima não muda apenas quando se desloca em sentido vertical ou horizontal. Também muda conforme o tempo passa, ainda quando um sujeito está estático em relação à terra, o planeta inteiro está se movendo, a rotação e a translação, entre outros movimentos, são os fatores que marcarão o tempo e os que darão a pauta para as sequências climáticas (SERRA, 1999).

### 1.4.3 Índices de conforto térmico

As pesquisas que apontam para a criação de índices de conforto para o espaço aberto (Monteiro e Alucci, 2005) esbarram na necessidade de coletar dados do usuário. Este, por sua vez, traz a subjetividade buscada já colocada como limitadora, devido às expectativas pessoais de conforto.

A expectativa de conforto diz respeito à maneira como se espera que o ambiente exerça influência nas percepções das pessoas. Para Hirashima (2010, p. 101), nos ambientes externos, “frequentemente as pessoas respondem que as condições climáticas ‘estão boas para esta época do ano’ ou que, ‘para esta época do ano’, elas prefeririam que estivesse mais quente, ou mais frio”. Nesse sentido, Nikolopoulou e Steemers (2003) sustentam que, quando as condições térmicas divergem do vivenciado pelas pessoas durante os dias anteriores, há diferenças nos votos das pessoas com relação à sensação térmica, uma vez que suas expectativas mudam, dotando de complexidade a busca por um índice preciso de conforto.

Os índices de conforto térmico são resultados do acúmulo de parâmetros associados ao clima e às necessidades humanas de equilíbrio térmico — que contribuam para a condição de termorregulação corporal. São organizados em diferentes pesquisas e atendem a diferentes aspectos.

Frota e Schiffer (1988) classificam os esses índices segundo os objetivos de cada um deles. Para as autoras, os índices podem ser separados em três grupos: biofísicos, fisiológicos e subjetivos (Quadro 2).

Quadro 2– Categorias de índices de conforto

Índice	Objetivo
BIOFÍSICO	Que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos.
FISIOLÓGICO	Que se baseiam nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.
SUBJETIVO	Que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Adaptado de Frota e Schiffer (1988, p. 16)

Muitas normas e regulamentos recomendam índices para o atendimento às condições mínimas de conforto térmico, promovendo, para a ABNT (2004), condições térmicas e de qualidade do ar aceitáveis para o ser humano. Diante de inúmeros índices de conforto térmico levantados por Alucci e Monteiro (2010), poucos são aqueles orientados para trabalhos de cunho urbanístico. Neste sentido, buscou-se levantar os índices que poderiam ser utilizados nesta pesquisa devido a sua ampla aplicabilidade em normas, softwares e estudos de campo na área de conforto térmico de espaços abertos.

#### 1.4.4 Índice da Temperatura Fisiológica Equivalente (TFE)

No contexto urbano, a Temperatura Fisiológica Equivalente (TFE) (tradução de *Physiological Equivalent Temperature*) mostra-se um índice muito conveniente à avaliação e ao monitoramento do componente térmico de diferentes microclimas urbanos, em diferentes domínios climáticos (HIRASHIMA, 2010). Sua unidade (°C) torna-o facilmente inteligível como um indicador de estresse térmico proporcionando resultados mais compreensíveis para os planejadores urbanos e regionais (MATZARAKIS *et al.*, 1999).

Hirashima (2010) valida o índice que mede a PET, para a cidade de Belo Horizonte, também de clima tropical de altitude. A autora pondera que é possível estabelecer uma relação entre o PET e o PMV neste caso (Figura 8).

Figura 8 – Associação entre PMV, PET, percepção térmica e grau de estresse fisiológico.

Intervalos do índice térmico PET para diferentes graus de percepção térmica dos seres humanos, considerando produção interna de calor de 80W e resistência térmica da vestimenta 0,9clo (de acordo com JENDRITZKY *et al.*, 1990, *apud* MATZARAKIS; MAYER; 1997)

PMV	PET (°C)	Percepção térmica	Grau de estresse fisiológico
Abaixo de -3,5	Abaixo de 4	Muito frio	Extremo estresse de frio
-3.5 a -2.5	4 - 8	Frio	Forte estresse de frio
-2.5 a -1.5	8 - 13	Pouco frio	Moderado estresse de frio
-1.5 a -0.5	13 - 18	Ligeiramente frio	Leve estresse de frio
-0.5 a 0.5	18 - 23	Confortável	Não há estresse térmico
0.5 a 1.5	23 - 29	Ligeiramente calor	Leve estresse de calor
1.5 a 2.5	29 - 35	Pouco calor	Moderado estresse de calor
2.5 a 3.5	35 - 41	Calor	Forte estresse de calor
Acima de 3.5	Acima de 41	Muito calor	Extremo estresse de calor

Adaptado de Hirashima (2010, p. 455)

Hirashima (2010) encontra correlação entre o índice PET e o PMV. Outros pesquisadores destacam a importância da calibração deste índice para que possa ser utilizado em pesquisas de clima urbano (MONTEIRO e ALUCCI, 2005). É fundamental que se tenha valores de PET dimensionados para diferentes contextos climáticos.

#### 1.4.5 Temperatura Neutra Exterior e Índice de Temperatura e Umidade

O índice Temperatura Neutra Exterior (TNE) é um dos primeiros índices que tentam se adequar às especificidades dos estudos de conforto térmico do ambiente urbano. Estudos já realizados por Barbirato, Souza e Torres (2007) apresentam diversos índices utilizados para o estudo de conforto urbano, dentre todos destacam o TNE como adequado, porém limitado. Além deste, destaca-se o Índice de Temperatura e Umidade (THI) que, segundo as autoras, tem grande utilidade em latitudes médias, porém, alertam que não representa bem as populações que vivem nos trópicos, uma vez que estes possuem aclimação mais tolerante a maiores temperaturas. Diante destas ponderações, percebe-se que os índices TNE e THI não tem ampla utilidade.

Monteiro e Alucci (2005) trazem amplo levantamento acerca dos principais índices de conforto aplicáveis ao contexto urbano.

Aroztegui propõe a Temperatura Neutra Exterior (TNE), definida com base nas mesmas variáveis que compõem a temperatura neutra interna incorporando variáveis relativas à radiação solar e à velocidade do vento. Com relação a estas variáveis, o autor coloca que a primeira, em teoria, deve reunir não apenas a radiação direta do sol, mas também o aspecto do céu e as reflexões do entorno. (MONTEIRO E ALUCCI, 2005, p. 1218).

#### 1.4.6 Índice do voto médio predito (PMV8)

Diferentemente dos índices anteriores, o índice PMV de Fanger partiu de análises estatísticas das condições térmicas preferidas pela maioria das pessoas (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2008).

Tem fundamentação em normatização internacional, uma vez que é utilizado como referência na norma ISO1 – 7730 “*Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*”.

Neste sentido, Águas (2001) discute a referida norma que, segundo o autor, segue de perto a investigação desenvolvida por Fanger em seu doutoramento, e destaca

A norma tem os princípios gerais sido adaptados pela ASHRAE na norma 55-1981 “*Thermal environment conditions for human occupancy*”. A verificação da ISO-7730 obriga a medições de parâmetros térmicos. A definição das grandezas a medir e os instrumentos foram alvo da norma ISO-7726 “*Thermal environments – Specifications relating to instruments and methods for measuring*”.

<sup>8</sup> PMV (Predicted Mean Vote) que pode ser traduzido como o Voto Médio Predito, que tem sua variação entre os valores de -3 (frio) a +3 ( quente). Este índice representa uma associação entre fatores climáticos, é de fácil apreensão e também pode gerar resultados confiáveis no programa computacional definido para o desenvolvimento metodológico desta tese, uma vez que o índice PMV é um dos 41 parâmetros de saída do programa *ENVI-met*.

physical characteristics of the environment”, publicada em 1985. Finalmente uma terceira norma, a ISO-7243 “*Hot environments – Estimation of the heat stress on working men based on the WBGT Index (wet bulb globe temperature)*”, 1982, define o nível de desconforto do ambiente e aplica-se em situações onde por razões técnico-económicas se torna impossível aplicar a norma ISO-7730 (ÁGUAS, 2001, p. 17).

Em climas quentes, o Voto Médio Predito (PMV - *predicted medium vote*) e o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD - *Predicted Percentual Dissatisfaction*) (FANGER e TOFTUM, 2002) são considerados adequados, ao se considerar a expectativa de conforto. Pesquisas de Linden, Loomans e Hensen (2008) mostram que, no período de verão, quando não é ligado o condicionamento de ar, o índice PMV tem maior aceitação. Segundo os autores, isso pode ser explicado pelo fato de a expectativa de conforto ser considerada fator relevante para o usuário.

Neste sentido, o índice de Fanger representa um dos índices mais utilizados na literatura de conforto térmico. Foi utilizado numa pesquisa realizada na cidade de Cambridge, onde mil pessoas foram analisadas. Os resultados indicaram que, além da resposta termofisiológica, as pessoas respondem de maneira subjetiva à eleição dos sítios por onde andam e costumam estar maior parte do tempo.

Monteiro e Alucci (2007) afirmam que:

O índice PMV, com alguns tipos, apresenta correlações bem significativas para o conjunto de situações microclimáticas mais restritas: 0,87 para o parâmetro do tipo e 0,82 para a interpretação do índice, com 75% de acertos preditivos. (MONTEIRO E ALUCCI, 2007, p. 1228).

Assim, diante dos índices de conforto citados, é apontado para o estudo em questão do índice PMV (Figura 9). Fanger também relacionou o índice ao metabolismo. Esta relação está expressa por meio da seguinte equação matemática (Figura 10).

$$\text{VMP} = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L$$

VMP = Voto Médio Predito ou estimado

M = Atividade desempenhada pela pessoa (Met)

L = Carga térmica atuante sobre o corpo

Figura 9 - Fórmula do PMV (VMP)

Segundo Fanger (1970) foi possível obter a relação entre o PMV, ICT e M, por meio da Equação 1:

$$PMV = \left[ 0.352 e^{-0.042 \frac{M}{A_{Du}}} + 0.032 \right] \left\{ \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0.35 \left[ 43 - 0.061 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - p_a \right] - \right. \\ \left. 0.42 \left[ \frac{M}{A_{Du}} (\eta - 1) - 50 \right] - 0.0023 \frac{M}{A_{Du}} (44 - p_a) - 0.0014 \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) - \right. \\ \left. 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} \left[ (t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4 \right] - f_{cl} \times h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \quad \text{Equação 1}$$

Onde M é o Metabolismo (Kcal/h), A<sub>Du</sub> é a Área superficial do corpo (m<sup>2</sup>), η é o Rendimento do trabalho mecânico externo, p<sub>a</sub> é a Pressão de vapor d'água no ar (mmHg), t<sub>cl</sub> é a Temperatura média da superfície da vestimenta (°C), f<sub>cl</sub> é o Fator de área da vestimenta, h<sub>c</sub> é o Coeficiente de transferência de calor por convecção (Kcal/h.m<sup>2</sup>.°C), t<sub>rm</sub> é a Temperatura radiante média (°C) e t<sub>a</sub> é a Temperatura do ambiente, (°C).

Figura 10 – Equação de correlação entre o índice PMV e a taxa metabólica corporal

A partir das equações matemáticas que representam o índice de Fanger, é possível compreender que elas incluem importantes parâmetros do microclima como a pressão de vapor de água, temperatura da vestimenta (do usuário), coeficiente de calor por convecção, temperatura radiante média e temperatura do ambiente.

O índice de Fanger, portanto, é complexo quando considera o metabolismo humano e as energias trocadas pelo corpo para a manutenção do seu equilíbrio térmico, ou estado de conforto. Para Nicol e Humphreys (2002), considerar o equilíbrio metabólico não pode ser considerado como garantia do estado de conforto, porém, afirma que uma vantagem carregada pelo tipo de Fanger é que foi desenvolvido em um estado térmico estável, assim, a sua aplicação nesta pesquisa se dá como adequada, uma vez que estão sendo simulados cenários hipotéticos. Bittencourt e Cândido (2008) lembram que o método de preferências adotado pelo PMV torna o índice de fácil assimilação, uma vez que as nuances de frio e calor são mais facilmente compreendidas pelas pessoas que o conceito de confortabilidade.

Diante de diversas pesquisas (KUCHEN, FISCH, GONZALO e NOZICA, 2011), pondera-se que o uso de um índice para pesquisa de clima urbano exige do pesquisador experiência e controle da situação a ser avaliada, de modo a controlar os resultados. Logo, outra vantagem do índice PMV é a sua inserção como índice de conforto térmico apontado em programas computacionais conhecidos tanto na avaliação de desempenho energético de edifícios como o *DesignBuilder*, como em tipos tridimensionais de análise do clima urbano, a exemplo do *ENVI-met*, programa utilizado nesta tese.

Por fim, dentre os índices apresentados no decorrer do capítulo, definiu-se o índice PMV de Fanger para ser adotado durante a análise de conforto térmico desta pesquisa.

## 1.5 Considerações finais do capítulo

Este capítulo teve como objetivo apresentar a climatologia urbana e clima urbano do ponto de vista urbanístico. Neste sentido, destacou-se aqui que o clima urbano é o ramo da ciência climatológica que estuda o estado médio dos elementos da cidade. O capítulo analisou os fatores climáticos globais e locais, dando a devida ênfase para estes últimos na sua compreensão enquanto conformadores do microclima urbano.

Conduziu-se o conceito de conforto para espaços abertos, classificando-o como conforto urbano. Dentro desta abordagem, citou-se as relações entre a configuração urbana e o conforto térmico, focando as relações de altura e espaçamento entre edificações, o fator de visão do céu e a ilha de calor urbana.

Apresentou-se índices de conforto térmico utilizados para os espaços abertos, destacando os índices mais utilizados em ferramentas computacionais: PET, Temperatura Equivalente e PMV. Destacaram-se as vantagens associadas ao uso do PMV em sistemas de avaliação controlados, como as simulações computacionais. Em seguida, definiu-se o índice de conforto térmico utilizado nas ferramentas metodológicas desta tese. Foi escolhido, portanto, o índice do voto médio predito, ou PMV de Fanger, justificando o seu uso para o desenvolvimento da pesquisa uma vez que o uso da simulação computacional de cenários hipotéticos minimizará possíveis erros do índice. Outro argumento que definiu a escolha do índice PMV se deve ao fato de que o programa *ENVI-met* já incorpora o índice PMV em seu quadro de parâmetros de avaliação, e, portanto, o uso deste software indica o uso deste índice.

A abordagem do índice PMV proposta por Fanger utiliza os parâmetros mínimos para uma análise do microclima como temperatura radiante, taxa metabólica corporal e atividade desempenhada, portanto, qualificam o índice PMV a ser utilizado neste estudo.

O próximo capítulo aborda o uso de ferramentas computacionais aplicadas à análise de conforto térmico. A incorporação da temática trazida neste capítulo 1, a do conforto térmico, em métodos e ferramentas computacionais, a temática do capítulo 2, é bem sucedida, uma vez que o conforto térmico é um dos parâmetros mais avaliados por instrumentos computacionais. Contextualizado na revolução digital, o próximo capítulo pretende promover a discussão acerca do uso de ferramentas computacionais como auxílio à atividade profissional de projetistas e planejadores urbanos.

Capítulo 2

## 2. Modelagem e Simulação Ambiental

Este capítulo traz a temática da modelagem e simulação computacional e o seu contexto diante da revolução digital. Para isso, destaca o papel das ferramentas tecnológicas e sua contribuição para a arquitetura e o urbanismo enquanto ciência. A temática traz o esperado ineditismo à tese, neste sentido, inaugura a parte do referencial teórico e está subdividida em quatro tópicos. Na primeira parte do capítulo, pretende-se conceituar tecnologia em seu sentido lato, enquanto estudo da técnica e destacar a sua contribuição no contexto da revolução digital que se vivencia. Num segundo momento, são destacados os diferentes modos de usufruir da tecnologia, ora por meio de ferramentas associadas à modelagem computacional e outras associadas à avaliação do desempenho, área da qual se tem mais afinidade. Num terceiro momento, discute-se especificamente o processo de simulação computacional, abordando os principais tipos e sua aplicabilidade. No quarto e último grande tópico do capítulo apresenta-se o ponto de vista de pesquisadores da área da simulação computacional a partir de experiências acumuladas em estudos de caso que se utilizaram da simulação computacional, destacando os limites e a eficácia nesta nova ferramenta de trabalho.

## 2.1 A revolução digital e as ferramentas computacionais

A revolução digital trouxe novos saberes a áreas aplicadas como arquitetura e urbanismo. A chegada do computador, ícone máximo da revolução digital, modificou o processo de produção de diversas profissões (MONTENEGRO, 2001). Algumas vantagens trazidas pelo computador são citadas:

A primeira, e de longe a mais importante, é o acesso imediato a um sem número de centro de informação, bibliotecas, textos, estatísticas, mapas, imagens de satélite, enfim, a quase totalidade do saber humano [...] outra facilidade importante é a possibilidade de promover modificações na redação e na estrutura mesma do texto conforme ele vai sendo escrito, e com o mínimo de dispêndio de tempo, esse recurso tão importante [...] Não é menor a importância das planilhas para preparação de tabelas, dos dispositivos de digitalização de imagens, dos programas de edição de imagens digitais e de toda a parafernália hoje disponível num computador com recursos triviais. (SERRA, 2006, p. 237).

Especificamente para a profissão do arquiteto e urbanista, trouxe benefícios como a agilidade na geração de plantas, a facilidade no entendimento do projeto na terceira dimensão ou mesmo a possibilidade de replicar o projeto com o simples toque de alguns botões.

A tecnologia “é uma das quatro variáveis básicas do desenvolvimento, acompanhada das outras variáveis: recursos humanos, recursos naturais e qualidade de vida” (LEDO, 1996, p. 14). Isto implica dizer que a tecnologia tornou-se necessária para o desenvolvimento das habilidades humanas, dessa forma, as profissões devem incorporá-la na nova práxis, fazendo com que a tecnologia seja um vetor para que se possa atingir um maior grau de qualidade de vida. (Figura 11).



Figura 11 – Quatro variáveis básicas do desenvolvimento. Adaptado de Ledo (1996)



A partir do século XX, a revolução digital tem transformado o fazer arquitetura e urbanismo numa ciência cada vez mais instrumentalizada, onde o domínio do lápis não é requisito único, mas o domínio de software de projeção tornou-se um dos saberes mais apreciado pelas gerações de arquitetos e urbanistas do final dos anos 90 (MONTENEGRO, 2001).

Tem-se, no cenário atual, mais uma revolução global: a revolução digital-informacional. Esse momento histórico, desencadeado desde meados do século XX pode ser apresentado como um estágio de avanço que marca todas as comunidades humanas (Figura 12).

Revoluções Tecnológicas	
<b>Pré Revolução Industrial</b>	Inexistência de Projeto/Projeto Manual Produção Artesanal, Tradicional - corporações
<b>1º Revolução Industrial</b>	Projeto Manual Pré-Fabricação de componentes e montagem em canteiros Novos materiais: ferro e vidro
<b>2º Revolução Industrial</b>	Projeto Manual Industrialização da Construção (organização e produção em série - novas relações de produção e mecanização dos meios de produção) Novos materiais: concreto Grande possibilidade de atender demandas sociais quantitativas e alguma possibilidade de atendê-las associadas a demandas de originalidade/identidade/variabilidade
<b>Revolução Digital-Informacional</b>	Projeto Informatizado: CAD-CAE, prototipagens, etc Produção industrializada integrada com o projeto Grande possibilidade de atender demandas sociais quantitativas e de originalidade/identidade/variabilidade (produção em sistema aberto e objetos únicos - pequenas séries)

Figura 12 – Revoluções Tecnológicas (SPERLING, 2012, p. 2)

### 2.1.1 Ferramentas computacionais

Nesta revolução digital, surgem ferramentas computacionais que são desenvolvidas para a projeção de arquitetura no mercado do design e da construção civil, como, por exemplo: *SketchUp*, *AutoCAD*, *ArchiCAD*, *Revit*, entre outros. O foco dessas ferramentas muitas vezes é a modelagem, isso significa que o objetivo maior dos programas supracitados é a formatação de tipos virtuais da arquitetura ou do espaço urbano visando a execução do projeto.

Uma série de ferramentas hoje conhecidas faz parte da tecnologia *Computer Aided Design* (CAD) que pode ser traduzida livremente para projeto assistido por computador e, depois do ano 2000, com a chegada da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM<sup>9</sup>), livremente traduzido para processo de modelagem das informações da

<sup>9</sup> A tecnologia BIM representa hoje a nova geração de tecnologia na concepção de projetos parametrizados com o auxílio do computador. Posterior a tecnologia CAD, o BIM tem o poder de organizar e sistematizar as famílias de materiais, tipos e produtos a serem inseridos no projeto.

construção, as empresas passam a conceber produtos mais organizados, com alto nível de especificação técnica, o que é exigido dessas ferramentas.

Ao experimentar a prática nesses dois grupos de ferramentas computacionais, que são as mais utilizadas na área de arquitetura e urbanismo, é possível perceber-se que em ambas as ferramentas a escala urbana não é tratada adequadamente. Na grande maioria dos programas o foco é dado ao edifício. As ferramentas CAD e BIM são ferramentas que objetivam a prática da projeção e não a avaliação do projeto. Assim, o processo de análise de desempenho só é possível ser realizado com o uso de softwares específicos.

Numa escala urbana, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o ArqGIS, por exemplo, funcionam como um apoio a métodos de avaliação da qualidade do território, mas, na maioria das vezes, trabalham numa escala inapropriada para o arquiteto e urbanista, quando este trabalha na escala microclimática.

Com a formação acadêmica cada vez mais voltada para a instrumentação computacional, a utilização de *software* de simulação computacional se dá de forma ampliada, e requer um profissional com capacidade para lidar com sistemas de avaliação, que não só domine as técnicas de projeção, mas que também faça usufruto dessas novas ferramentas.

### 2.1.2 Uso do computador em arquitetura e urbanismo

Diante dessa revolução digital, as ferramentas computacionais são tidas como uma parte importante desta gama tecnológica. Montenegro (2001) é precursor no uso de ferramentas gráficas associadas ao projeto de arquitetura, também introduz o computador no apoio ao projeto na chamada gráfica computacional. O autor afirma que:

a gráfica computacional foi concretizada em 1963 quando Ivan Sutherland mostrou o uso de computadores em projetos arquitetônicos. Em seguida, não somente as máquinas (hardwares) se desenvolveram como foram criados programas (softwares) para áreas como projetos de eletricidade, iluminação, planejamento econômico e espacial, acústica, comportamento térmico, etc. (MONTENEGRO, 2001, p. 156).

Alguns anos depois o uso de ferramentas computacionais foi institucionalizado nas escolas de arquitetura e urbanismo do país. Menezes (2000) contextualiza esse marco institucional que levou os conteúdos da informática para a formação dos arquitetos e urbanistas ao citar:

A portaria do MEC 1770/94 é considerada um divisor entre os momentos da aplicação da informática no ensino da Arquitetura e Urbanismo nacionais. Após a portaria, o ensino da Informática passou a ser obrigatório nos currículos de todas as escolas do país (MENEZES, 2000, p. 374).

O uso de ferramentas computacionais próprias para a avaliação do espaço urbanizado é um mecanismo fundamental para que se monitore a qualidade da produção arquitetônica e urbanística contemporânea.

## 2.2 A modelagem e a simulação: o fazer e o mensurar

Grande parte da lógica computacional volta-se para o fazer, modelar, projetar. Outra gama de programas, os quais se tem mais afinidade conceitual, são os programas desenvolvidos para mensurar a qualidade ou avaliar o desempenho, os chamados programas de simulação ambiental.

### 2.2.1 Modelagem ambiental

A modelagem nesta tese não será tratada enquanto conceito matemático, mas em sua dimensão ambiental. Para isso, cita-se que a modelagem ambiental é a abstração do mundo natural, realizando a previsão de eventos baseados em princípios gerais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Neste sentido, Lynch (1981) afirma que não há muito tempo, tipo era um adjetivo que significava “merecedor de emulação” e esta é a tradição que irei seguir.

Para o nosso objetivo, um tipo é uma imagem de como o ambiente urbano deveria ser construído, uma descrição de uma forma ou de um processo prototípico a seguir. O nosso tema aqui é muito mais a forma ambiental do que o processo de planejamento, mas os tipos da forma devem ter em consideração a criação e o processo de gestão. (LYNCH, 1981, p. 263).

Para este estudo, Anjos (2007) destaca o papel fundamental da elaboração de tipos, lembrando que:

O mundo real mostra-se tão complexo que é impossível reproduzir todas as suas características, as suas relações funcionais e todo o conjunto de interdependências. Uma característica que nos parece muito relevante ao tratarmos da elaboração de um tipo é que este pode ser estruturado de forma que os aspectos importantes selecionados do mundo real sejam manipulados, relacionados e explorados visando a uma representação, uma simplificação. (ANJOS, 2007, p. 88).

Muitos desafios e dificuldades permeiam as técnicas de modelagem, que, por sua vez, antecedem as técnicas de simulação ambiental com o uso do computador. Alguns

programas computacionais tem foco na modelagem, ou seja, o tipo é o seu produto final. Dentre eles, os mais conhecidos na área de arquitetura e urbanismo são os programas CAD e BIM, pois fazem parte da gama de programas computacionais que oferecem a modelagem arquitetônica como o seu principal produto. Apenas a tecnologia BIM, a exemplo do Autodesk Revit oferece alguns breves estudos de máscara de sombra a partir de dados simplificados como a latitude em relação ao sol, no entanto, não é considerado um programa de simulação ambiental.

### 2.2.2 Simulação computacional bioclimática

A área da simulação computacional é complexa e desafiadora (BARBIRATO, 1999; SCHNEIDER, 1995; IRVING, 1988). Muitas vezes, a técnica da simulação computacional existe, é aplicada em estudos de caso, mas não traz uma contribuição factível para a área da arquitetura e urbanismo (SOUZA et al, 2010).

O termo simulação computacional refere-se a qualquer algoritmo que mimetiza um processo físico. A simulação computacional e a disponibilidade de interfaces aprimoradas permite aos usuários criar tipos tridimensionais de construção, realizar uma simulação e exibir os resultados de forma a entender a tendência do comportamento de fenômenos naturais como a luz natural (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006). Neste sentido, a prática da simulação computacional torna-se uma ferramenta cada vez mais viável para análises que envolvem uma grande quantidade de variáveis.

O uso da simulação computacional em pesquisas no ambiente construído tem se disseminado rapidamente nas últimas décadas. Isso se justifica, em parte, pelo avanço na tecnologia dos computadores – cada vez mais poderosos.

O processo de computação associado à instrumentação para a avaliação ambiental, via de regra, é estabelecido em três grupos de atividades: o primeiro grupo de atividades que se voltam às atividades de construção do tipo. O segundo grupo de atividade que é o processo de execução da simulação computacional em si. E o terceiro grupo de atividade está relacionado à análise de dados, é, portanto, a fase mais enriquecedora, porém, exige um conhecimento profundo das duas etapas anteriores para, sobretudo, atestar confiabilidade aos dados trazidos nesta interpretação dos resultados.

Especificamente, será tratado o tema de avaliação de desempenho por simulação computacional. Na área de avaliação de desempenho, há opções limitadas de programas abertos disponíveis ao uso de pesquisadores na área da arquitetura e do urbanismo. Grande parte deles voltada para o desempenho dos sistemas do edifício, como o ECOTECH e o EnergyPlus, outros voltados para estudos da escala da geografia

urbana, como o ARQGIS, entre outras tecnologias específicas do universo da arquitetura e urbanismo como as tecnologias CAD, BIM e CFD<sup>10</sup>.

### 2.2.3 Simulação computacional aplicada

O uso de ferramentas computacionais na avaliação do conforto térmico é desafiador (ARZTEGUI, 1995), porém, registra estudos de casos em programas bastante complexo e que, ainda incipientes, contribuem significativamente para o avanço da área no Brasil (AKUTSO et al, 1995). Quando fornece respostas práticas e de ordem econômica, a simulação computacional ocupa cada vez mais espaço (RAUBER et al, 1993).

Matzarakis *et al* (1999) desenvolve um programa de avaliação que calcula o grau de conforto a partir de índices pré-estabelecidos, por exemplo, por meio do PMV e o PET.

Ainda na década de 90, Aroztegui (1995) desenvolve pesquisas precursoras que utilizam novos métodos para a avaliação do conforto térmico. O autor afirma que o conforto térmico dos espaços exteriores está fundamentalmente determinado pela ação combinada de variáveis complexas, de modo que ações orientadas para o monitoramento e preservação da qualidade do ambiente são bem vindas. O autor coloca ainda que “a complexidade das variáveis de conforto térmico impulsionam a criação de instrumentos de quantificação que forneçam as bases para critérios de gestão do espaço urbano” (ARZTEGUI, 1995, p. 342).

Depois da virada do milênio, há, cada vez mais, iniciativas que visam à universalização de tecnologias computacionais associada ao acesso cada vez maior à rede mundial de computadores. Com este novo cenário, pretende-se que a consulta de dados climáticos torne-se rotina para profissional projetista de arquitetura ou de projeto urbano. Esta postura é necessária para que a produção de um espaço — arquitetônico ou urbanístico — com qualidades ambientais possibilite, segundo Romero (2010), “uma sustentabilidade progressiva”. Assim, os recursos tecnológicos disponíveis hoje devem ser cada vez mais empregados, na tentativa de monitorar um espaço que possa ser mais sustentável ambientalmente.

Aroztegui (1995, p. 343) afirmava que

era inviável modelar, experimental ou matematicamente, as variadas situações do efeito térmico produzido pelo vento sobre os pedestres em espaços urbanos, tendo em vista que os dados fornecidos nas estações meteorológicas são médias mensais que devem ser corrigidos pelos índices de rugosidade.

---

<sup>10</sup> Programas computacionais que tem o seu mecanismo baseado na mecânica dos fluidos. (Computational Fluid Dynamics – CFD), desenvolvidos a partir de fundamentos teóricos da dinâmica dos fluidos. Tem ampla utilização no desempenho da ventilação natural para edifícios.

Este depoimento do pesquisador esclarece a respeito das dificuldades encontradas no desenvolvimento de pesquisas na área de conforto térmico e clima urbano. Denuncia a fragilidade dos dados oferecidos pelas estações climatológicas. Hoje, o INMET oferece os valores horários, contribuindo significativamente para a precisão das pesquisas, além do que a qualidade dos programas computacionais desenvolvem cada vez mais algoritmos balizados por valores típicos, evitando o tratamento com valores médios, que, por vezes, camuflam os resultados, e agravam a qualidade dos dados pesquisados.

Por outro lado, o uso da simulação computacional passou a ser um instrumento cada vez mais presente em estudos de viabilidade e previsão de problemas, pela disponibilidade dos dados objetivos e sua maior precisão.

Numa discussão acerca dos novos modos de modelagem computacional, a exemplo da tecnologia BIM, o presidente da ASHRAE discute a efetividade do uso da simulação computacional na avaliação integrada da arquitetura. Lynn (2010) afirma que o processo de simulação pode gerar uma economia real de energia e melhorias do seu desempenho de construção, quando o projeto é feito de modo integrado. Assim, deve-se investir para que se continue a desenvolver o BIM para automatizar a criação de tipos das áreas da arquitetura, engenharia mecânica e engenharia elétrica para que se consiga, assim, projetos mais controlados e com a sua qualidade mensurada.

Ao desenvolver a configuração de um tipo climático para a cidade de Maceió, em caráter experimental, Barbirato (1999) utiliza a lógica da simulação para modelar cenários. Segundo a autora, aplicou-se um tipo de balanço de energia para as condições climáticas e de superfície daquela cidade. Esta modelagem foi desenvolvida a partir da obtenção dos resultados simulados a partir do tipo, foi possível avaliar o potencial desse instrumento frente às diversas situações estudadas, na identificação dos efeitos das diversas tipologias dos espaços urbanos observados nos microclimas locais e na simulação de situações futuras (previsões), embora não tenha lançado mão de instrumentos computacionais mais capazes pois não haviam naquele contexto.

### **2.3 Simulação computacional ambiental: desafio e complexidade.**

Rauber et al (1993) afirma que o uso de software na avaliação do desempenho ambiental da arquitetura e do urbanismo tem grande espaço quando atinge a dimensão econômica, pois é possível mensurar com precisão os impactos econômicos advindos de tipos fictícios, que atendam a diferentes demandas e contextos. Neste sentido, vê-se que:

a utilização de ferramentas computacionais é especialmente importante no aspecto energético-econômico, por estimar gastos com condicionamento de ar e permitir uma otimização da edificação neste sentido. Seguindo esta tendência, vários programas de simulação de desempenho térmico de edificações foram implementados (RAUBER et al, 1993, p. 107).

Estudos de comportamento climático realizados por Akutsu, Vittorino e Carballeira (1995, p. 323) mostraram que na avaliação do desempenho térmico de edificações, seja ela feita a partir de simulações em computador ou a partir de medições, é prática comum adotar-se as condições climáticas correspondentes a um dia típico. Porém, cabe destacar uma fragilidade desta prática, geralmente não descreve o comportamento climático dos dias precedentes ao dia típico. Neste sentido, os autores colocam que o dia típico de projeto deve ser precedido por pelo menos um dia onde as condições climáticas sejam muito próximas, recomendando-se, entretanto, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias. Para a escolha dos dias de pesquisa, os autores explicam que isto pode ser guiado pelo comportamento da temperatura do ar exterior, cujo intervalo de variação deve ser o mesmo para os três dias.

Akutsu, Vittorino e Carballeira (1995, p. 327) afirmam que “a análise feita a partir de dados experimentais entrará em concordância com os procedimentos utilizados em programas de simulação, já amplamente difundidos em nosso meio técnico”. Neste sentido, cabe ao pesquisador desenvolver um olhar atento aos dados disponíveis para que a ferramenta computacional possa ser configurada, ou ainda, calibrada, com dados precisos e confiáveis. Nesta pesquisa, por exemplo, definiu-se a utilização de um dia típico que caracterize o clima da cidade de Brasília. Este dia será mostrado no tópico específico destinado à apresentação da caracterização climática. Mais precisamente foi definido um dia típico do período da seca, por representar a época do ano em que são registrados os valores que representam os maiores índices de desconforto térmico.

Barbirato (1999) destaca que uma das dificuldades encontradas em trabalhos de simulação consiste na escassez de parâmetros de entrada físicos e meteorológicos, o que leva a estimativas ou suposições baseadas em informações disponíveis, muitas vezes não apropriadas para a realidade local. Essa dificuldade impede maior avanço no campo da simulação climatológica urbana, que só se verificará com a realização de maior número de investigações que digam respeito a dados climáticos para as regiões tropicais.

Os estudos computacionais, para serem considerados confiáveis, devem passar por um processo de certificação ou validação, que, segundo Irving (1988, p. 282) *apud* Schneider (1995) tem como finalidade “estabelecer a exatidão das soluções produzidas, de determinar os campos de valores para os quais os tipos são válidos e de adaptá-los



aos domínios de aplicação”. Este mesmo autor salienta que “o tempo dedicado à validação de grandes programas de simulação pode ultrapassar os 60% do tempo total de desenvolvimento”.

Irving (1988) aponta três técnicas de validação para estes tipos: “verificação analítica, comparação entre tipos e validação empírica”. Neste trabalho, utiliza-se a técnica de comparação entre tipos, que, dentre as outras, carrega a vantagem de minimizar os erros, uma vez que mantém muitas variáveis imutáveis, preservando a pureza dos dados, quando comparados.

Souza et al (2010) alerta que apesar dos diversos estudos hoje existentes sobre simulações computacionais,

poucas são as ferramentas práticas disponíveis para que possam ser estabelecidas diretrizes de planejamento urbano. Este quadro se agrava ainda mais, quando considerado o caso de cidades localizadas em países em desenvolvimento, para os quais frequentemente existe uma carência de dados básicos para este fim (SOUZA et al, 2010, p. 10).

Neste sentido, visualiza-se uma lacuna na área de conforto urbano onde pode ser confirmada uma efetiva contribuição: a elaboração de uma ferramenta computacional factível, que seja utilizada por pesquisadores e projetistas, e que esta possa fornecer subsídios que promovam a qualidade ambiental urbana. Esta tese pretende contribuir com insumos para a construção de uma ferramenta nestes moldes.

No campo da simulação computacional, os programas que utilizam tipos CFD (*Computation Fluid Dynamics*) que pode ser traduzido como análise computacional baseado na dinâmica dos fluidos. Esta categoria de software tem ampla utilização em estudos de ventilação natural. Segundo Allard (2008), os tipos CFD são baseados no desmembramento do volume total do edifício em pequenos subvolumes, e, portanto, menores que o original. O autor explica que

Para um desses subvolumes são aplicadas equações de conservação de energia, massa e movimento. Esta subdivisão tem o intuito de obter adequadamente os campos com a temperatura e a velocidade do ar. (ALLARD, 2008, p. 114)

Allard (2008) afirma que a precisão dos resultados advindos dos tipos de CFD depende fortemente da precisão com os quais as medidas físicas são definidas como limites dos diferentes fluxos. O autor diz que: “os tipos CFD tem sido aplicados amplamente e com resultados satisfatórios. No entanto, a precisão e a qualidade dos resultados depende da



experiência do usuário em lidar habilmente com os resultados simulados” (ALLARD, 2008, p. 114).

Chen (2009) descreve o tipo CFD como aquele que resolve numericamente um conjunto de equações diferenciais parciais para a conservação de massa, momentum, energia, concentrações químicas e quantidades de turbulência. “A solução fornece as distribuições de campo de pressão do ar, velocidade do ar, temperatura do ar, as concentrações de vapor de água (umidade relativa) e contaminantes tanto para o interior como para espaços livres”.

Chen (2009) afirma que:

O tipo CFD é um dos mais populares tipos computacionais utilizados em estudos de desempenho de ventilação devido, sobretudo, à rápida evolução dos computadores e ao crescente número de programas CFD. São utilizados para estudos de qualidade do ar interior, conforto térmico, segurança de incêndio, desempenho de sistemas de condicionamento de ar em diversas tipologias de edifícios (CHEN, 2009, p. 853).

## 2.4 Programas para análise de conforto térmico<sup>11</sup>

Este tópico dedica-se a apresentação de variados tipos de programas de simulação voltados para análise do desempenho de conforto térmico. São apresentados 17 programas desenvolvidos nos últimos vinte e cinco anos. Os referidos programas são utilizados na área do desempenho ambiental para as áreas de arquitetura e urbanismo extraídos de sites de centros de pesquisa, dissertações de mestrado, teses de doutorado e citações a partir de entrevistas feitas com professores da área de conforto térmico ambiental de diferentes universidades (OLIVEIRA, 2010; MARTINEZ, 2007, NICOLAU E CHAVATAL, 2008). Os programas são apresentados segundo a sua escala de atuação: a escala do edifício, a escala do urbano ou das interações edifício e meio urbano.

---

<sup>11</sup> O fichamento dos programas computacionais foi baseado nos trabalhos de MARTINEZ, Cynthia Enchave. Instituto de Ecologia Urbana de Barcelona, RORIZ, M.; BASSO, A. Arqitrop, versão 3.0, São Carlos, SP, 1990. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/software/arqitrop.html> e NICOLAU, Maiara e CHVATAL, Karin. Conforto ambiental e projeto arquitetônico: estudo de metodologias de apoio. Pesquisa do Programa Ensinar com Pesquisa, da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://arquitetura.eesc.usp.br/sap0649/index.html>.

## 2.4.1 Escala do edifício

Programa e Desenvolvedor	Informações gerais
ARQUITROP Ano: 1989 Prof. Dr. Maurício Roriz e parceiros	O Arqutrop foi um freeware simplificado, composto por um sistema integrado de ferramentas computacionais e bancos de dados que, segundo os criadores, simula o desempenho térmico e verifica a adequação climática de edificações visando otimizar o conforto ambiental e a economia de energia elétrica. Simula o clima exterior, estima a variação horária da temperatura externa e da umidade relativa do ar, para estabelecer as condições climáticas típicas de cada mês. É capaz de configurar dados climáticos, matérias e componentes; Analisa o clima e emite recomendações de projeto (método Mahoney adapt.); Elabora gráficos de estimativa da variação horária de temperatura e umidade; carta solar; radiação; verificação de condições de conforto térmico em projetos; temperaturas intermediárias em camadas de componentes; estimativa de cargas para condicionamento artificial de ar; estimativa de variação horária do fluxo térmico através de componentes construtivos opacos. Como desvantagem, cita-se que o programa foi desenvolvido para a plataforma operacional DOS, e, neste sentido, há uma limitação operacional e poucos usuários. O programa é gratuito.
DESIGNBUILD ER. 2006 Departamento de Energia do Governo Americano.	O software DesignBuilder foi desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Energia dos Estados unidos em parceria com o grupo UK. É uma poderosa ferramenta para a modelagem de edifícios, de excelente custo-benefício e precisão; Permite a modelagem de edifícios complexos e a elaboração de análises de consumo de energia e do desempenho do projeto. Permite verificar o desempenho do projeto desde as fases iniciais de desenvolvimento (anteprojeto). Calcula as cargas de aquecimento e resfriamento, utilizando o método de "Balanço de Calor" aprovado pela ASHRAE e implementado pelo EnergyPlus. Avalia parâmetros como: consumo anual de energia, horas de aquecimento e emissão de CO <sub>2</sub> , além do consumo de energia por combustível e uso final; Avalia diferentes parâmetros como a temperatura de ar interno, média radiante, de operação e níveis de umidade; Calcula os níveis de conforto, inclusive curvas de distribuição das horas não atendidas (ASHRAE 55, Fanger PMV, Pierce PMV ET, Pierce PMV SET, Kansas Uni TSV). Utiliza a informação climática local (TRY); Calcula a transmissão de calor no edifício, considerando paredes, coberturas, taxas de infiltração e ventilação. O programa é pago.
IES – VE Ano: 2011 Google Group.	O programa IES é permite a modelagem de desempenho abordando sobretudo o tema das emissões de carbono, com um dos principais desafios para os projetistas e gestores de edifícios. O programa auxilia o projetista a no planejamento projeto e operação de edifícios confortáveis, que consomem muito menos energia e que incorpore tecnologias de baixo uso de carbono e adote energias mais renováveis. Vislumbra uma nova tipologia de construção. O software permite que os arquitetos testem diferentes soluções de projeto, identificando as melhores soluções passivas, compare tecnologias de baixo uso de carbono, e tire conclusões sobre o uso de energia, emissões de CO <sub>2</sub> , considerando, sobretudo, o conforto dos ocupantes, os níveis de luz, fluxo de ar, além de associar os resultados com os sistemas de certificação como o BREEAM, LEED, as classificações de EPC. O programa é validado pelo best-test da ASHRAE (Standart) e funciona para um plugin para o Google SketchUp. O programa é pago.
MEMI: Munich Energy Balance Model for Individuals. Ano: Professor Meter Höppe	Desenvolvido no âmbito da Universidade de Munich. Consiste num programa baseado no índice PMV de Fanger para o cálculo do conforto térmico, considerado o balanço do corpo humano em condições estacionárias. Este tipo permite calcular valores reais da temperatura da pele e a evaporação por sudorese. Os resultados das simulações são: temperatura do corpo, temperatura média da pele, razão de sudorese, umidade da pele e fluxo de calor. A temperatura equivalente fisiológica (PET) derivada deste programa é definida como a temperatura do ar, valorando como se encontraria a envoltória em condições controladas como no interior da edificação. O programa é gratuito.

## 2.4.2 Escala do urbano

Programa e Desenvolvedor	Informações gerais
GEOMET CPB Canyon Plume Box – Urban Canyon Model. Ano: 1995 GEOMET Umweltberatung und Regionalplanung	Este programa tem como possibilidade o cálculo de concentrações de contaminação em uma seção de rua causado por veículos. Este tipo tem diferentes níveis de tratamento do vento na seção da rua. Primeiro considera o fluxo paralelo à calçada, em combinação com o tipo Gaussiano, permite considerar as reflexões nas paredes da seção e finalmente as concentrações de partículas contaminantes. É válido para a análise da escala da rua e avalia o tipo de contaminantes que toma em conta de dióxido de nitrogênio com a presença de ozônio. O programa é pago.
FLUXOVENTO <sup>12</sup> : Ano: 2005 Carlos Carvalho, Luiz Fernando Martha e Walter Teixeira	O programa computacional FLUXOVENTO, desenvolvido por pesquisadores do Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica e do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. O programa utiliza esses conceitos em conjunto com técnicas de Computação Gráfica Interativa. A construção do tipo de análise é bastante fácil para o usuário. A modelagem no programa é feita de forma interativa, onde se pode inserir anteparos externos tanto em plantas baixas como em cortes. Ou seja, a análise pode ser feita no plano horizontal ou em elevações. Como resultados, a representação gráfica de análise mostra a construção das linhas de correntes, gerando uma visualização adequada do fenômeno físico, estimulando a intuição e a percepção do caminamento do vento através dos vãos livres (aberturas) dos compartimentos de uma edificação. O programa é gratuito.
KLIMM Ano: 1989 Dr. Joachim Eichhom	Programa desenvolvido no âmbito do Instituto de Física da Atmosfera da Universidade de Mainz. Consiste num programa que avalia a mesoescala do clima urbano. As análises desenvolvidas neste software são utilizadas para prever os efeitos térmicos dos sistemas de circulação de partículas. O programa permite analisar a dispersão de contaminantes no ar. O programa é gratuito.
RAYMAN Ano: 2004 Matzarakis	O programa RAYMAN é um tipo de fluxo desenvolvido no âmbito da Universidade de Freiburg. O tipo gera o cálculo de radiação a partir de dados climatológicos como velocidade do vento, temperatura do ar, umidade e nebulosidade. O tipo é útil para casos de edifícios isolados sem a presença de obstáculos no entorno imediato. O tipo tem sido validado e a margem de erro causada pelo efeito da reflexão múltipla da radiação de onda curta varia corretamente gerando diferenças entre as medições reais e os cálculos.
SHADOW Ano: 2006 Michael Bruse	Simulação de Radiação. Está programado para calcular a distribuição da longitude de onda curta em uma determinada área. É utilizada para pesquisas de zonas urbanas e rurais já que o programa conta com uma leitura topográfica. O programa permite calcular a radiação de onda curta incidente, calcula a sombra, a exposição segundo fator de visão do céu da superfície, saída de resultados em arquivo e graficamente. Este programa foi desenvolvido para o Instituto de Meteorologia da Alemanha. O programa pode ser adquirido após contato com os desenvolvedores.
METSUN: (Sun Shadow Model) Ano: Década de 90. Klaus Bigalke.	Programa desenvolvido no âmbito da Universidade de Bertung. É um tipo que calcula as condições lumínicas e de sombra em entornos urbanos ou em terrenos complexos. Calcula a porcentagem de sombra sólida em áreas de acordo com a duração de horas de sol. A porcentagem de sombra pode estar determinado como um valor integral durante todo um ano, meses, dias, ou intervalo de horas. É útil em análises de volumetria de projetos futuros e em função da radiação solar direta, estimar o máximo de energia disponível em determinada área. O programa é gratuito.
TOWNSCOPE II	Programa para estimativa da radiação solar e conforto térmico. É um

<sup>12</sup> Carvalho et al (2005)

Ano: 2000 Sleiman Azar, Verônica Cremasco e Jacques Teller	software que avalia a qualidade dos espaços exteriores através do conforto. As funções que estão desenvolvidas são as seguintes: importação e exportação de fácil intercâmbio entre formatos (.dxf), interface gráfica de fácil manipulação, triangulação de algoritmos para o solo e superfícies irregulares. Balanço de radiação solar e conforto térmico. O programa é utilizado em pesquisa publicada em: Evaluation of Microclimate and Thermal Comfort, 2001. People's behavior in an open space as design indicator, 2002.
---	---

### 2.4.3 Escala das interações edifício-meio urbano

Programa, Ano e Desenvolvedor	Informações gerais
ARCHISUN (Renewable Energy Sources Implementation). Ano: 1998 Professor Rafael Serra e Jaume Roset	O programa Archisun foi desenvolvido no âmbito do Programa Thermie e com a colaboração do Instituto Catalão de Energia, no Politécnico de Milão, Universidade de Hannover e Tombazis e Associados, da Grécia. O software fornece informações que podem auxiliar o projetista desde as primeiras etapas de desenvolvimento do projeto arquitetônico. A modelagem no programa é dividida em cinco temas principais: localização, configuração, forma, envoltória e ambiente interior, que são apresentados em cinco telas principais. Para consultar as informações do projeto durante o desenvolvimento do mesmo, a qualquer momento, pode-se visualizar a tela de resultados que explica o consumo energético exato e os parâmetros ambientais para as quatro estações do ano, focando os diferentes itens: consumos dos sistemas de aquecimento, iluminação e aquecimento de água, por exemplo. O software Archisun já está operando dois idiomas, inglês e catalão, embora seja esperado para ser refinado. O programa era gratuito, mas está fora de operação.
Autodesk ® Ecotect ® Analysis. Ano: 2012 Andrew Mash	O popular ECOTECT é um programa de análise de design sustentável. É um conceito abrangente ao pormenor ferramenta de design de construção sustentável. Ecotect Analysis oferece uma ampla gama de simulação e análise de energia de construção funcionalidade que pode melhorar o desempenho dos edifícios existentes e os projetos de construção de novas. Capacidades de análise de energia on-line, água e emissões de carbono integração com ferramentas que permitem visualizar e simular o desempenho de um edifício dentro do contexto de seu ambiente. Calcula o consumo total de energia de todo o edifício e as emissões de carbono em uma base anual, mensal, diária e horária, usando um banco de dados global de informações meteorológicas. Calcula as cargas de aquecimento e arrefecimento para tipos e analisar efeitos da ocupação, ganhos internos, infiltração, e equipamentos. Estima o consumo de água, custo de avaliação e calcula os níveis de radiação solar incidente em janelas e superfícies, em qualquer período. Exibe sombras e reflexos, mediante a posição do sol e o seu percurso aparente em relação ao tipo em qualquer data, hora e local. O programa é pago.
ENVI-met Ano: 2006 Michael Bruse	O programa <i>ENVI-met</i> tem grande utilidade em pesquisas de clima urbano, este é um programa desenvolvido por Michael Bruse e equipe de pesquisadores do Departamento de Geografia da Universidade de Bochum. Consiste num tipo de clima urbano tridimensional de microescala. O programa é capaz de simular interações entre a microescala e o microclima em cidades, predita o comportamento do vento, a distribuição da temperatura e umidade assim como das turbulências. Tem em conta o fluxo de radiação de ondas curta e longa, mas sem considerar a inércia térmica dos materiais, com o qual também não é possível gerar uma melhor aproximação da relação interior exterior. Por outro lado, apresenta como vantagens o fato de considerar o calor latente da vegetação e de elementos de água em seus cálculos. Apresenta resultados gráficos e tabelados de fácil interpretação. O programa é gratuito.

URBANm Ano: Década de 90 Swain y Hoffman	Tipo de simulação baseado em CTTC (Cluster Thermal Time Constant), o qual significa que se prevê as temperaturas urbanas em função de geometrias básicas. Este tipo considera a contribuição de diferentes aspectos no cálculo de temperatura do ar, entre os que se destacam: clima da estação climatológica mais próxima do estudo de caso, calor por radiação solar nas superfícies e calor devido a emissão de radiação de onda longa. Como limitações tem-se que o programa não permite uma geometria diversa e também não considera todas as características térmicas dos materiais. Os efeitos da vegetação não são avaliados como também não é considerado o efeito do calor antropogênico. O programa é gratuito.
SOMBRERO Ano: 2000 Schieders, Eicker e Heidt	O programa desenvolve o cálculo de sombras em superfícies orientadas. Tem sido desenvolvido no âmbito do Departamento de Física da Universidade de Siegen, na Alemanha. Determina a influencia da sombra sobre a temperatura interior de um edifício, permitindo avaliar o efeito dos outros edifícios, a sombra das árvores e inclusive pode-se aplica-lo para análises de coberturas e a instalação de coletores solares. O programa é gratuito.
MUKLIMO – MUKLIMO3. Ano: 1983. U. Sievers	Tipo bidimensional que calcula as condições atmosféricas em uma área com estrutura de blocos. Foi desenvolvido entre 1980 e 1983 por U. Sievers dentro do projeto de ferramentas numéricas de simulação da universidade. O programa calcula a dispersão de calor por veículos, no entanto, o calculo do intercambio convectivo é limitado igualmente ao tratamento das geometrias. A versão 3 tem como principais operações: a importação de geometrias em três dimensões, distinção de áreas isoladas ou não, tendo em conta a obstrução gerada pela vegetação. Nessa versão foi melhorada a possibilidade de gerar intercâmbios vizinhos às zonas de fronteira. O programa é gratuito.

#### 2.4.4 Seleção do programa ENVI-met

Ressalta-se que o objetivo do quadro não foi o de analisar a funcionalidade e a eficácia dos programas, mas o de apresentar um panorama dos programas mais utilizados nas dissertações e teses de arquitetura e urbanismo nos últimos anos, evidenciando a atuação do ENVI-met dentre os programas citados.

O programa ENVI-met oferece diversos parâmetros ambientais, pois opera por meio de uma plataforma tridimensional onde avalia as interações entre a vegetação, o solo e o ar. Considera, dentre diversos parâmetros: temperatura, umidade, radiação e ventilação. O tipo de cálculo inclui: radiação de onda curta e longa, fluxo de sombreamento, reflexão e irradiação do edifício e a vegetação.

Em relação às superfícies construídas, o programa considera as projeções de sombras, reflexões e reirradiação de sistemas edificados e a sua relação com a transpiração da vegetação, evaporação e fluxo de calor sensível da vegetação.

Quanto ao funcionamento básico do programa ENVI-met, o diagnóstico do grau de conforto térmico é obtido a partir de cálculos matemáticos facilitados pela simulação computacional. O referido programa já foi submetido ao processo de validação no centro de pesquisa da Universidade de Mainz (Alemanha), bem como em pesquisas de campo na Universidade de Brasília (CASTELO BRANCO, 2009; SILVA E ROMERO, 2009).

## 2.5 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo teve por objetivo apresentar o panorama histórico da revolução digital e a efetiva contribuição para a arquitetura e urbanismo. Destacou-se o uso de ferramentas computacionais capazes de desenvolver desde estudos de modelagem ambiental como também desenvolver análises com o uso da simulação computacional. Neste tópico, deu-se ênfase aos programas computacionais de simulação que analisam as interações entre o construído e o clima urbano, destacando-se a atuação do ENVI-met.

Dentro de uma visão prospectiva foi possível observar que o desenvolvimento de ferramentas de simulação tem sido de grande auxílio no entendimento dos fenômenos que se referem ao comportamento térmico do espaço construído e sua relação, em alguns programas, com o clima urbano. Alguns limites impostos ao uso destes programas na esfera prática impedem que mais profissionais se envolvam com esses novos métodos, esses limites estão associados ao domínio de ferramentas computacionais sofisticadas e, na maioria das vezes, em outro idioma, o que prejudica o uso mais intensivo dessa técnica.

Torna-se necessário, portanto, uma análise conjugada que utiliza um conjunto de ferramentas uma vez que cada uma aborda parâmetros específicos. Destaca-se que o profissional simulador deve ter experiência e senso crítico em relação aos resultados oferecidos pelo programa.

Uma desvantagem observada é que os programas utilizados hoje são desenvolvidos e regidos pelas demandas da engenharia, baseados em algoritmos matemáticos com pouca correlação entre a compreensão global da ciência urbana. Contudo, cita-se que o programa *ENVI-met* considera a abordagem climática urbana numa microescala que é própria do entendimento do urbanista, além da gratuidade no desenvolvimento das simulações.

A falta de programas de simulação brasileiros faz com que o profissional brasileiro tenha que ser treinado em outro idioma, o que, muitas vezes, retarda o processo de adoção do programa como uma ferramenta de trabalho. Assim, para que o arquiteto incorpore esses saberes em sua prática, é necessário um treinamento especializado, e quando este não ocorre, os benefícios que poderiam ser trazidos pelo programa são distanciados da prática.

O próximo capítulo traz a conceituação bioclimática do DF, iniciando com uma abordagem territorial e de legislação urbana, para, num segundo momento, apresentar-se dados climáticos provenientes das normais climatológicas, contextualizados no âmbito do zoneamento bioclimático brasileiro.

Capítulo 3

### 3. Distrito Federal: território e clima

Este capítulo trata do ambiente climático do Distrito Federal. Para isso, é contextualizado o zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2004), para o qual serão levantados os procedimentos metodológicos, as limitações e propostas de revisões. Num segundo momento, apresenta-se uma caracterização ambiental de Brasília, por meio dos mapas elaborados por Codeplan (1986) e, por fim, os dados oficiais da caracterização climática das normais climatológicas do DF (INMET, 2009). Dentro do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), destaca-se a Zona Bioclimática 4, referente a cidade de Brasília (ABNT, 2004), e discute-se uma possível revisão para esta área correspondente à zona 4 (RORIZ, 2012). A segunda parte do capítulo dedica-se a caracterização geopolítica do território do DF, num primeiro momento do ponto de vista territorial segundo os estudos de Anjos (2007), e num segundo bioclimático utilizando estudos precursores de Ferreira (1965), Romero (2001) e os mapas geomorfológicos e climáticos (Codeplan, 1986).



### 3.1 Urbanização do Distrito Federal e o contexto brasileiro

Para compreender o processo de urbanização no DF é essencial que se compreenda como foi o processo de urbanização no Brasil, e o seu rebatimento para o contexto local. O processo de urbanização brasileira tem forte destaque nos últimos 50 anos com a consolidação do fenômeno do êxodo rural e com a formação de um país essencialmente urbanizado. O tipo de crescimento se processou de forma expansiva, o que trouxe às cidades problemas imediatos ao dinamismo da sustentabilidade.

No tocante ao desenvolvimento urbano ameaçado pelos problemas oriundos desse processo de urbanização expansiva, o alto custo operacional, a falta de infraestrutura e o ambiente urbano fragmentado são pontos estratégicos carentes de intervenção.

O contingente populacional de grandes cidades brasileiras também pode ser encarado com um entrave ao desenvolvimento sustentável dessas áreas. No Brasil, São Paulo, Rio de Janeiro, Recife, Belo Horizonte e Brasília, entre outras dez cidades, concentram grande parte da sua população, sendo o restante dos municípios cidades de pequeno porte ou cidades médias.

Ao se abordar os períodos marcantes do processo de urbanização brasileira, sistematizados por Ledo (1996) em cinco etapas, tem-se que a quarta fase, denominada de metropolização, é vista como a fase caracterizada pela aglomeração urbana em grandes cidades, sobretudo nas capitais (Quadro 3).

Quadro 3– Fases da Urbanização Brasileira

<b>Fase 1</b>	Rururbanização (1950-1960)	Num primeiro momento, este é um fenômeno de grandes cidades (industriais, pressupostos)
<b>Fase 2</b>	Desruralização	Êxodo rural
<b>Fase 3</b>	Metropolização inicial	Concentração inicial nas capitais e polos regionais
<b>Fase 4</b>	Metropolização	Explosão urbana sobretudo nas capitais
<b>Fase 5</b>	Crescimento expansivo	a) metropolização ascendente b) contraurbanização das periferias

Adaptado de Ledo (1996)

O crescimento expansivo e, por vezes, acelerado das cidades representa um problema para a dinâmica do desenvolvimento urbano com qualidade, pois só o impacto da alteração das paisagens naturais por materiais urbanos já é suficiente para importantes alterações de ordem da paisagem, ambiental e climática.



### 3.1.1 Distrito Federal: território e urbanização

No Distrito Federal, Brasília exerce o papel de núcleo político-financeiro-geográfico (RIBEIRO, 2008), no entanto, registra-se o surgimento de novos pólos em outras regiões administrativas. Os principais pólos de desenvolvimento do Distrito Federal, conformados pelas cinco Regiões Administrativas de Ceilândia, Taguatinga, Brasília, Planaltina e Gama, são todas cidades médias, com mais de 50 mil habitantes e menos de 500 mil. Esse cenário de vários aglomerados urbanos classificados como cidades médias pode ser encarado como um fator positivo para o controle do desenvolvimento e para que se obtenha um nível de urbanização com mais qualidade (Gráfico 1).

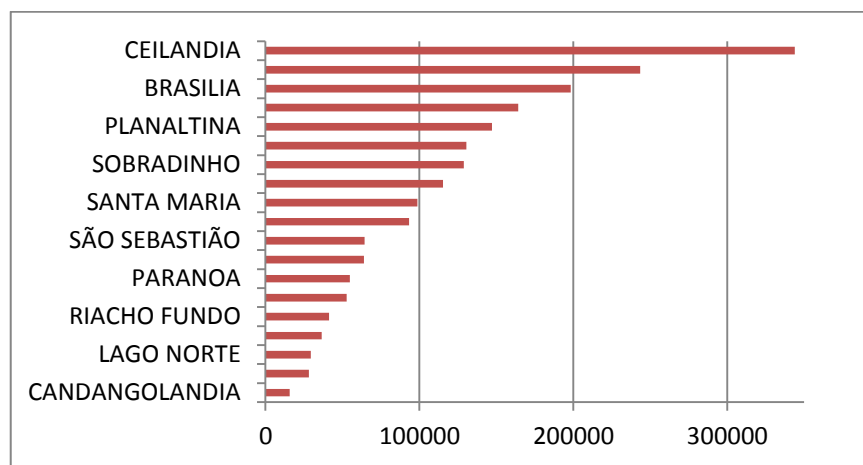


Gráfico 1 – Principais Regiões Administrativas do Distrito Federal  
Adaptado de IBGE (2010).

O Distrito Federal se caracteriza de modo muito peculiar, uma vez que não pode ser estudado enquanto uma única cidade, nem como um estado com diversos municípios desarticulados. Pode ser classificado como um conjunto de aglomerados urbanos, adotando-se a expressão “mancha urbana de expressão metropolitana” de Anjos (2007, p. 39), ou de Brasília ampliada (ANJOS, 2007), visto que Brasília forma uma das maiores regiões concentradoras de população do Brasil.

Brasília, desde a sua inauguração oficial, em abril de 1960, foi um dos grandes pólos atratores de população no Brasil. Hoje, ainda 50 anos depois, Brasília e o Distrito Federal tem um dos maiores índices de crescimento populacional do país, acima da média nacional, atinge 50 mil pessoas por ano, só na última década, o que conferiu uma taxa de crescimento de aproximadamente 2,5%.

### 3.1.2 Caracterização territorial do DF

Ocupando uma área de 5.811 Km<sup>2</sup>, o território do DF<sup>13</sup> está localizado no Planalto Central Brasileiro, Estado do Goiás e “situa-se entre os rios Descoberto e Preto, com coordenadas geográficas de 47°25’ e 48°12’ e longitude oeste do Meridiano de Greenwich entre os paralelos 15° e 16°03’ de latitude sul” (ANJOS, 2007, p. 28) (Figura 13).

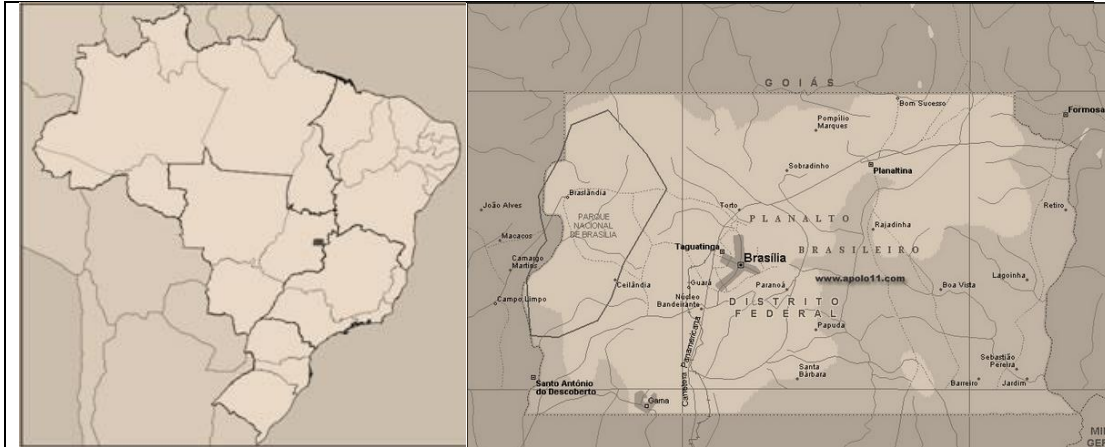


Figura 13 – Mapa do Brasil com destaque para o Distrito Federal  
Adaptado de IBGE (2010).

A região do Distrito Federal (DF) integra o Bioma do Cerrado na região centro-oeste do Brasil (IBGE, 2009). O cerrado ocupa porção central do país e é o segundo maior bioma brasileiro, com aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup> e abrangendo cerca de 22% da superfície territorial do país. É considerada a savana do mundo mais rica em biodiversidade, representando 30 % da biodiversidade do país (BARRADAS, 2007 apud LaSUS, 2010).

O Distrito Federal possuía no ano de 2010 um total de trinta regiões administrativas (Quadro 4):

Quadro 4 – Regiões Administrativas do Distrito Federal

NÚMEROS DAS RAs	REGIÕES ADMINISTRATIVAS	LEI DE CRIAÇÃO	NÚMEROS DAS RAs	REGIÕES ADMINISTRATIVAS	LEI DE CRIAÇÃO
RA-I	Brasília	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XVI	Lago Sul	Lei 643 de 10/01/1994
RA-II	Gama	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XVII	Riacho Fundo	Lei 620 de 15/12/1993
RA-III	Taguatinga	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XVIII	Lago Norte	Lei 641 de 10/01/1994

<sup>13</sup> Cálculo efetuado pela Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central, tomando como referência os memoriais descritivos dos limites das Regiões Administrativas lançadas sobre a base cartográfica 1:10.000. A área total do Distrito Federal divulgada pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, é de 5.822,1 Km<sup>2</sup>.

RA-IV	Brazlândia	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XIX	Candangolândia	Lei 658 de 27/01/1994
RA-V	Sobradinho	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XX	Águas Claras	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-VI	Planaltina	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XXI	Riacho Fundo II	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-VII	Paranoá	Lei 4.545 de 10/12/1964 <sup>(1)</sup>	RA-XXII	Sudoeste/Octogonal	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-VIII	Núcleo Bandeirante	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXIII	Varjão	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-IX	Ceilândia	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXIV	Park Way	Lei 3.255 de 29/12/2003
RA-X	Guará	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXV	SCIA <sup>(2)</sup>	Lei 3.315 de 27/01/2004
RA-XI	Cruzeiro	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXVI	Sobradinho II	Lei 3.315 de 27/01/2004
RA-XII	Samambaia	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXVII	Jardim Botânico	Lei 3.435 de 31/08/2004
RA-XIII	Santa Maria	Lei 348 de 4/11/1992	RA-XVIII	Itapoã	Lei 3.527 de 03/01/2005
RA-XIV	São Sebastião	Lei 705 de 10/05/1994	RA XXIX	SIA <sup>(3)</sup>	Lei 3.618 de 14/07/2005
RA-XV	Recanto das Emas	Lei 510 de 28/07/1993	RA XXX	Vicente Pires	Lei 4.327 de 26/05/2009

Fonte: DF, 2010, p. 02.

Com a urbanização do território com as 30 regiões administrativas, o resultado deste processo reflete um território construído de forma dispersa o que contribui para a geração de problemas urbano-ambientais que, segundo Romero (2004), envolve fatores técnicos, sobretudo do ponto de vista bioclimático e sua desarticulação entre o desenho urbano e as características ambientais do lugar.

Dentro da dimensão ambiental, a ênfase aos aspectos climáticos é feita neste trabalho pois defende-se esta aproximação às características ambientais como ponto de partida, visão endossada por Romero (2004) quando coloca que “uma boa arquitetura só pode ser concebida a partir de sua localização num sítio concreto”.

Romero (2010) afirma que é possível distinguir dois níveis da devastação ambiental: em primeiro lugar, aquela que faz relação com a ocupação desordenada do espaço e, em segundo lugar, aquela que acarreta a desfiguração de ambientes locais ou ambientes de escassa qualidade de vida.

### 3.1.3 Legislação urbana do DF

Em Brasília, o Plano Diretor local é substituído pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT), ano 2012, no qual estão definidas as principais estratégias de atuação nas diversas áreas geográficas do Distrito Federal, visando “o pleno desenvolvimento das funções sociais da propriedade urbana e rural e o uso

socialmente justo e ecologicamente equilibrado de seu território, de forma a assegurar o bem-estar de seus habitantes.” (DISTRITO FEDERAL, 2012).

Os planos diretores municipais e os códigos de edificações cumprem um papel importante na organização do uso do solo, pois são instrumentos reguladores da produção do espaço construído. No contexto do Distrito Federal, os planos diretores locais (PDLs), tratados na Lei Orgânica do DF representam a maneira que o DF encontrou para atender a exigência de elaboração de Plano Diretor para cidades com mais de 20.000 habitantes (BRASIL, 2001a).

O Art. 316 da Lei Orgânica do DF estabelece que o Distrito Federal terá obrigatoriamente plano diretor de ordenamento territorial e planos diretores locais, instrumentos básicos das políticas de ordenamento territorial e desenvolvimento urbano, aprovados por lei complementar (DISTRITO FEDERAL, 1993). Pondera-se que, para a elaboração legítima deste documento, todas as suas nuances devem ser amplamente discutidas nas cidades, respeitando suas afinidades culturais, sociais e, sobretudo, ambientais.

Além do PDOT, há outros marcos regulatórios que, na história, foram e são de fundamental importância para o seu ordenamento territorial, entre eles estão o Relatório Brasília Revisitada e o POUISO. Lista-se, a partir dos estudos de Anjos (2007), a síntese dos principais documentos que compõem a legislação urbanística do DF, sobretudo, cumprindo o papel enquanto planos diretores do Distrito Federal.

NOME	ANO	OBJETIVO	AVANÇOS
<b>Plano Piloto</b>	1957	Elaborar, por meio de concurso público, o projeto urbanístico da nova capital federal, com expressão arquitetural própria e fomentadora do desenvolvimento regional.	Obteve expressão arquitetônica e urbanística, define funções setorializadas (moradia, trabalho, lazer e circulação).
<b>PEOT</b>	1977	Estabelece diretrizes de ordem desenvolvimentista para a região geoeconômica de Brasília, com o intuito de preservar a cidade de Brasília. Prevê a implementação e expansão de áreas urbanas descentralizando o Plano Piloto.	Da início aos estudos de ocupação urbana do território do DF, com a criação, sobretudo de algumas APAS. Cria também o manual de desenho urbano e o Programa de Diretrizes e de Planejamento para os Núcleos Urbanos do DF.
<b>POT</b>	1985	Dotar o Governo de instrumento normativo de controle de ocupação. O Plano reafirma área de expansão indicada no PEOT. Busca efetuar um zoneamento completo do território.	Obteve a setorialização do DF nas seguintes Zonas: Rural, Urbana, De Urbanização Prioritária, De Interesse Ambiental e De Ocupação Restrita. Indicou a necessidade de um sistema de informações territoriais.

<b>Brasília Revisitada</b>	1987	Buscar definir novas áreas residenciais. Tem como referência preservar a proposta original do Plano Piloto. Busca a interação entre as escalas monumental, gregária, funcional e bucólica e visa o adensamento ao longo das vias mais conectadas do DF.	A expansão concentrou-se em seis áreas de residência multifamiliar (Sudoeste e Mansões Dom Bosco foram implementadas), alterou áreas do Plano Piloto, implementou áreas econômicas e determinou áreas de preservação no PP.
<b>POUSO</b>	1990	Propõe preservar a capital federal e promover sua estruturação como pólo de desenvolvimento regional. Busca obrigar estudos como os relatórios de impacto ambiental. Pretende redefinir as transformações ambientais e estabelecer as bases administrativas de planejamento.	O POUSO é uma decorrência do POT. Acrescentando-se: definição e delimitação do território do DF em duas categorias: solo urbano e solo rural. Estabeleceu os procedimentos administrativos, mas sua utilização tornou-se precária pela não continuidade das suas recomendações.
<b>PDOT</b>	1997	Define o Macrozoneamento do território criando as seguintes categorias: urbana, expansão urbana, interesse ambiental e rural. Busca estabelecer a obrigatoriedade do Zoneamento Ecológico Econômico, dos estudos de impacto ambiental (EIV) e dos relatórios de impacto ambiental (RIMA).	O macrozoneamento indicou o principal eixo de dinamização no quadrante sudoeste do DF que conformou a Zona Urbana de Dinamização. O plano delineou objetivos para a política territorial urbana, porém, o plano não foi implementado.

Adaptado de Anjos (2007, p. 34 e 35)

Dos planos observados, apenas o Relatório do Plano Piloto e o PEOT (1977) registraram avanços sobre a questão ambiental urbana da microescala. Infelizmente a pauta dos novos planos incluem a cada ano mais regularização fundiária e expansão territorial do que propriamente o planejamento e a qualificação do território.

Com a atualização do PDOT e dos PDLs e a sua nova aprovação em meados de 2012, novas prescrições urbanísticas foram estabelecidas, como a consolidação do setor noroeste, novas áreas de expansão no Setor de Indústria de Abastecimento (SAI), Setor de Garagens Norte (SGAN), entre outros. No entanto, nem todas as RAs do DF possuem o PDL, apenas as RAs II (Gama), RAIII e XX (Taguatinga e Águas Claras), RA V (Sobradinho), RA IX (Ceilândia), X (Guará) e XII (Samambaia) o possuem.

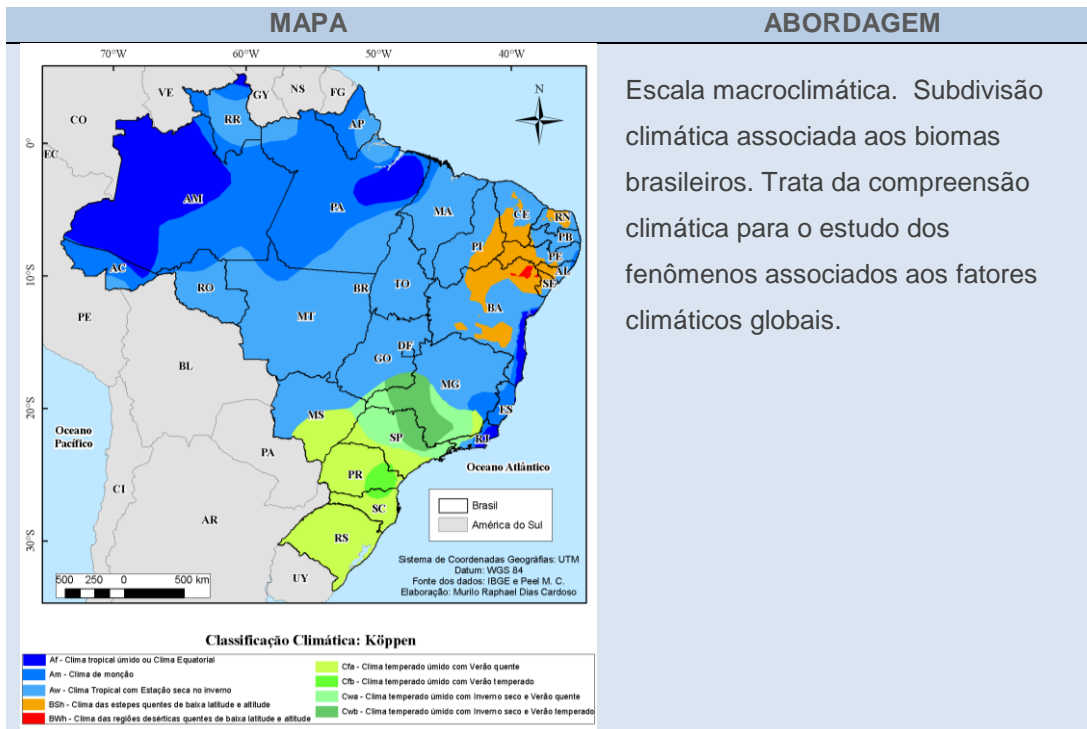
### 3.2 Caracterização bioclimática do Distrito Federal e o contexto brasileiro

Mais específicos que a caracterização climática é a bioclimática, pois tem envolvimento direto com o usuário e com o espaço construído. No Brasil, as características climáticas são estudadas por diversas áreas, como a geografia física e as ciências agrárias (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003). É desejável, no entanto, que o clima brasileiro tenha estudos aprofundados no que tange o seu impacto no ambiente construído, o que reflete esta demanda, sobretudo nas áreas de arquitetura e urbanismo, ou seja, adquira uma

dimensão bioclimática. Nesse sentido, em relação aos seus aspectos bioclimáticos, numa relação mais direta ao usuário do espaço construído, foi desenvolvida uma metodologia que subdividiu o Brasil em oito zonas bioclimáticas. Esses métodos partiram de pesquisas precursoras (SILVA, SATTLER e LAMBERTS, 1995) até a utilização das cartas bioclimáticas de Givoni e a elaboração de diretrizes construtivas para a promoção do conforto passivo das edificações. Estes estudos culminaram na Norma de Desempenho de Edificações: NBR 15.220 (ABNT, 2004).

### 3.2.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB)

A NBR 15.220 representa o único método de zoneamento para o Brasil que é normatizado pela ABNT (ABNT, 2004). A norma foca-se especificamente em diretrizes gerais para habitação de interesse social, e ainda não contempla uma análise pormenorizada no território, uma vez que apresenta o território brasileiro dividido em 8 zonas, o que distancia-se bastante das propostas internacionais nas quais se busca um maior detalhamento das características ambientais e climáticas do território na busca de um zoneamento que promova a produção mais eficiente do espaço. Diante disso, alguns estudos mais recentes abordam a necessidade de uma revisão na norma brasileira (RORIZ, 2012).



Quadro 5– Mapa e abordagem do mapa climático brasileiro. Fonte: INMET, 2009



Quadro 6 – Mapa e abordagem do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Fonte: ABNT, 2004

Conforme abordado, o zoneamento bioclimático brasileiro tem foco no desempenho térmico das edificações, e, de modo mais específico, dá diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Diante desta limitação, discute-se a necessidade premente de um zoneamento bioclimático urbano voltado para a produção qualificada da escala intraurbana, que incorpore o meio ambiente, seu potencial energético e suas características climáticas pomenorizadas.



---

Ao comparar-se os dois mapas, percebem-se diferentes distribuições espaciais, o primeiro advindo do macroclima do Brasil, regido pelos fatores climáticos globais e o segundo concebido a partir de coletas de dados climáticos de estações climatológicas, que também produziu um mapa insensível às questões da microescala urbana (Quadro 5 e Quadro 6).

O objetivo desta comparação entre os dois mapas de abordagem climática no Brasil é esclarecer que com a escala em que são tratados esses dados não se consegue visualizar a caracterização climática das cidades propriamente ditas, ou seja, a influência direta dos fatores climáticos locais na composição desses microclimas. Dessa forma, o ponto de vista climático dos mapas ainda é geográfico, ou seja, mapeando, mesmo que de forma cada vez mais pormenorizada, as características ou condições de clima de uma dada cidade.

### 3.2.2 Proposta de revisão do ZBB

Quanto à proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro, o Prof. Maurício Roriz coordena um grupo de pesquisadores na Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC) cujo objetivo é aperfeiçoar os métodos de cálculo para a reformulação das fórmulas geradoras dos agrupamentos de cidades por semelhança de comportamento bioclimático.

A grande maioria dos dados climáticos registrados no Brasil trazem inúmeras lacunas e não apresentam a qualidade mínima desejável para o presente estudo. Cabe citar, como exemplo, as próprias Normas Climatológicas do período 1961-1990, que, mesmo após serem revistas pelo INMET, ainda suscitam dúvidas sobre sua plena confiabilidade (RORIZ, 2012).

A NBR 15.220 apresenta uma limitação metodológica, que fica evidenciada mais claramente em estados brasileiros que englobam mais de uma das zonas mapeadas. Esta eficiência é discutida pelos pesquisadores Rocha, Assis e Gonçalves (2009), em Minas Gerais. No Estado, discutem um novo zoneamento climático por não haver concordância com o ZBB proposto e a realidade climática vivenciada nas diversas cidades (830 municípios) do Estado, os pesquisadores sugeriram uma revisão na norma a partir de nova coleta de dados. Esta nova coleta de dados foi feita a partir de estações meteorológicas distribuídas em vários pontos do território do estado.

Neste sentido, a proposta de revisão no que tange a classificação para a cidade de Brasília, classifica a cidade de Planaltina de modo similar à cidade de Brasília, ambas da



zona bioclimática 4. Dessa forma, vê-se que não há grandes diferenças climáticas no contexto do Distrito Federal.

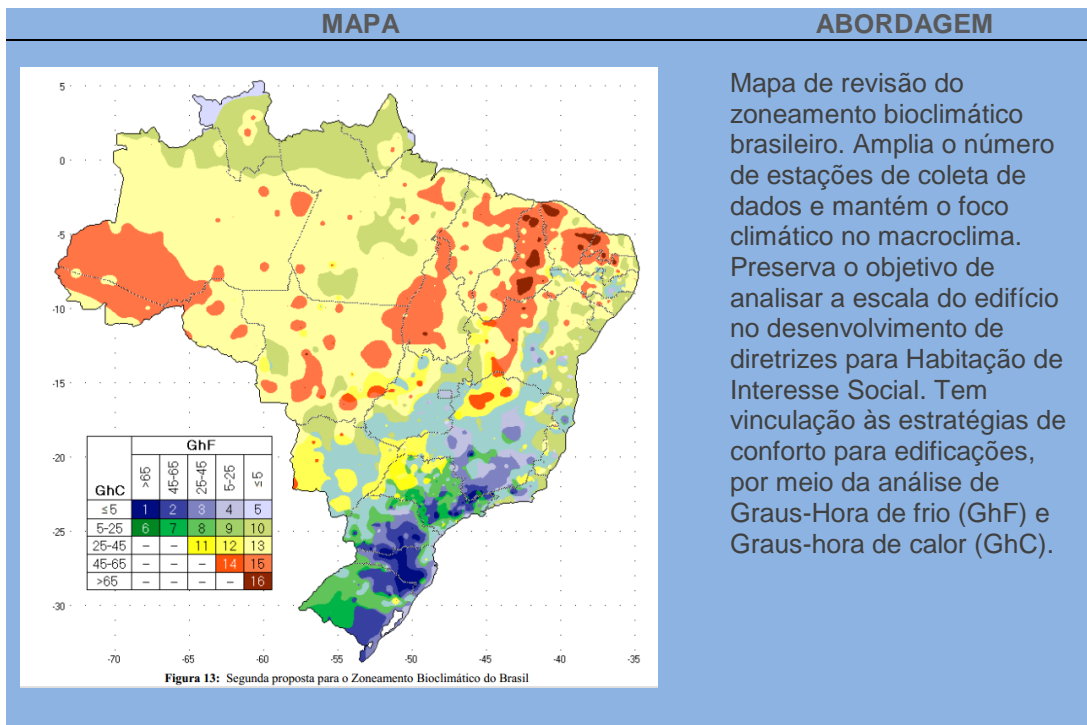


Figura 14 – Mapa e abordagem da proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro

Fonte: RORIZ (2012, p. 12)

No caso específico do DF, a presença de áreas montanhosas e corpos d'água evidenciam situações bioclimáticas diferenciadas. No entanto, a revisão do zoneamento proposta por Roriz (2012) não contempla estas nuances bioclimática do DF enquanto diferentes arranjos urbanos, embora possua três pontos de coletas de dados em situações extremas, um a norte (Planaltina), outro no centro (Brasília) e outro a sul (Gama). Dentre todos, apenas o localizado em Brasília há dados apropriados para a composição das normais climatológicas.

### 3.3 Caracterização bioclimática do DF

A visão bioclimática deste trabalho tem a dimensão do desenho urbano, na qual se pretende caracterizar o clima em seu sentido amplo, macroclimático, além de estabelecer critérios de conforto urbano que possam ser incorporados nas legislações urbanísticas específicas das cidades. A dimensão específica do estudo desta tese é própria do desenho urbano, onde será estudado o elemento gabarito das edificações, que é um elemento da morfologia urbana, e o seu desempenho térmico, delineando proposições para o clima da microescala, que atinge diretamente o nível de conforto térmico do usuário. É para esta dimensão, da microescala, que esta tese está voltada.

Neste sentido, para organizar-se uma caracterização macroclimática, é fundamental a consulta aos dados oficiais do clima urbano disponibilizados pelo INMET. Neste sentido, o INMET estabelece que os dados climáticos podem ser resumidos nas “normais climatológicas”. Para o DF, apenas a cidade de Brasília possui dados capazes de formatar as normais climatológicas.

O conceito de “normais climatológicas” é colocado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM<sup>14</sup>) como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos”.

O INMET pondera que:

em casos específicos em que a Normal Climatológica não esteja disponível, “seja porque a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos ou por outra razão qualquer, Normais Provisórias podem ser calculadas. Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos. (INMET, 2009, p.1)

As informações aqui apresentadas são resultado de um projeto concluído no final de 2009, que reviu e ampliou significativamente as Normais Climatológicas 1961-1990 computadas pelo INMET em 1992.

As últimas normais são compostas a partir da base de dados primários do INMET que abrange cerca de 414 estações meteorológicas de superfície em operação. Funcionaram durante os anos do período entre 01/01/1961 a 31/12/1990, e cobrem um conjunto de 26 parâmetros meteorológicos. Estas informações estão disponíveis para pesquisa no atlas das normais climatológicas (INMET, 2009).

### 3.3.1 Normais climatológicas de Brasília

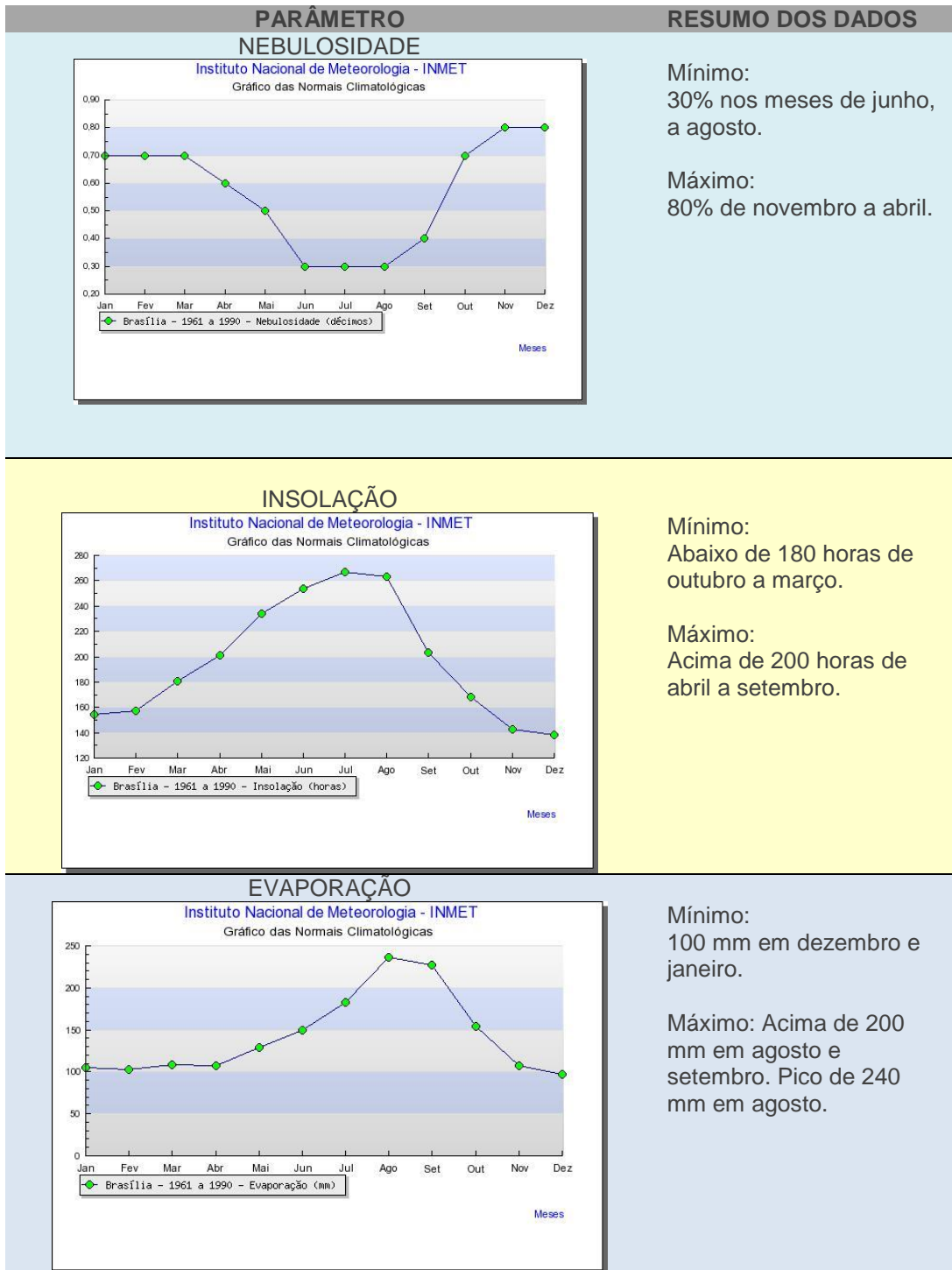
Para a compreensão climática de Brasília a partir de dados meteorológicos oficiais, foram levantadas as suas normais climatológicas<sup>15</sup>. As normais climatológicas de Brasília correspondem aos anos de 1960 a 1991, e possuem os seguintes parâmetros: nebulosidade (%), insolação (horas), evaporação (mm), precipitação (mm), pressão

<sup>14</sup> A organização Meteorológica Mundial (OMM) é uma agência especializada das Nações Unidas, trata das questões acerca do estado e o comportamento da atmosfera da Terra..

<sup>15</sup> As primeiras Normais Climatológicas do Brasil foram publicadas pelo Escritório de Meteorologia do Ministério da Agricultura, em 1970, correspondentes ao período 1931-1960. Tal publicação restringiu-se aos valores médios mensais e anuais das seguintes variáveis: pressão atmosférica, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta, temperatura média, umidade relativa, nebulosidade, precipitação total, precipitação máxima em 24 horas, evaporação total e insolação total (BRASIL, 2012).

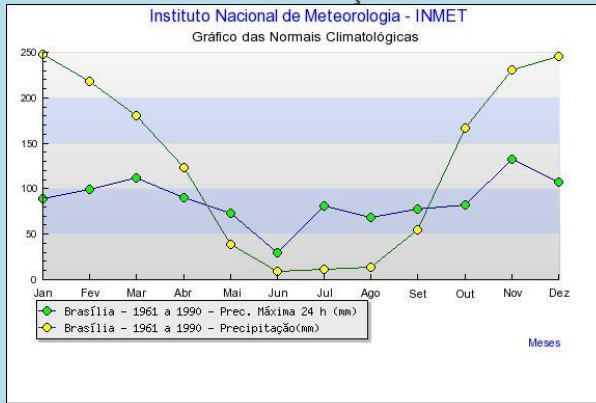
(hPa), temperatura (°C) e umidade (%). Esses parâmetros estão apresentados em gráficos climatológicos (Quadro 7).

Quadro 7 – Quadro-resumo das normais<sup>16</sup> climatológicas de Brasília (1961-1990)



<sup>16</sup> Gráficos extraídos do INMET, 2009.

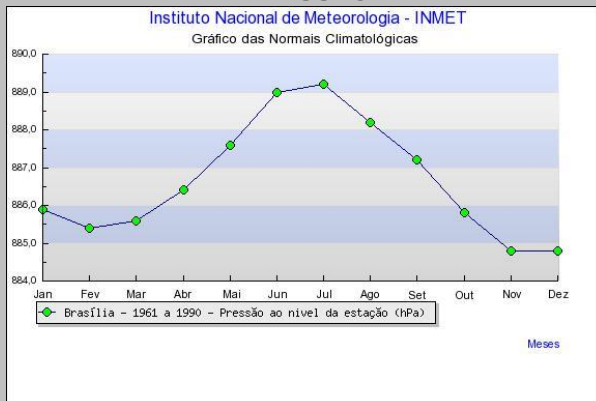
### PRECIPITAÇÃO



Mínimo:  
10 mm de junho a agosto.

Máximo:  
Acima de 200 mm de  
Novembro a Fevereiro.

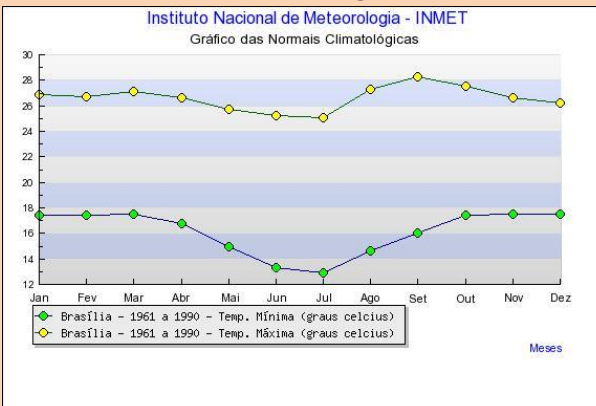
### PRESSÃO



Mínimo:  
Menor que 886 hPa entre  
Outubro e Fevereiro.

Máximo:  
Maior que 889 hPa nos  
meses de Junho e Julho.

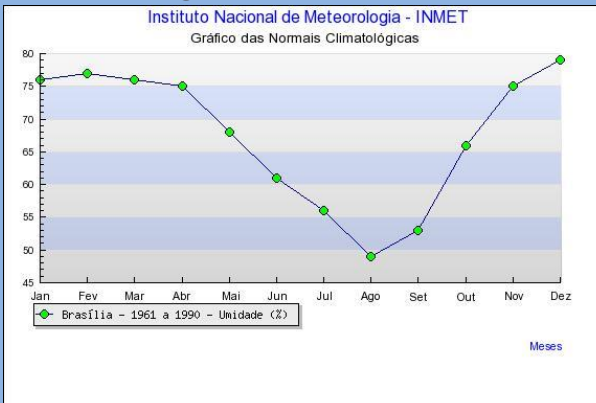
### TEMPERATURA



Mínimas:  
Menores que 14° nos  
meses de Junho e Julho  
(médias mínimas).

Máximas:  
Maiores que 27° nos  
meses de Agosto,  
Setembro e Outubro.

### UMIDADE RELATIVA



Mínima:  
Abaixo de 55% nos meses  
de Agosto e Setembro.

Máxima:  
Acima de 75% de  
Novembro a Abril.

As normais climatológicas evidenciam a presença de dois períodos marcantes durante do ano, seco e chuvoso. Esta diferença se dá principalmente no tocante a umidade relativa do ar, parâmetro fundamental para o estabelecimento do conforto térmico.

### 3.3.2 Caracterização Climática do Distrito Federal

O clima do DF pertence às categorias Aw, Cwa e Cwb de Köpper, que correspondem aos climas mesotérmicos úmidos de verão quente e de verão fresco. Pode ser classificado como Tropical de Altitude e é marcado por dois períodos distintos ou duas estações do ano bem definidas, segundo Ferreira (1985):

- Período quente-úmido – verão chuvoso, de outubro a abril, com uma temperatura média de 22°C. A partir da primavera, uma massa de ar quente, proveniente da Amazônia, atua sobre o Centro-Oeste e traz umidade para o Distrito Federal, cobrindo a cidade de nuvens e gerando fortes pancadas de chuva. O ápice da ação dessa massa ocorre nos meses de dezembro e janeiro.
- Período quente-seco – inverno seco, de maio a setembro, com temperaturas mais baixas no seu início, a partir de fins de maio a agosto, com cerca de 19°C média, mas que crescem acentuadamente ao longo do período. A massa quente e seca de ar tropical que vem da extensão paraguaia do Pantanal chega ao Centro-Oeste, impedindo a entrada de frentes frias da Argentina e do Uruguai. Devido ao insuficiente vapor de água presente na atmosfera, o céu fica sem nuvens e a estiagem se instala, é um período de baixa nebulosidade.

Setembro, com uma temperatura média de 23°C e uma média de 30,4°C para suas temperaturas máximas que ocorrem por volta de 15 horas, se apresentam como o mês mais quente e seco, entretanto, nos últimos dias marcam o início das chuvas. Julho é o mês mais frio com uma temperatura média de cerca de 18°C. (FERREIRA, 1965).

A autora conceitua clima como um conjunto de elementos que em sua sucessão habitual. Cita os parâmetros fundamentais que conformam o clima como: a radiação solar, precipitações, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do ar.

#### a. Radiação Solar

A forte incidência de radiação solar ofusca as estações intermediárias, assim, a primavera e o outono mal são notados na região. Com relação à insolação, os valores ficam em torno de 2.600 horas mensais, sendo a média no verão (chuvoso) de 160 horas mensais e no inverno (período seco) de 290 horas mensais. A radiação solar apresenta valores elevados durante quase o ano todo. A radiação difusa é mais intensa no verão.

Já a radiação direta é mais acentuada no inverno, que são meses secos com baixíssima nebulosidade, sendo mais forte que a radiação direta em igual latitude, ao nível do mar.

#### **b. Precipitações**

De acordo com a CODEPLAN e com os dados das Normais Climatológicas de 1960-1990 (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET), o período mais chuvoso corresponde aos meses de novembro a janeiro (média mensal de 242,67mm), e o período seco ocorre no inverno (média mensal de 11,13mm), especialmente nos meses de junho a agosto, como mostra o Gráfico 2.

Na região oriental de Goiás, da qual o Distrito Federal faz parte, mais de 70% do total de chuvas acontece de novembro a março. O inverno é extremamente seco, as chuvas são raras e em pelo menos um mês não há registro de nenhum dia de chuva. O período seco dura de 4 a 5 meses. Não somente o trimestre de inverno (junho, julho e agosto) é seco, mas também o mês que o antecede (maio) e o que o sucede (setembro). Observa-se que o regime pluviométrico anual é de 1552 mm e dezembro é o mês mais chuvoso com cerca de 248mm.

#### **c. Temperatura do Ar**

A temperatura média situa-se entre 19 °C e 26 °C durante o dia, ocorrendo uma forte perda noturna por radiação. As amplitudes térmicas diárias podem alcançar valores consideráveis, principalmente na época da seca. É comum a sensação de desconforto decorrente da temperatura elevada durante o dia e que diminui abaixo dos limites de conforto à noite. Devido à localização na área central do país e à sua altitude, essas amplitudes diárias de temperatura são consideráveis, especialmente no período seco sendo de aproximadamente 14 °C. Na estação chuvosa as amplitudes diárias de temperatura são aproximadamente 10 °C.

#### **d. Umidade do Ar**

Em Brasília, de abril a setembro, a umidade relativa do ar sofre uma diminuição considerável, alcançando níveis inferiores a 25%, sendo a média anual em torno de 67%. O mês mais seco é o mês de agosto, com 56% de umidade relativa média. A umidade relativa mínima absoluta registrada é de 8% no mês de setembro. Vale ressaltar que a série histórica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), mostra a queda dos índices de umidade relativa do ar no Distrito Federal.

#### **e. Velocidade do ar**

A cidade está situada em um sítio convexo e de acordo com a CODEPLAN (1986), “este sítio caracteriza-se por estar aberto a toda influência dos ventos predominantes, e durante os períodos de calmaria, tem uma topografia ideal para promover a drenagem do ar através do sítio da cidade.”

Assim, ventos moderados e constantes sopram de leste (frequência média anual), sendo que são mais constantes nas direções leste e sudeste no inverno e noroeste no verão. Sua velocidade média anual varia entre 2 e 3 m/s, sendo caracterizado como brisa (Figura 15 e Figura 16).

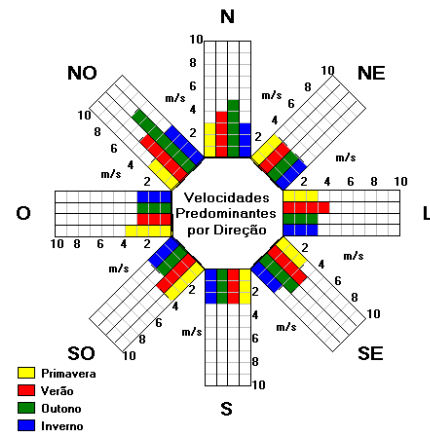
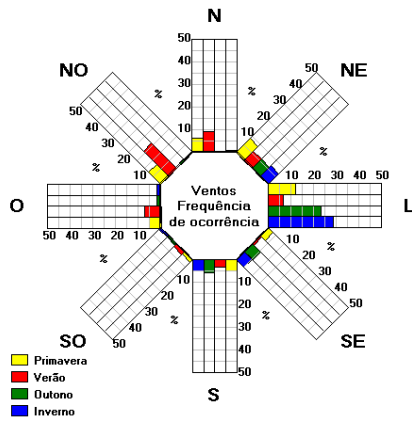


Figura 15 - Rosa dos ventos para Brasília – Figura 16 - Rosa dos ventos para Brasília – Ventos por frequência de ocorrência. Velocidades predominantes por direção. Fonte: Software Sol-Ar.

No parâmetro de velocidade dos ventos (m/s), considera-se que a velocidade do ar inferior a 0,5 m/s, caracterizada por calma, pode ser considerada como não promotora de conforto e, quando esta velocidade do ar atinge valores acima de 5m/s pode-se considerar como desconfortável.

### 3.4 Proposta de zoneamento climático do Distrito Federal

Conforme visto, o território do Distrito Federal é polinucleado de centros urbanos, com RAs que se localizam desde o extremo norte do DF como Sobradinho e Planaltina, ao extremo sul como Santa Maria e São Sebastião, ou o extremo leste como Paranoá e o extremo oeste como Ceilândia e Brazlândia (Figura 17).





Figura 17 – Mapa do DF com a subdivisão das principais RAs  
Fonte: DISTRITO FEDERAL, 2008.

Neste sentido, apresentam-se os mapas geomorfológicos e climáticos do DF, este último classificado segundo metodologia de Köppen (1948). Analisando-se as Regiões Administrativas como Planaltina (ao Norte do DF) e a cidade de Luziânia (ao Sul e já no estado de Goiás) possuem estações meteorológicas que registram seus valores climáticos e podem indicar um desempenho ambiental diferente de Brasília, onde está localizada a estação meteorológica oficial do DF. Essas diferenças ficam evidentes ao analisar-se o mapa geomorfológico proposto pela Codeplan (1986) (Figura 19).

Neste sentido, é possível discutir uma redefinição para a caracterização climática da cidade de Brasília, para isso, é fundamental um conhecimento prévio das características ambientais da região de estudo.

De acordo com o ZBB, Brasília e todo o DF estão inseridos na Zona Bioclimática (ZB) 4. Esta zona refere-se às características ainda marcantes de verão (período chuvoso) e inverno (seco), comportamento climático típico do clima tropical de altitude.

Amplia-se a caracterização climática de Brasília para as demais cidades do DF pela carência de estudos mais específicos e precisos. Neste sentido, o atlas da Codeplan (1986) apresenta uma análise mais pormenorizada do cenário bioclimático do DF. (Figura 18 e Figura 19). Os mapas tem validade uma vez que se trata da dimensão geomorfológica cuja dinâmica temporal não se altera em curto espaço de tempo.



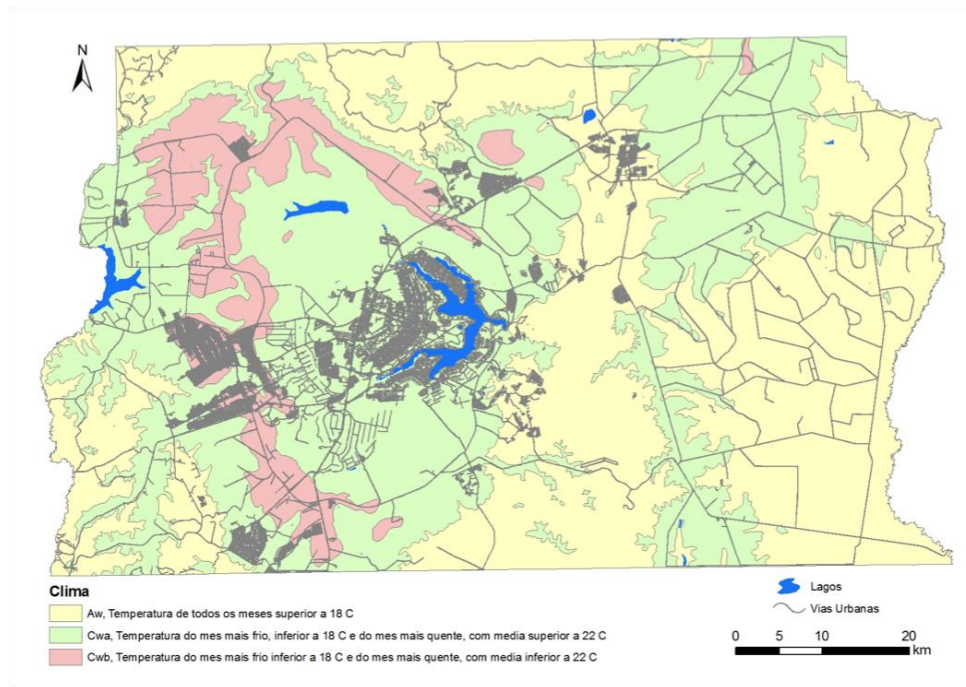


Figura 18 – Mapa climatológico do DF. Fonte: Codeplan, 1986

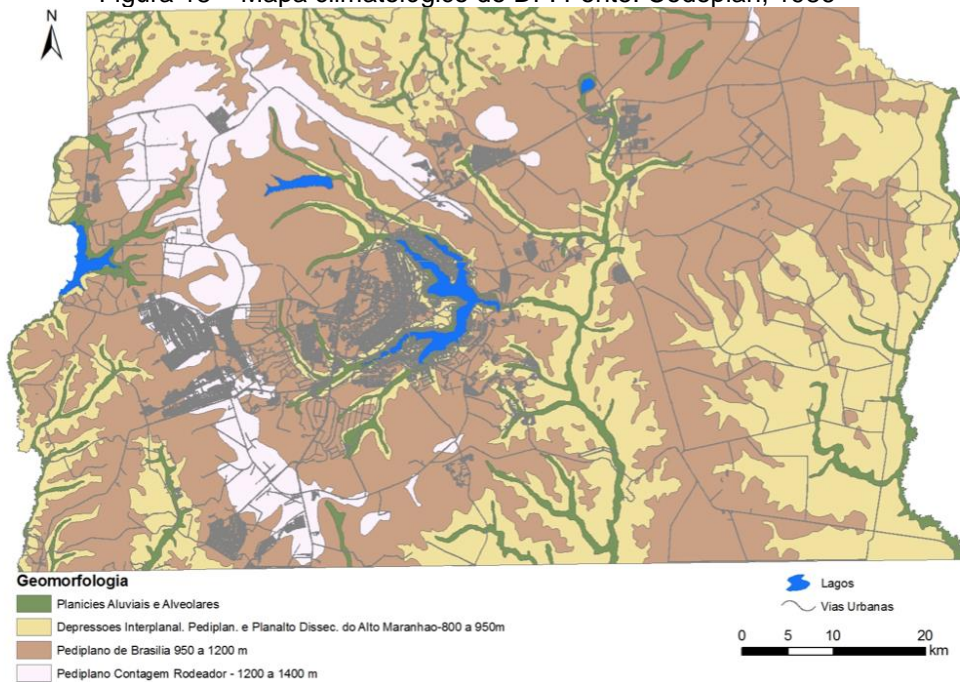


Figura 19 – Mapa geomorfológico do DF. Fonte: Codeplan, 1986

De acordo com a classificação de Köppen (Figura 18), o DF enquadra-se no tipo climático Aw – clima tropical com estação seca no inverno. Discute-se, no entanto, que no território do DF há heterogeneidade climática que não justifica o uso de uma única categoria climática para a sua representação. Neste sentido, o mapa climatológico associado ao mapa geomorfológico, tornam marcantes três agrupamentos territoriais, que representam três tipologias climáticas com nuances diferentes: zonas Aw, Cwa e Cwb, identificadas pelas cores amarela, verde e vermelha, respectivamente (Figura 20).

Analisando-se os mapas, vê-se que o perfil climático do DF tem forte correlação com a topografia e o relevo da região. No estudo, são identificados três tipos climáticos segundo a metodologia de Köppen (1948): Aw, Cwa e Cwb. Associando essas imagens à divisão política do DF, em que o mesmo é subdividido em regiões administrativas, percebe-se que os tipos climáticos conformam três diferentes áreas bioclimáticas distintas (Figura 20).

Tomando como base os estudos de Köppen e da revisão do zoneamento bioclimático brasileiro para a região de Brasília sistematizada por Roriz (2012), desenvolveu-se uma proposta de zoneamento mesoclimático para o Distrito Federal, baseada nos respectivos estudos supracitados, além da compreensão das normais climatológicas de Brasília.

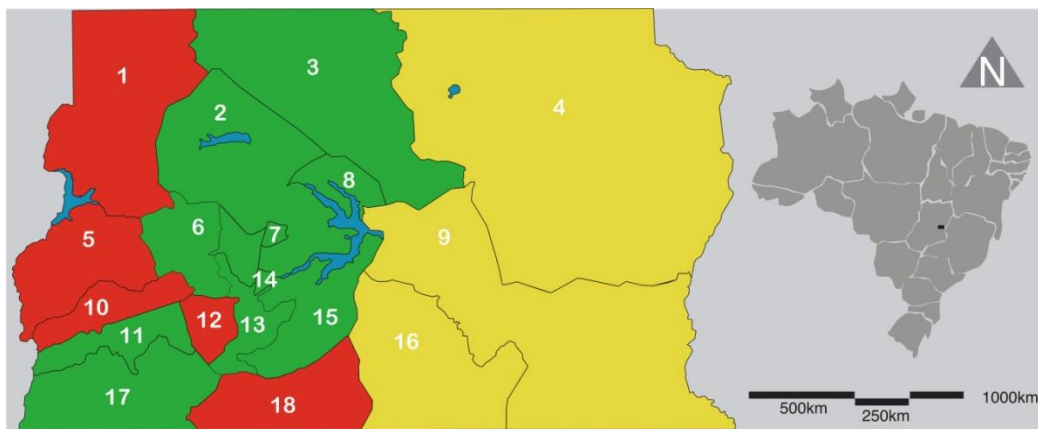


Figura 20 – Tipos climáticos das poligonais<sup>17</sup> Distrito Federal – Divisão política


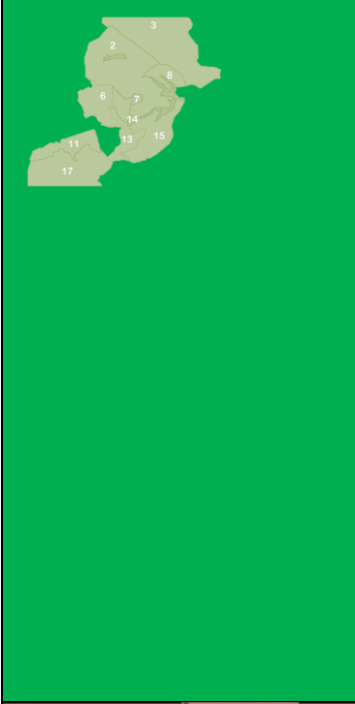

**Legenda:**

Zona AW	Clima tropical com estação seca de inverno
Zona CWA	Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente
Zona CWB	Clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado

Destaca-se que a partir da identificação das três subcategorias climáticas, de escala mesoclimática, os grupos de cidades podem ter a sua definição climática de forma mais precisa. Com diretrizes mais específicas voltadas para as demandas de proteção solar, acesso aos ventos, etc. que exigirão, por sua vez, prescrições urbanísticas diferenciadas. Dessa forma, torna-se possível orientar a legislação urbanística mais focada no comportamento climático de cada região do DF e assim traçar diretrizes mais específicas para as diversas cidades ou subregiões do DF (Tabela 2).

<sup>17</sup> As poligonais do mapa refere-se ao agrupamento de RAs para fins documentais. Mais de uma Região administrativa (RA) compõem uma poligonal do mapa. Logo, as 31 RAs estão incluídas nas 18 poligonais indicadas.

Tabela 2 – Tipo climático por Região Administrativa

MAPA	NÚMEROS	REGIÕES ADMINISTRATIVAS	ZONA BIOCLIMÁTICA
	RA-VI	Planaltina	A
	RA-VII	Paranoá	A
	RA-XIV	São Sebastião	A
	RA-I	Brasília	B
	RA-II	Gama	B
	RA-III	Taguatinga	B
	RA-V	Sobradinho	B
	RA-VIII	Núcleo Bandeirante	B
	RA-X	Guará	B
	RA-XI	Cruzeiro	B
	RA-XV	Recanto das Emas	B
	RA-XVI	Lago Sul	B
	RA-XVIII	Lago Norte	B
	RA-XIX	Candangolândia	B
	RA-XX	Águas Claras	B
	RA-XXI	Riacho Fundo II	B
	RA-XXII	Sudoeste/Octogonal	B
	RA-XXIII	Varjão	B
	RA-XXIV	Park Way	B
	RA-XXV	SCIA(2)	B
	RA-XXVI	Sobradinho II	B
	RA-XXVII	Jardim Botânico	B
	RA-XXVIII	Itapoã	B
RA-XXIX	SIA(3)	B	
RA-XXX	Vicente Pires	B	
	RA-IV	Brazlândia	C
	RA-IX	Ceilândia	C
	RA-XII	Samambaia	C
	RA-XIII	Santa Maria	C
	RA-XVII	Riacho Fundo	C

Para a distribuição das RAs segundo o seu mesoclima específico, foi respeitado o limite da poligonal da RA, o que, muitas vezes, não permite uma leitura imediata com os mapas climatológicos e geomorfológicos, que serviram de base para esta separação. Sendo assim, justifica-se o desajuste entre esses mapas em virtude do peso legal de se estabelecer prescrições urbanísticas específicas.

Elaborou-se uma caracterização das três zonas mesoclimáticas para o Distrito Federal a partir dos dados das normais climatológicas de Brasília. Foi utilizada a classificação da Zona Bioclimática para Brasília, que pertence à zona bioclimática 4, para a nomenclatura das três subzonas. 4A, 4B e 4C, com os respectivos perfis mesoclimáticos (Quadro 8).

Quadro 8 – Quadro das Mesozonas Bioclimáticas do DF

ZONA BIOCLIMÁTICA	PERFIL MESOCLIMÁTICO
4 A	Segundo ZBB e sua proposta de revisão apresentado por Roriz (2012), Planaltina está localizado na mesma zona da cidade de Brasília. Porém, segundo Köppen, o clima da região leste do Distrito Federal tem um comportamento mesoclimático diferente da porção central e sudoeste do DF. Nesta porção 4A, de clima classificado como tropical, todas as temperaturas do ano são superiores a 18°C. O período da seca coincide com o período de inverno. Logo, tem o período de verão mais marcante e exige diretrizes mais voltadas para os períodos mais quentes.
4 B	O ZBB utiliza os dados oficiais de Brasília, a partir da estação climatológica localizada no Plano Piloto (Sudoeste), logo, a zona 4B representa o clima tropical de altitude de Brasília. Köppen classifica este mesoclima como temperado úmido com inverno seco e verão quente, com médias mensais que superam 22°C. O clima temperado desta porção central do DF significa que o clima tem grandes amplitudes térmicas.
4 C	O ZBB não possui dados oficiais desta porção sudoeste do DF, o que, a princípio, recebe a mesma classificação climática de Brasília. Köppen, no entanto, classifica esse clima como temperado no verão e inverno seco. As médias mensais não superam os 22°C, portanto, é a zona mesoclimática menos quente do DF. A partir dos dados oficiais do INMET, a ausência de um verão com temperaturas altas mais marcantes nesta zona, permite que sejam orientadas diretrizes para evitar o desconforto por frio, ou seja, desenvolver estratégias que promovam o aquecimento solar passivo nos meses de inverno.

### 3.5 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou o contexto territorial e climático do Distrito Federal. Territorial numa dimensão urbanística, apresentando as especificidades das regiões administrativas e uma síntese dos principais marcos regulatórios que legislam a urbanização do território urbano do DF. Climático porque foram apresentadas diferentes acepções e escalas de abordagem climática do DF, desde a mesoclimática de Köppen, passando pelas normais climatológicas de Brasília e resumiu-se a caracterização climática nos seguintes aspectos:

**Nebulosidade:** De maio a setembro com baixa nebulosidade; de outubro a abril: de média e alta nebulosidade.

**Insolação:** De abril a setembro são mais de 200 horas mensais.

**Precipitação:** dois períodos são marcantes para os níveis de chuva em Brasília. Fica demarcado como período de estiagem o definido pelos meses de maio a setembro, com

---

índices de precipitação abaixo de 50 mm. E de outubro a abril índices que chegam a 250 mm em dezembro e janeiro.

**Evaporação:** os meses de agosto e setembro são caracterizados por possuírem o índice de evaporação com valores superiores a 200 mm. O pico de 240 mm se dá no mês de agosto. O mês que registra as menores taxas de evaporação é: dezembro, com 100 mm.

**Pressão:** os valores giram em torno de 880 a 890 hectopascal, conferindo uma baixa amplitude neste parâmetro. Nos meses de junho e julho, quando o valor da pressão atmosférica atinge o seu pico, indica dias com grande amplitude térmica.

**Temperatura:** analisando-se as médias das mínimas e as médias das máximas, percebe-se que o clima de Brasília é caracterizado por altas amplitudes térmicas. Os meses de temperaturas mais baixas são: junho e julho (maio e agosto também há valores baixos). E os meses de temperaturas mais altas são: setembro (máximas) e outubro (mínimas).

**Umidade:** há dois períodos bem marcantes quanto aos níveis de umidade relativa do ar. Nos meses de agosto e setembro os valores ficam abaixo de 55%, já nos meses de novembro a abril os valores passam de 75%.

Apresentou-se uma proposta de subdivisão dos climas no DF a partir dos estudos de Köppen, sistematizados pela CODEPLAN (1986) e pontuado pelos estudos do ZBB. Assim, a partir da revisão do ZBB e de uma releitura dos mesoclima de Köppen foi desenvolvido um zoneamento mesoclimático para o Distrito Federal. Neste sentido, definiram-se três mesozonas climáticas, A, B e C, as quais possuem inverno seco, mas A possui verão mais marcante, B (inclui a cidade de Brasília) e tem o clima classificado como temperado, com altas amplitudes térmicas (verão e inverno marcantes) e em C, onde não há verão muito marcante (médias não passam de 18°C).

Dessa forma, conclui-se que a caracterização dos tipos climáticos do Distrito Federal possibilita uma compreensão mais clara do clima urbano. Esta análise tornou-se fundamental para possibilitar a avaliação das frações urbanas submetidas à análise computacional, conteúdo dos próximos capítulos.

Assim, o contexto climático do DF abordado neste capítulo enquanto aporte físico, concreto, permitiu uma abordagem de um clima com dados precisos, o que tornou a pesquisa mais confiável, e os dados das simulações computacionais mais palpáveis. O processo de modelagem e de simulação computacional são os objetos tratados no próximo capítulo, onde, com os dados climáticos de Brasília, pode-se configurar o software. As demais configurações climáticas e todo o método computacional também são abordados no próximo capítulo.

Os softwares têm tido uma aplicabilidade cada vez maior pelo fato de poderem ser utilizados tanto para projetos que ainda estejam em processo de concepção, como para aqueles que já se encontram construídos, e necessitam de algum tipo de modificação, por meio de análises de viabilidade.

Romero, 1998

## PARTE II

Operacional e  
Prospectiva

**OPERACIONAL e PROSPECTIVA** O capítulo anterior que encerrou a parte I da tese ofereceu, portanto, um ambiente concreto, que, por sua vez, detém dados climáticos precisos e que foram utilizados como o arcabouço físico desta atividade de pesquisa. A parte II dá continuidade a tese, com uma abordagem pragmática dos assuntos até então tratados na parte I, na qual os temas do conforto térmico de espaços abertos e o clima urbano foram os parâmetros escolhidos e avaliados por meio de ferramentas computacionais, a parte I encerra-se com a caracterização bioclimática do distrito federal enquanto pano de fundo da análise desenvolvida nesta pesquisa. Agora, a tese segue para uma abordagem mais pragmática.

Esta parte II tem por objetivo lançar uma visão prática à discussão e está também composta por três capítulos: o **CAPÍTULO 4: MODELAGEM AMBIENTAL E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL** que trata dos conceitos, parâmetros utilizados e dos procedimentos metodológicos seguidos para as etapas de modelagem e simulação computacional. Posteriormente, capítulo 5: **CAVIDADES URBANAS E O CONFORTO TÉRMICO** apresenta os resultados de conforto térmico propriamente ditos advindos das simulações computacionais desenvolvidas. Por fim, encerrando a parte II, tem-se o **CAPÍTULO 6: DESEMPENHO TÉRMICO DE CAVIDADES URBANAS**, destinado a manipulação dos dados e à análise dos resultados da pesquisa desenvolvida.





## Capítulo 4

### 4. O Processo de Modelagem e Simulação Bioclimática

Este capítulo trata especificamente dos procedimentos metodológicos seguidos para a elaboração da modelagem e posterior execução da simulação computacional. Num primeiro momento, são apresentados os cenários desenvolvidos para a avaliação de conforto térmico destacando os tipos de cavidades urbanas avaliadas com suas respectivas configurações de solo, orientação e horários. Num segundo momento é apresentado o modus operandi do programa e são fornecidas as configurações mínimas utilizadas que nortearam todo o processo de simulação computacional. Este processo de modelagem e simulação é aqui denominada “bioclimática”, uma vez que utiliza dados climáticos para a avaliação de configuração urbana visando o conforto térmico.



## 4.1 Simulação bioclimática

A expressão simulação bioclimática é o processo de simulação computacional que utiliza necessariamente dados bioclimáticos específicos do lugar para o seu desenvolvimento. O termo bioclimático qualifica a simulação quando garante que esta recebe um conteúdo local, que, por sua vez, qualifica o objeto a ser avaliado pois indica que os resultados advindos serão gerados a partir de uma base de dados não genérica, mas específica daquele sítio.

De modo mais específico, o processo de simulação bioclimática pode ser subdividido em dois momentos. Inicialmente, busca-se por requisitos mínimos necessários para organizar a simulação, para, a partir disto, preencher os dados de configuração climática a serem inseridos na plataforma do programa de simulação.

Este tópico apresentará toda a configuração necessária para a modelagem com o programa *ENVI-met*. A aplicação do *ENVI-met* se dá nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, design de prédios ou planejamento ambiental, entre outras correlatas. *ENVI-met* vem junto com um *software* adicional (Leonardo) que abarca editores e ferramentas de visualização gráfica para a modelagem dos resultados.

Para a finalidade deste trabalho, foram realizadas simulações com diferenciadas configurações de cavidades, onde será alterado a altura dos edifícios, as quantidades e tipos de vegetação nos pontos estudados, como também os diversos materiais de revestimento de solo, com diferentes proporções e índices de permeabilidade. Para isso, foi seguida a metodologia de Duarte e Shinzato (2008), que usa simulações paramétricas explorando as diferentes formas de distribuição do verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da temperatura e o aumento da umidade do ar, como também a de Silveira (2007) que estuda o desempenho da ventilação no espaço livre e a mensuração do impacto da vegetação em vias públicas (Silva e Romero, 2009).

## 4.2 Especificação do programa de modelagem e simulação

As simulações computacionais apresentadas nesta tese utilizaram a plataforma do programa *ENVI-met*<sup>18</sup>, presente nas pesquisas de (SILVEIRA, 2007; SILVA, 2009; CASTELO BRANCO, 2009; SOUZA et al, 2010). Um dos primeiros exemplos marcantes da eficácia do tipo de cálculo desenvolvido pelo programa *ENVI-met* está na pesquisa de Han, Mun e Huh (2007) quando investigaram as mudanças do microclima e a redução na

---

<sup>18</sup> O software *ENVI-met* desenvolvido por Michael Bruse, Universidade de Bochum, Alemanha. Mais informações sobre este programa : vide tópico 2.5 do capítulo 2.

escala urbana da carga de refrigeração resultantes do córrego Cheonggye, em Seoul. O referido corpo de água restaurado resgatou a qualidade ambiental para a região, sendo que o procedimento de revitalização da área contou com simulações computacionais do *ENVI-met*.

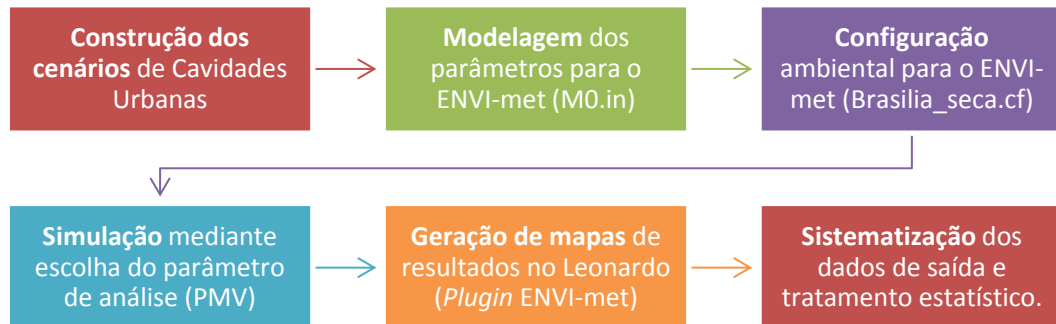
Embora o programa trabalhe com a interface tridimensional do clima a partir de uma dimensão geográfica, os tipos desenvolvidos nesta tese são objetos projetados na microescala urbana, objeto de trabalho do arquiteto e urbanista. Neste sentido, é fundamental compreender a dimensão bioclimática da configuração do espaço construído. Para isso, pode-se avaliar o impacto do microclima do espaço aberto no desenvolvimento das atividades humanas, visto que são inúmeras as interferências microclimáticas no meio urbano, a exemplo da distribuição do tráfego, que pode tornar o impacto do microclima muito maior e mais visível. A conformação do espaço aberto é capaz de criar diferentes microclimas, dependendo do seu arranjo configuracional. Neste sentido, investiga-se qual arranjo capaz de contribuir para, nas palavras de Bruse (2007), um "clima otimizado".

A plataforma computacional – *ENVI-met* – foi escolhida pela simplicidade da execução do processo de modelagem. Além disso, o programa permite a geração de inúmeros tipos com agilidade e, apresenta resultados com satisfatória precisão de cálculos. Uma das vantagens também visualizadas no *ENVI-met* é a possibilidade de gerar resultados espacializados para diversas horas do dia, mapas por sua vez gerados pelo plugin Leonardo, que permite a criação de mapas com legendas autoexplicativas e extração de dados tanto no plano horizontal (x-y) quanto no plano vertical (x-z) ou (y-z).

### 4.3 Procedimentos metodológicos

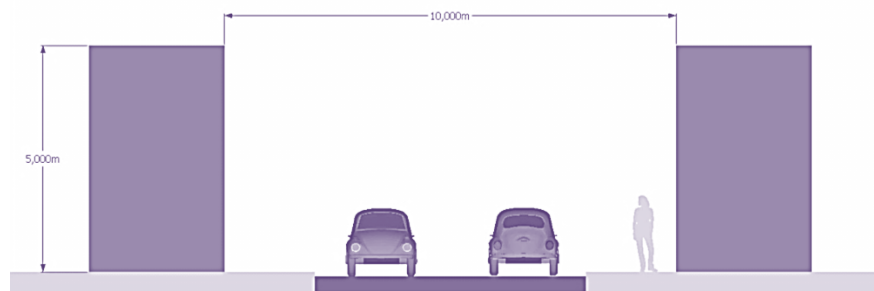
Para demonstrar o percurso metodológico que conduziu a etapa de avaliação computacional da tese apresenta-se um fluxograma. Nele foram resumidos os procedimentos metodológicos da tese. Nele são apresentados os primeiros passos, desde o desenvolvimento de tipos de cavidades urbanas, o posterior processo de modelagem 3D na interface no *ENVI-met*, passando pela configuração climática para a época seca de Brasília, a inserção das especificações de simulação com o parâmetro PMV a ser avaliado. Sequencialmente a extração dos dados simulados e a organização de quadros para simplificar e facilitar a interpretação dos dados, e, por fim, o planilhamento dos dados simulados para, após tratamento estatístico, a geração de resultados da tese (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Fluxograma de procedimentos metodológicos para a simulação



### 4.3.1 Construção dos cenários de cavidades urbanas

Os cenários criados são hipotéticos, porém, os números de sua relação  $W/h$  foram calculados a partir de valores factíveis, ou seja, próximos de valores de configurações urbanas reais. Por exemplo: ao se observar uma via local do tecido urbano de uma cidade, de dimensões próximas a 6 m (equivalente a uma via de mão-dupla), geralmente ladeada por calçadas de dois metros, totalizando dez metros de largura e por edifícios de cinco metros de altura (entre 1 e 2 pavimentos). Esta relação conforma o  $W/h$  de 2,0 (Figura 21).

Figura 21 – Desenho esquemático de cavidade urbana de  $W/h = 2$ 

Num segundo momento foram extraídos os valores de alturas a partir das alturas regulares de edifícios (1 pavimento, 2 pavimentos, 3 pavimentos, etc) e larguras comuns de ruas (1 faixa de rolamento, 2 faixas de rolamento, 3 faixas de rolamento, etc).

Para controlar a área da análise em questão, foi definida uma área quadrada  $100\text{ m}^2$ , logo, a dimensão do comprimento da rua também foi definida como 10 m. A partir desta rua “hipotética” foram definidas as diferentes alturas das edificações.

A partir de uma caixa viária fictícia de 10 m de largura, no plano da base, que representa a variável  $W$  na fórmula do  $W/h$ , foram calculados diferentes valores para a altura do conjunto edificado, que conformaria a cavidade urbana.

O tipo 0 (também chamado de M0) parte da menor relação analisada: 0,1, finalizando no tipo 20 (M20) cuja relação é a maior analisada 10. Acredita-se que com os 21 cenários, grande parte das relações existentes entre altura edificada e recuo entre os edifícios esteja representada (Tabela 3).

Tabela 3 - Relação numérica dos fatores  $W/h$  definidos para cada tipo (M<sup>19</sup>)

TIPO	W (m)	H (m)	W/h
0	10	100	0,1
01	10	20	0,5
02	10	10	1,0
03	10	6,66	1,5
04	10	5	2,0
05	10	4	2,5
06	12	4	3,0
07	14	4	3,5
08	16	4	4,0
09	18	4	4,5
10	20	4	5,0
11	22	4	5,5
12	24	4	6,0
13	26	4	6,5
14	28	4	7,0
15	30	4	7,5
16	32	4	8,0
17	34	4	8,5
18	36	4	9,0
19	38	4	9,5
20	40	4	10,0

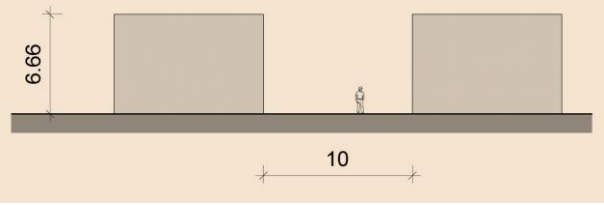
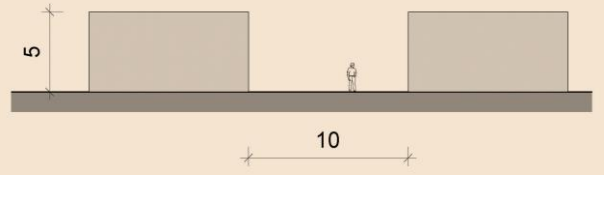
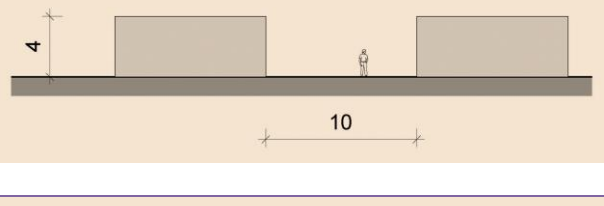
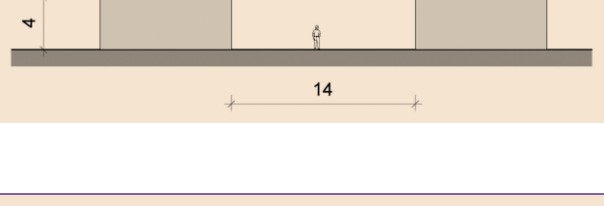
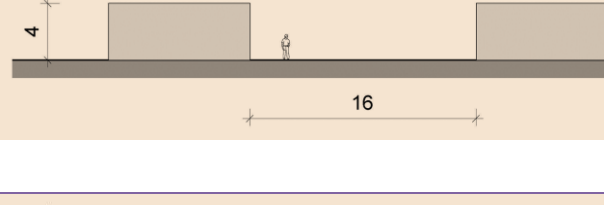
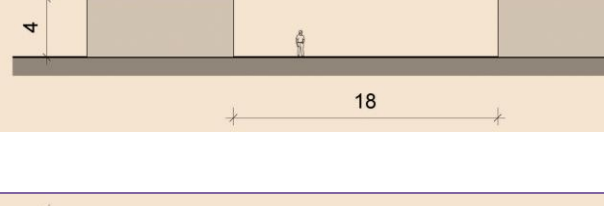
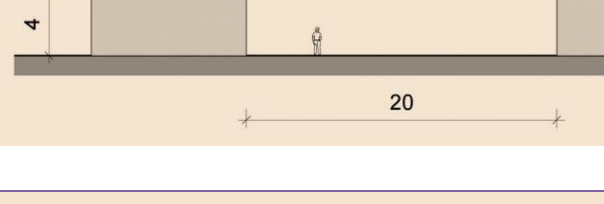
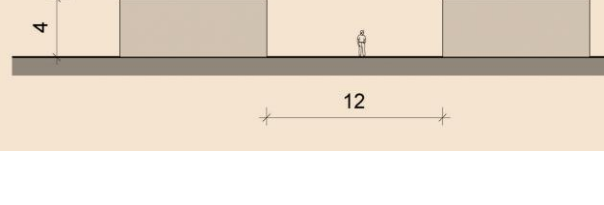
O tipo 0 representa o limite máximo de claustrofobia, tendo a sua cavidade urbana o valor mínimo de  $W$  em relação ao valor máximo de  $h$ . Dessa forma, este tipo apresenta discrepância em relação aos demais, no entanto, este tipo foi necessário para que se estabelecesse uma relação na relação entre as larguras e alturas, como pode ser visto no tipo 0 (zero), que obteve largura  $W$  igual a 10 m e altura dos edifícios  $h$  igual a 100 m, obtendo a relação  $W/h$  igual a 0,1, neste caso, o menor valor de  $W/h$  dentre os cenários elaborados (Quadro 9).

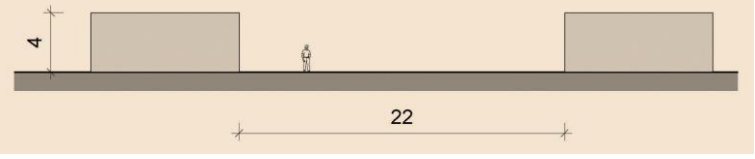
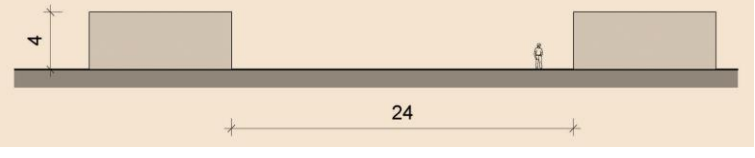
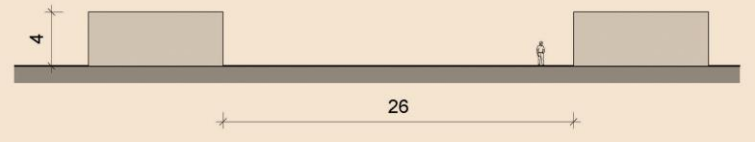
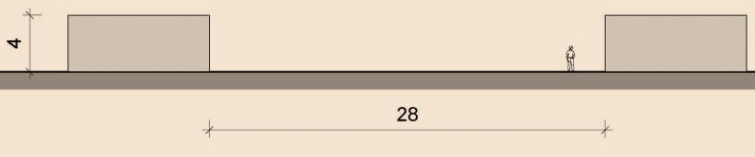
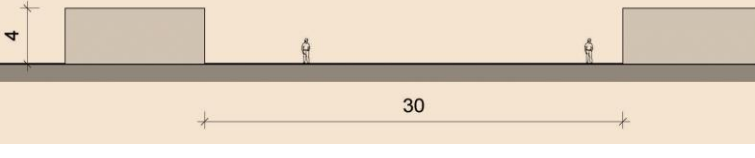
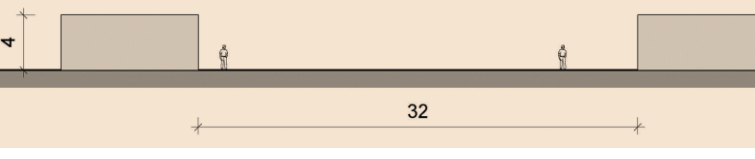
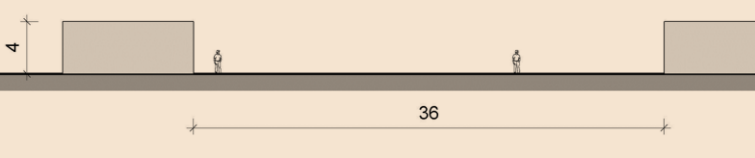
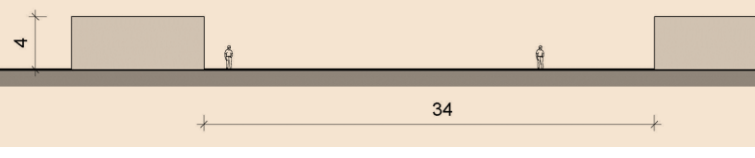
<sup>19</sup> Os tipos de cavidades urbanas foram analisados enquanto tipos fictícios. Neste sentido, também recebem o nome de “modelo”, e sua abreviação M encontram-se durante a tese.

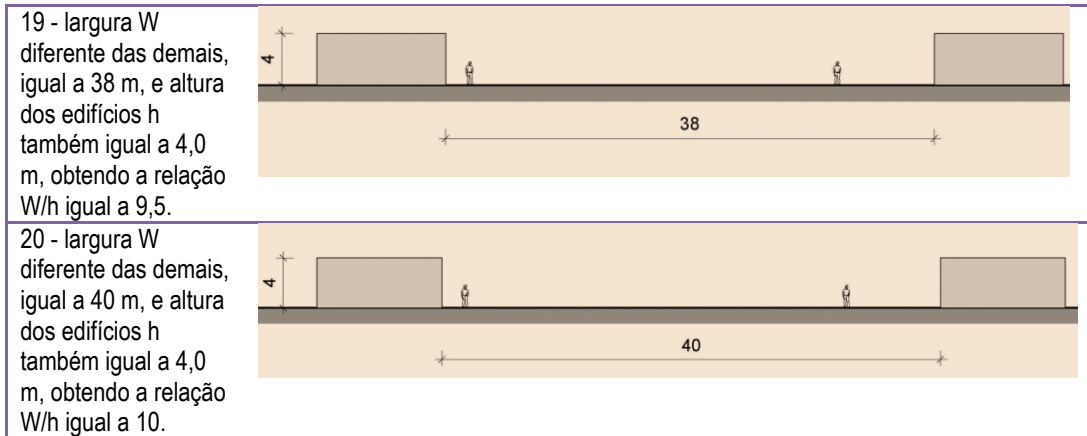
A partir do levantamento de dados dos tipos, e dos valores de  $W/h$  que conformariam os cenários urbanos hipotéticos, partiu-se para o desenvolvimento dos cenários fictícios, devidamente construídos na plataforma de modelagem do programa *ENVI-met*.

Quadro 9 – Desenho esquemático dos tipos de relação  $W/h$  analisadas

TIPOS	DESENHO
00 - largura $W$ também igual a 10 m e altura dos edifícios $h$ igual a 100 m, obtendo a relação $W/h$ igual a 0,1.	
01 - largura $W$ também igual a 10 m e altura dos edifícios $h$ igual a 20 m, obtendo a relação $W/h$ igual a 0,5.	
02 - largura $W$ também igual a 10 m e altura dos edifícios $h$ igual a 10 m, obtendo a relação $W/h$ igual a 1,0.	

<p>03 - largura <math>W</math> também igual a 10 m e altura dos edifícios <math>h</math> igual a 6,66 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 1,5.</p>	
<p>04 - largura <math>W</math> também igual a 10 m e altura dos edifícios <math>h</math> igual a 5,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 2,0</p>	
<p>05 - largura <math>W</math> também igual a 10 m e altura dos edifícios <math>h</math> igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 2,5.</p>	
<p>07 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 14 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 3,5.</p>	
<p>08 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 16 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 4,0</p>	
<p>09 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 18 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 4,5.</p>	
<p>10 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 20 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 5,0.</p>	
<p>06 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 12 m, e altura dos edifícios <math>h</math> igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 3,0</p>	

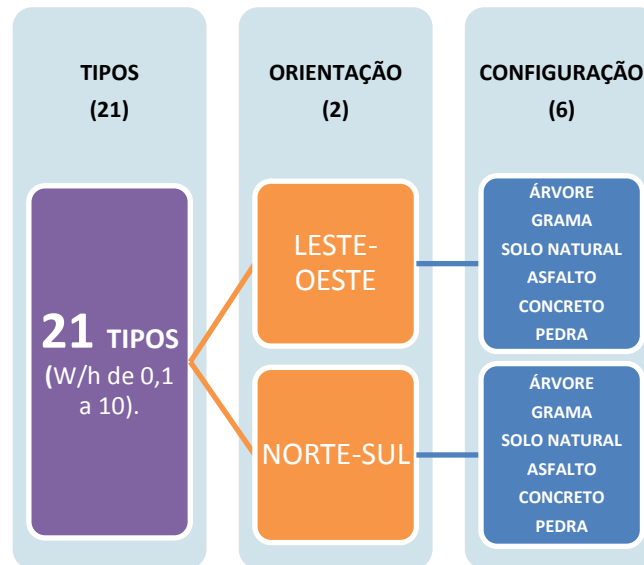
<p>11 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 22 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 5,5.</p>	
<p>12 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 24 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 6,0.</p>	
<p>13 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 26 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 6,5.</p>	
<p>14 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 28 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 7,0.</p>	
<p>15 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 30 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 7,5.</p>	
<p>16 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 32 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 8,0.</p>	
<p>18 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 36 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 9,0.</p>	
<p>17 - largura <math>W</math> diferente das demais, igual a 34 m, e altura dos edifícios <math>h</math> também igual a 4,0 m, obtendo a relação <math>W/h</math> igual a 8,5.</p>	



### 4.3.2 Modelagem dos parâmetros avaliados

Para o desenvolvimento da modelagem na interface do *ENVI-met* organizou-se os dados de entrada, quantificou-se os cenários avaliados, a partir dos tipos de orientação para os quais eles seriam submetidos e as configurações de solo que seriam avaliadas (Figura 22).

Figura 22 – Esquema de organização dos parâmetros dos cenários



Para esta tese foram definidos 21 tipos que representam 21 relações  $W/h$  distintas. Chegou-se a este número analisando-se as configurações urbanas tradicionais, onde pretendeu-se abranger uma amplitude satisfatória de situações. Essa gama de relações  $W/h$  partiu do valor de 0,1 a 10. Foram estipuladas 2 orientações e 6 tipos de materiais de configuração do solo, portanto, totalizou-se: 252 combinações. O conjunto desses "tipos" geraram 252 "cenários".



Posterior à etapa de determinação dos cenários a serem avaliados e à formatação dos tipos de cavidades, partiu-se para a configuração interna utilizando-se a interface do ENVI-met. No primeiro momento, inserindo dados equivalentes ao edifício. Num segundo momento, criando o arquivo de parâmetros analisados (no caso, apenas o PMV), e, ao final, inserindo o arquivo de configuração climática da época seca de Brasília, assunto tratado com mais especificidade no próximo tópico.

A modelagem nesta tese é compreendida como o processo de construção dos tipos analisados bem como todo o preenchimento das configurações e dados iniciais, etapa necessária e anterior ao desenvolvimento da simulação. A modelagem requer uma interpretação da realidade (ALMEIDA, 2007). Quando associada ao tipo de fragmentos do ambiente humano, pode-se conceituar como modelagem ambiental, que, para Christofolletti (1999), significa a abstração do mundo natural, realizando a previsão de eventos baseados em princípios gerais (Figura 23).

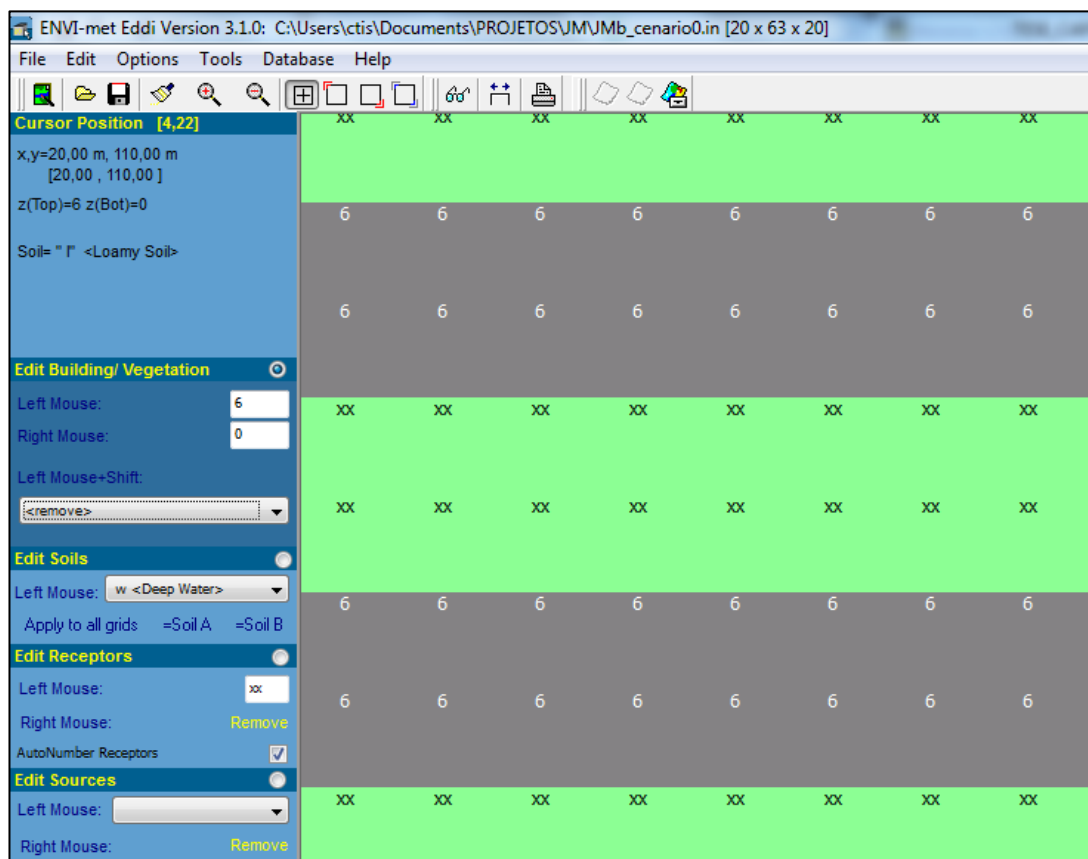


Figura 23 – Plataforma de modelagem do programa *ENVI-met*

BARRA LATERAL	COMANDOS
<p><b>Cursor Position [1,2]</b></p> <p>x,y=2,50 m, 5,00 m [2,50 , 5,00 ]</p> <p>z(Top)=2 z(Bot)=0</p> <p>Soil= " 0" &lt;Default Usealcl Soil (** do no</p> <hr/> <p><b>Edit Building/ Vegetation</b></p> <p>Left Mouse: 5</p> <p>Right Mouse: 0</p> <p>Left M.+Shift: ds &lt;Tree 10 m dense. &gt;</p>	<p>A barra lateral direita é destinada a inserção de dados do cenário. Na porção superior pode-se inserir o número de módulos a serem modelados no programa (campo <i>left mouse</i>). Assim como para a inserção de vegetação (<i>left mouse + Shift</i>). No caso deste estudo, cada módulo equivaleu a 1 pavimento, ou seja, 3m, e foram utilizados dois tipos de vegetação: grama e árvore de média densidade foliar.</p>
<p><b>Edit Soils</b></p> <p>Left Mouse: s &lt;Asphalt Road&gt;</p> <p>Apply to all grids =Soil A =Soil B</p> <hr/> <p><b>Edit Receptors</b></p> <p>Left Mouse: A</p> <p>Right Mouse: Remove</p> <p>AutoNumber Receptors <input checked="" type="checkbox"/></p> <hr/> <p><b>Edit Sources</b></p> <p>Left Mouse: [dropdown]</p> <p>Right Mouse: Remove</p> <hr/> <p><b>BOTworld Database Links</b></p> <p><input checked="" type="radio"/> Point <input type="radio"/> Area</p> <p>Left Mouse: yy</p> <p>Right Mouse: Remove</p>	<p>Na parte inferior da barra lateral do programa podem ser configurados os tipos de revestimento de solo (campo <i>edit soils</i>). No caso deste estudo, utilizou-se solo natural, asfalto e concreto. Abaixo, são adicionados pontos de coleta de informação (campo <i>Receptors</i>) e fontes de distribuição de calor (<i>Edit Sources</i>). Por fim, pode-se inserir dados específicos de pedestres virtuais que não foram utilizados neste trabalho (Campo <i>BOTworld database links</i>).</p>

Figura 24 – Destaque para o campo lateral

### 4.3.3 Configuração ambiental para o ENVI-met

Para a elaboração da análise do desempenho térmico das cavidades urbanas partiu-se para a configuração básica da plataforma de simulação do *ENVI-met*, onde foi selecionado o índice PMV. Este índice será utilizado como referência de conforto térmico ambiental para análise comparativa (Quadro 13).

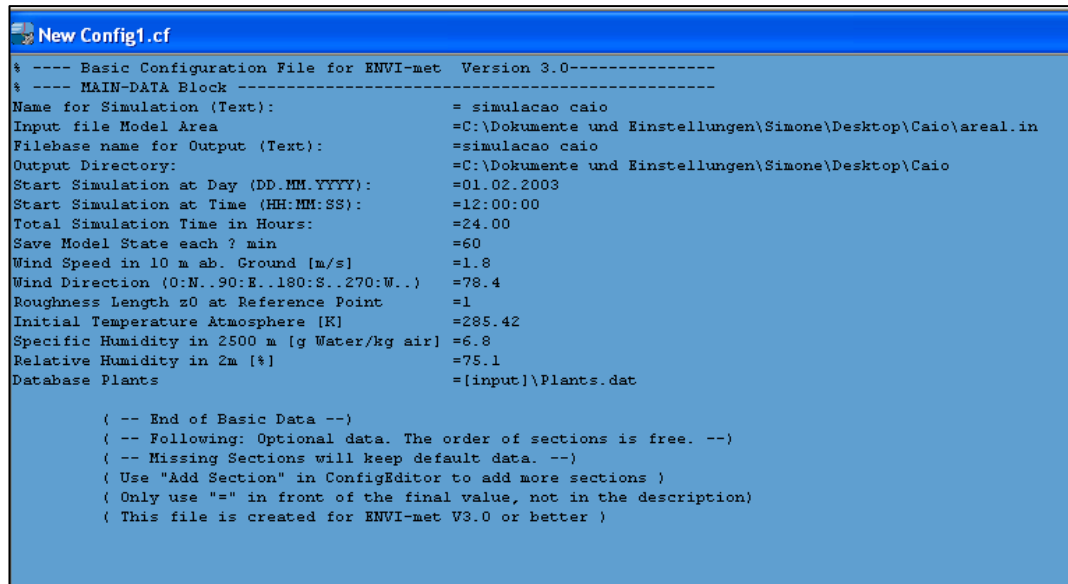
Quadro 10 – Dados mínimos para configuração básica no *ENVI-met*

#### Dados Gerais (Configuração básica):

- Temperatura do Ar (K) a 2500 m;
- Umidade Absoluta (g água/Kg de ar) a 2500 m (camada limite da troposfera);
- Umidade Relativa (UR %) a 2 m;
- Velocidade dos Ventos a 10 m (VV, m/s);
- Direção dos Ventos a 10 m (DV);
- Coeficiente de Rugosidade da Superfície (da estação meteorológica);
- Configuração PMV (*default*)
- Velocidade da Caminhada do Pedestre;
- Energia e Metabolismo do pedestre;
- Índice de percentual de vestimenta.

### 4.3.4 Simulação mediante escolha do parâmetro de análise

Para iniciar o processo de simulação, foi criado o arquivo de configuração no programa ENVI-met com os dados dos arquivos elaborados com os cenários (M0.in, M01.in, M02.in, etc) (Figura 25).



```
% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3.0-----%
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                = simulacao caio
Input file Model Area                     =C:\Dokumente und Einstellungen\Simone\Desktop\Caio\areal.in
Filebase name for Output (Text):          =simulacao caio
Output Directory:                         =C:\Dokumente und Einstellungen\Simone\Desktop\Caio
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):     =01.02.2003
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      =12:00:00
Total Simulation Time in Hours:           =24.00
Save Model State each ? min               =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]      =1.8
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =78.4
Roughness Length z0 at Reference Point    =1
Initial Temperature Atmosphere [K]        =285.42
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =6.8
Relative Humidity in 2m [%]               =75.1
Database Plants                           =[input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
```

Figura 25 – Arquivo de configuração geral do ENVI-met

Na tela intitulada “opções de saída” podem ser selecionados cerca de 40 parâmetros de análise. No caso deste estudo foi selecionado apenas o parâmetro PMV (Figura 26).

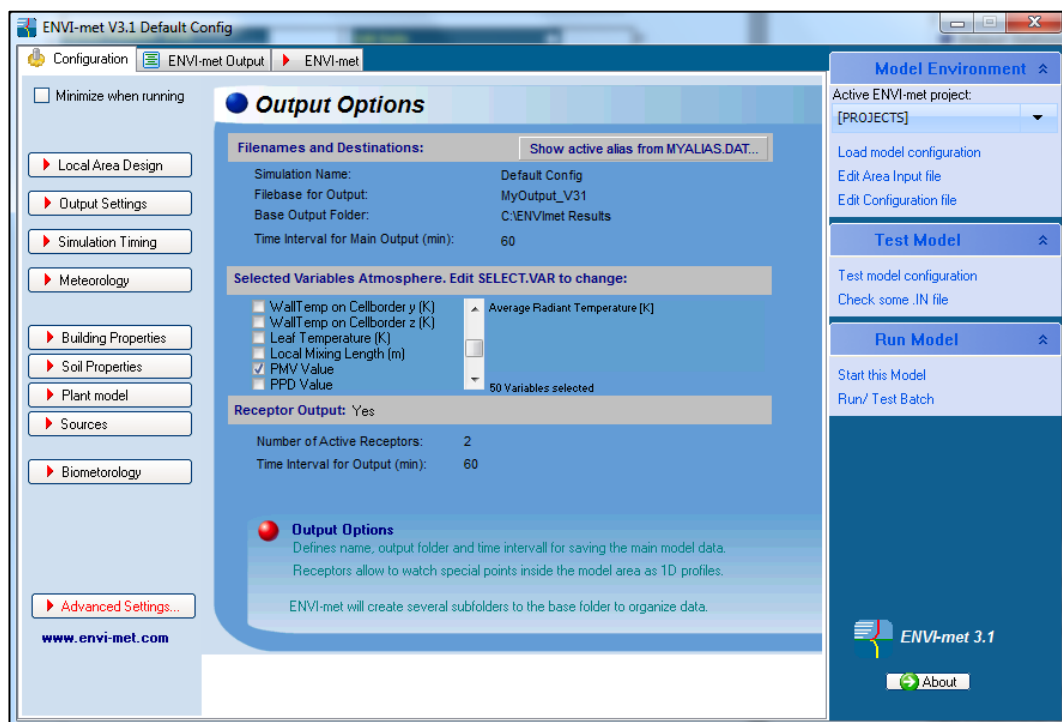


Figura 26 – Tela de opções de saída do ENVI-met

O programa *ENVI-met* apresenta na tela principal a área de inserção dos dados, e, na lateral esquerda, ficam os elementos básicos que configuram a área a ser simulada. Alguns desses elementos são: vegetação, tipo de solo e gabarito das edificações.

#### 4.3.5 Geração de mapas de resultados (Leonardo)

Para a extração dos dados simulados partiu-se para a geração dos mapas de resultados por meio do plugin também gratuito do *ENVI-met* intitulado Leonardo. Nesta interface os dados de PMV são espacializados nos planos xy, yz e xz. No caso deste estudo os dados foram extraídos no nível do solo, no plano xy. A escala de cores segue o *default* do programa do magenta (maior valor) para o azul escuro (menor valor) (Figura 27).

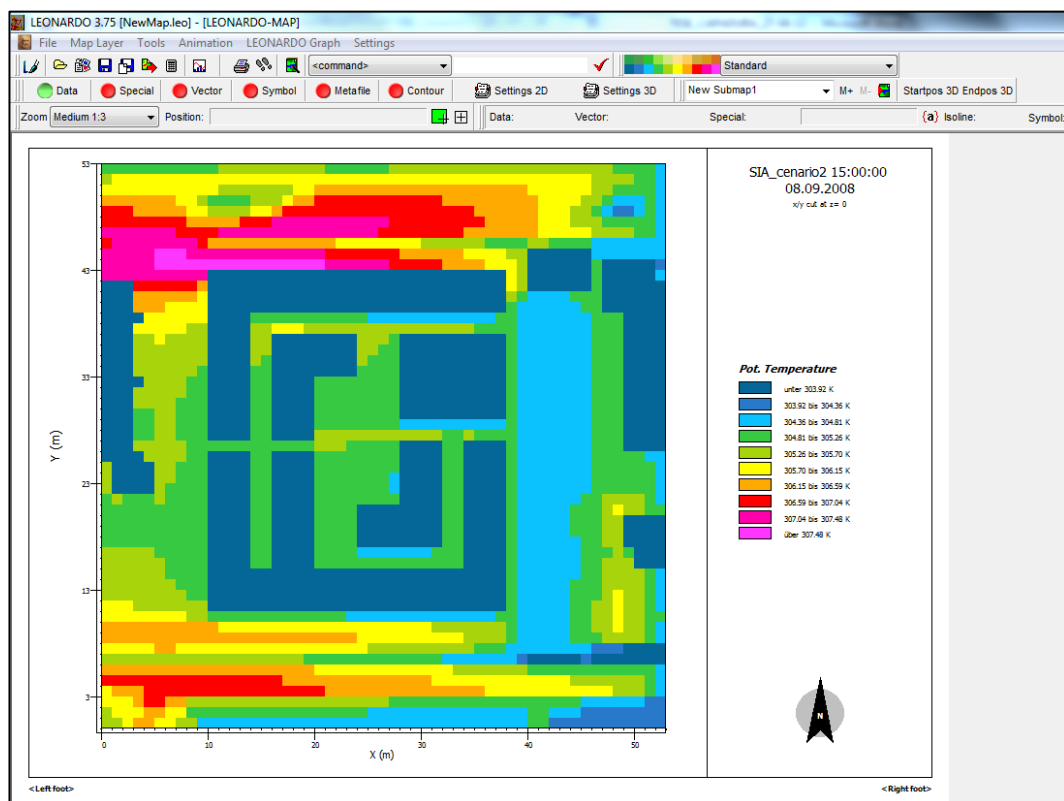


Figura 27 – Exemplo de mapa de dados utilizando o plugin Leonardo

#### 4.3.6 Sistematização dos dados de saída

Para a sistematização dos resultados utilizou-se a plataforma do programa Excel. As planilhas foram organizadas de modo a receber informação de orientação do tipo, proporção W/h da cavidade analisada e os valores de PMV segundo as horas do dia (Figura 28).

## capítulo 4: o processo de modelagem e simulação bioclimática

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'RESULTADOS\_TABULADOS\_PMV\_SET - Microsoft Excel'. The spreadsheet contains data for six models (Modelo 00, 01, 02, 03) and their respective orientations (Leste, Norte). Each model is evaluated at six time points: 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, and 21h. The data is presented in a grid format with columns for time and rows for models and orientations. The values range from -0,75 to 2,75. The cells are color-coded: green for positive values, red for negative values, and yellow for zero values.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h		Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h	
2		-0,25	1,75	1,75	2,25	2,75	0,75			0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	0,75	
3		-0,25	2,75	2,25	2,25	2,75	0,75			0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	0,75	
4		-0,25	2,75	2,25	2,25	2,75	0,75			0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	0,75	
5		-0,25	2,25	1,75	2,25	2,75	0,75			0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	1,25	
6		-0,25	2,25	1,75	2,25	2,75	0,75			0,25	1,25	1,75	2,75	1,75	1,25	
7		-0,25	2,75	2,25	2,25	2,75	0,75			0,25	1,25	1,75	2,75	1,75	0,75	
8	Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h		Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h	
9		-0,25	2,75	2,25	2,75	2,75	0,75			-0,75	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
10		-0,25	1,75	1,75	2,75	2,75	0,25			-1,25	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
11		-0,25	2,25	1,75	2,75	2,75	0,25			-1,25	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
12		-0,25	2,75	2,25	2,75	2,75	0,75			-0,75	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
13		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
14		-0,25	1,75	1,75	2,75	2,25	0,25			-1,25	-0,25	2,75	2,75	2,25	1,75	
15	Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h		Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h	
16		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,75	
17		-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25			-0,75	0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
18		-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25			-0,75	0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
19		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,75	
20		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,75	
21		-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25			-0,75	0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	
22	Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h		Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h	
23		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	
24		-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	
25		-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	
26		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	
27		-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	
28		-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25			-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	
29	Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h		Hora	6h	9h	12h	15h	18h	21h	

Figura 28 – Exemplo de dados de saída sistematizados em planilhas de Excel

#### 4.3.7 Configuração climática para simulação

Os períodos climáticos considerados para as simulações foram orientados por Romero (2000) quando sugere dois períodos climáticos diferentes: época seca e época úmida. Esses períodos climáticos foram sistematizados para a lógica da simulação computacional por Castelo Branco (2007), tendo os meses de setembro e janeiro como representativos dos períodos, respectivamente.

#### 4.4 Requisitos mínimos para simulação

Os requisitos mínimos para a simulação participam da criação do arquivo de configuração climática exigido pelo programa *ENVI-met*, além da definição dos horários de simulação.

Os horários definidos para a simulação buscaram abrangerem a maior parte do dia: 6 h, 9 h, 12 h, 15 h, 18 h e 21 h. Foram registradas as simulações para cada 3 h em virtude de orientação técnica da Organização de Meteorologia Mundial. Num segundo momento, um horário para cada turno do dia foi selecionado para uma análise pormenorizada.

Antes do início do processo de simulação, são marcados os parâmetros a serem avaliados. Para estas simulações, foi selecionado exclusivamente o índice “PMV-value”

parâmetro que já é oferecido pelo programa *ENVI-met* como uma das opções de *output*. A partir disso, o programa utiliza algoritmo de cálculo segundo a fórmula de Fanger para o PMV, parâmetro adotado para a avaliação do grau de conforto térmico.

A configuração climática para a cidade de Brasília a ser utilizada no programa será calibrada partindo dos valores pesquisados por Castelo Branco (2009).

Além dos trabalhos realizados no contexto do LaSUS como o Estudo de Impacto de Vizinhança da Região do Gama de Silva e Romero (2009), em que os valores de configuração climática do programa *ENVI-met* foram validados no estudo de caso no qual a equipe de pesquisadores desenvolveu medição de parâmetros microclimáticos comparativamente aos valores simulados no programa computacional (SILVA e ROMERO, 2009; SILVA et al, 2010).

Quadro 11 - Configuração básica do programa *ENVI-met*

DADOS	ÉPOCA SECA	ÉPOCA ÚMIDA
<b>Dia típico</b>	08.09.2008	13.01.2009
<b>Horário de início de simulação</b>	6h	6h
<b>Velocidade do vento a 10 m [m/s]</b>	1,4	1,2
<b>Direção do Vento (0:N.90:E.180:S.270:W)</b>	90°	315
<b>Rugosidade da superfície de referência</b>	1	1
<b>Temperatura atmosférica inicial [K]</b>	311	309
<b>Umidade específica a 2.500m [gWater/kg air]</b>	5,05	9,66
<b>Umidade relativa a 2m [%]</b>	17	61

Fonte: CASTELO BRANCO (2009, p. 46)

Configuração PMV	Dados
Velocidade de caminhada do pedestre	0,3 m/s
Energia e Metabolismo do pedestre	116
Índice de percentual de vestimenta	0,5

Os dados que alimentam a configuração climática do programa são pesquisados na estação climatológica de referência da cidade, no caso de indisponibilidade desses dados, são utilizados dados oficiais disponibilizados nas estações dos aeroportos, neste caso, o Aeroporto de Brasília. Ressalta-se que os dados apresentados na tabela como conformadores da configuração climática de Brasília foram avaliados em várias situações

durante uma ampla pesquisa desenvolvida no âmbito do LaSUS (Silva e Romero, 2009), dessa forma, passou-se a ter alguma confiabilidade dos dados obtidos por Castelo Branco (2009).

#### 4.4.1 Horários de simulação analisados

Os tipos avaliados foram simulados durante as 24h de um dia do período seco de Brasília. Na extração de dados simulados foram salvas as horas das 6h às 21h. Para o adequado tratamento dos dados nesses diferentes horários, analisou-se as respostas das simulações para 6 horas durante o dia; 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h. Os horários inicial e final selecionados foram desprezados num primeiro momento, uma vez que os valores de conforto e desconforto eram bastante uniformes, ou seja, tornavam inviável qualquer tipo de comparação. Dessa forma, restaram os horários: 9h, 12h, 15h e 18h, mais representativos da pesquisa. Com a finalidade de destacar os horários cujas mudanças de microclima sejam mais sensíveis, percebeu-se que o horário inicial da manhã (9h) e o final da tarde (18h) mantiveram um alto grau de variação em relação aos diferentes aspectos levantados. Assim, pesquisas semelhantes desenvolvidas na área do microclima urbano endossam a definição de utilizar o horário das 18h da tarde. Ballester-Olms (2010) afirma que os contrastes térmicos são mais sensíveis no final da tarde, o que pode ser endossado nesta pesquisa, quando os horários das 18h foram aqueles cujos tipos destacaram mais claramente as áreas que elevaram o grau de desconforto na maioria dos tipos analisados.

#### 4.5 Considerações finais do capítulo

Este capítulo originou o conceito de simulação bioclimática, conceituada como o processo de simulação computacional que avalia estratégias ambientais visando o conforto humano.

Observa-se que programa *ENVI-met* concentra a modelagem e a simulação, o que facilita o processo de trabalho, evitando o uso de outra ferramenta. Logo, o próprio programa é o responsável pela geração de todos os dados modelados e simulados. Outra vantagem está na simplificação no processo de modelagem e na gratuidade para o desenvolvimento das simulações.

Posteriormente ao processo de modelagem e à inserção de todas as configurações na interface computacional do *ENVI-met*, deu-se início a um longo processo de simulação propriamente dita, onde os arquivos foram processados em computadores específicos do Laboratório de pesquisa (LaSUS).

Foram totalizadas cerca de quarenta e duas simulações com duração média de cinco horas cada, o que resultou em mais de 210 horas de simulações gerando 252 mapas com mais de 1.512 dados; devido à variação das configurações que foram analisadas. Ao todo, foram realizadas 21 simulações com eixo norte mais 21 para o eixo leste totalizando 42 tipos. Cada tipo foi submetido à avaliação com seis diferentes materiais urbanos, ao final, tem-se 252 simulações realizadas.

O próximo capítulo apresenta os dados obtidos com as simulações de conforto térmico realizadas a partir das cavidades urbanas modeladas. Com esses dados, obteve-se um grande banco de informações técnicas contendo o desempenho térmico de diferentes morfologias urbanas, essas, por sua vez, compostas por diferentes materiais urbanos, todos submetidos ao contexto climático do Distrito Federal.

Dessa forma, analisa-se o desempenho de diferentes frações urbanas quanto ao seu nível de conforto térmico, para que, num segundo momento, possa se direcionar diretrizes específicas comprometidas com a construção do espaço urbano com mais qualidade ambiental do ponto de vista do conforto térmico.





## Capítulo 5

### 5. O Desempenho do Conforto Térmico de Cavidades Urbanas

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir das simulações de desempenho térmico realizadas. Para isso, exibe os dados de simulação extraídos por meio dos mapas gerados no programa Leonardo além dos resultados da simulação desenvolvida para obter respostas do desempenho de conforto térmico de cavidades urbanas. Os dados estão organizados em quadros que contribuem para uma leitura mais direta dos resultados de todos os diferentes tipos de cavidades urbanas analisadas, com orientação, alturas e configurações quanto ao revestimento do solo diferentes.

## 5.1 Sistematização dos resultados

Na sistematização dos resultados são apresentadas as tabelas que reúnem os resultados de todos os cenários avaliados, com as duas orientações e com os seis diferentes materiais que conformam o solo. Para a compreensão dos níveis de conforto de um modo didático, criou-se uma codificação do valor de PMV. Assim, os números extraídos das simulações são facilmente alocados em sua devida categoria. Para isso, cada patamar do nível de conforto possui um valor de referencia que representa o seu resultado. Ressalta-se que o valor mínimo de frio existente na tabela é -1,0, que equivale ao menor valor proveniente das simulações, a saber:

Tabela 4 – Dados de PMV dos tipos de 01 a 07.

Valor de PMV	Valor Codificado <sup>20</sup>	Status
<b>-1,0 até -0,5</b>	-0,75	Levemente frio
-0,5 até - 0	<b>-0,25</b>	<b>Confortável</b>
0 - 0,5	<b>0,25</b>	<b>Confortável</b>
<b>0,5 – 1,0</b>	0,75	Levemente quente
<b>1,0 – 1,5</b>	1,25	Pouco quente
<b>1,5 – 2,0</b>	1,75	Quente
<b>2,0 – 2,5</b>	2,25	Muito quente
<b>2,5 – 3,0</b>	2,75	Extremamente quente

O desempenho de conforto térmico das diversas cavidades avaliadas será apresentado segundo os seus materiais componentes, num total de seis, são eles: árvore, asfalto, concreto, grama, pedra e solo natural. Cada uma das configurações foi simulada para duas diferentes orientações em relação ao sol, sentido norte-sul e sentido leste-oeste.

São apresentados gráficos com os resultados de índices PMV para as cavidades orientadas para leste-oeste (lado esquerdo) e para cavidades orientadas com sentido norte-sul (lado direito). Os tipos de cavidades são organizados de M0, que recebeu o número 01, até o tipo 20, que recebeu o número 21.

Os resultados são apresentados seguindo o índice PMV de Fanger, que parte do valor 0 (zero) que significa estado de conforto máximo até nível 3 (três) que significa estado de desconforto máximo. As variações podem ser compreendidas desde o status de confortável (zero) ao status extremamente quente (3) (Tabela 5).

<sup>20</sup> Os valores codificados tratam-se de valores que representam a média simples dentre dois valores limites para o status de conforto. Dessa forma, cada modelo possui um valor de referencia, que, por sua vez, representa um valor exato nos cálculos efetuados com os valores de PMV, além de representar uma cor exata na legenda.

Tabela 5 – Tabela do status do índice PMV

Valor de PMV	Status
0 - 0,5	<b>Confortável</b>
<b>0,5 – 1,0</b>	Levemente quente
<b>1,0 – 1,5</b>	Pouco quente
<b>1,5 – 2,0</b>	Quente
<b>2,0 – 2,5</b>	Muito quente
<b>2,5 – 3,0</b>	Extremamente quente

Adaptado de Hirashima (2010)

Posteriormente a esta tabulação, foi atribuída uma pontuação que visou quantificar o bom desempenho em relação ao conforto térmico de modo mais direto. Para isso, a pontuação proposta traz números com pesos inversamente proporcionais aos valores de Fanger, fazendo com que os valores baixos de PMV, que representam o bom desempenho, assumam o maior valor da pontuação 5, e os valores mais altos de PMV, que representam o pior desempenho, assumam os valores mais baixos da pontuação, neste caso, zero.

Como exemplo, cita-se que o valor de PMV considerado como extremamente quente, que na variação de Fanger tem valor máximo no valor de 3 (PMV) recebe pontuação 0 (zero), e os tipos que, segundo Fanger, estão entre 0 e 0,5, o que é considerado como estado de conforto térmico, recebem pontuação máxima 5 (cinco). Os outros pontos estão arrolados correlacionando os valores de PMV com a pontuação criada (Tabela 6).

Tabela 6 – Pontuação do status de conforto

Valor de PMV	Status	Pontuação
-0,5 – 1,0	Levemente frio	4
-0,5 - 0	<b>Confortável</b>	<b>5</b>
0 - 0,5	<b>Confortável</b>	<b>5</b>
<b>0,5 – 1,0</b>	Levemente quente	4
<b>1,0 – 1,5</b>	Pouco quente	3
<b>1,5 – 2,0</b>	Quente	2
<b>2,0 – 2,5</b>	Muito quente	1
<b>2,5 – 3,0</b>	Extremamente quente	0

A partir da categorização dos valores de PMV de acordo com o status de grau de conforto térmico, pode-se diferenciar os status como uma condição aceitável ou inaceitável para o conforto térmico. O que indica que alguns tipos de cavidades representem situações aceitáveis para o conforto térmico e situações inaceitáveis para o conforto térmico. Esta diferenciação poderá direcionar intervenções no desenho urbano,

tento como prioridade as situações inaceitáveis apontadas aqui. A pontuação que representa o status quente, muito quente e extremamente quente são considerados inaceitáveis para o conforto térmico.

## 5.2 Resultados gerais das simulações

A análise de conforto térmico desta tese foi baseada no índice de conforto de Fanger e são apresentadas em quatro diferentes formatos, a saber:

- Resultados tabulados em médias diárias;
- Resultados de horários específicos;
- Gráficos de manchas de distribuição;
- Quadros de dados;

Os cenários foram submetidos a simulações no período seco do clima de Brasília, em que o mês típico é setembro. Os edifícios foram modelados em duas orientações predominantes: eixo leste-oeste e eixo norte-sul. Os gráficos de simulação foram gerados para 6 horas diárias, das 6h até às 21h, com o intuito de abranger a maior parte das horas de maior utilização do espaço público, além de seguir recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos de clima urbano.

### 5.2.1 Resultados em Médias Diárias (Tabelas)

Com a finalidade de sistematizar os dados extraídos das simulações, os valores encontrados foram organizados em tabelas, que apresentam os dados para os 21 tipos analisados para a orientação leste-oeste. Para a extração de dados, como foram analisadas 6 horas por tipo, ao final, obteve-se 1506 imagens geradas e agrupadas por tipos, totalizando em 42 figuras. As simulações foram desenvolvidas para o período climático crítico, no caso de Brasília, representado pelo mês de setembro.

Os valores são apresentados por orientação, material, hora e com suas respectivas médias. (Tabela 7 a Tabela 12).

Tabela 7 – Dados de PMV dos tipos de 01 a 07

N	Modelo	Orientação	Material	6h	9h	12h	15h	18h	21h	DP_1	Total 1	PMV		DP_2
												Médio 1	Médio 2	
1	M01	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	1,75	1,75	2,25	2,75	0,75	1,084	9	1,50	1,65	1,07
	M01	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	2,75	2,25	2,25	2,75	0,75	1,225	10,5	1,75		
	M01	LESTE-OESTE	Terra	-0,25	2,75	2,25	2,25	2,75	0,75	1,225	10,5	1,75		
	M01	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,25	1,75	2,25	2,75	0,75	1,125	9,5	1,58		
	M01	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,25	1,75	2,25	2,75	0,75	1,125	9,5	1,58		
	M01	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	2,75	2,25	2,25	2,75	0,75	1,225	10,5	1,75		
2	M01L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,25	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83	1,68	1,17
	M01L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	1,75	2,75	2,75	0,25	1,255	9	1,50		
	M01L	LESTE-OESTE	Terra	-0,25	2,25	1,75	2,75	2,75	0,25	1,291	9,5	1,58		
	M01L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,25	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M01L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M01L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	1,75	2,75	2,25	0,25	1,169	8,5	1,42		
3	M02L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,76	1,31
	M02L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M02L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M02L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M02L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M02L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
4	M03L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,76	1,31
	M03L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M03L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M03L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M03L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M03L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
5	M04L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,76	1,31
	M04L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M04L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M04L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M04L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M04L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
6	M05L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,76	1,31
	M05L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M05L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M05L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M05L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M05L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
7	M06L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,76	1,31
	M06L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M06L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M06L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M06L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M06L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		

Tabela 8 – Dados de PMV dos tipos 08 a 14

8	M07L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,81	1,23
	M07L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M07L	LESTE-OESTE	Terra	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,378	10,5	1,75		
	M07L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M07L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M07L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
9	M08L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M08L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M08L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M08L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M08L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M08L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
10	M09L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M09L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M09L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M09L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M09L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M09L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
11	M10L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M10L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M10L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M10L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M10L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M10L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
12	M11L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M11L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M11L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M11L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M11L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M11L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
13	M12L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M12L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M12L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M12L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M12L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M12L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
14	M13L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M13L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M13L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M13L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M13L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M13L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		

## capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

Tabela 9 – Dados de PMV dos tipos de 15 a 21

15	M14L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,47	1,48
	M14L	LESTE-OESTE	Árvore	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
	M14L	LESTE-OESTE	Terra	-1,25	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,751	8,5	1,42		
	M14L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M14L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M14L	LESTE-OESTE	Gramma	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
16	M15L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M15L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M15L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M15L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M15L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M15L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
17	M16L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,47	1,48
	M16L	LESTE-OESTE	Árvore	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
	M16L	LESTE-OESTE	Terra	-1,25	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,751	8,5	1,42		
	M16L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M16L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M16L	LESTE-OESTE	Gramma	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
18	M17L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M17L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M17L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M17L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M17L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M17L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
19	M18L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,47	1,48
	M18L	LESTE-OESTE	Árvore	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
	M18L	LESTE-OESTE	Terra	-1,25	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,751	8,5	1,42		
	M18L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M18L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M18L	LESTE-OESTE	Gramma	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
20	M19L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92	1,79	1,26
	M19L	LESTE-OESTE	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
	M19L	LESTE-OESTE	Terra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M19L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M19L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	0,75	1,329	11,5	1,92		
	M19L	LESTE-OESTE	Gramma	-0,25	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,357	10	1,67		
21	M20L	LESTE-OESTE	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,47	1,48
	M20L	LESTE-OESTE	Árvore	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		
	M20L	LESTE-OESTE	Terra	-1,25	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,751	8,5	1,42		
	M20L	LESTE-OESTE	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M20L	LESTE-OESTE	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M20L	LESTE-OESTE	Gramma	-1,25	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,673	7,5	1,25		



## capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

Tabela 10 – Dados de PMV dos tipos 21 a 28

N	Modelo	Orientação	Material	6h	9h	12h	15h	18h	21h	DP_1	Total 1	PMV		
												Médio 1	Médio 2	DP_2
22	M00N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	0,75	0,736	8	1,33	1,39	0,70
	M00N	NORTE-SUL	Árvore	0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	0,75	0,736	8	1,33		
	M00N	NORTE-SUL	Terra	0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	0,75	0,736	8	1,33		
	M00N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	1,25	1,75	2,25	1,75	1,25	0,683	8,5	1,42		
	M00N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	1,25	1,75	2,75	1,75	1,25	0,822	9	1,50		
	M00N	NORTE-SUL	Gramma	0,25	1,25	1,75	2,75	1,75	0,75	0,876	8,5	1,42		
23	M01N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	-0,3	2,75	2,75	2,75	1,75	1,605	9	1,50	1,44	1,52
	M01N	NORTE-SUL	Árvore	-1,25	-0,3	2,75	2,75	2,75	1,75	1,751	8,5	1,42		
	M01N	NORTE-SUL	Terra	-1,25	-0,3	2,75	2,75	2,75	1,75	1,751	8,5	1,42		
	M01N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	-0,3	2,75	2,75	2,75	1,75	1,605	9	1,50		
	M01N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	-0,3	2,75	2,75	2,75	1,75	1,605	9	1,50		
	M01N	NORTE-SUL	Gramma	-1,25	-0,3	2,75	2,75	2,25	1,75	1,686	8	1,33		
24	M02N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,75	1,429	10	1,67	1,63	1,34
	M02N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	1,506	9,5	1,58		
	M02N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	1,506	9,5	1,58		
	M02N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,75	1,429	10	1,67		
	M02N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,75	1,429	10	1,67		
	M02N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	1,506	9,5	1,58		
25	M03N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58	1,58	1,31
	M03N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
	M03N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
	M03N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
	M03N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
	M03N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
26	M04N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58	1,54	1,28
	M04N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,369	9	1,50		
	M04N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,369	9	1,50		
	M04N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
	M04N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,438	9,5	1,58		
	M04N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	0,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,369	9	1,50		
27	M05N	NORTE-SUL	Pedra	-0,25	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,281	10	1,67	1,57	1,24
	M05N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	0,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,405	9	1,50		
	M05N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	0,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,405	9	1,50		
	M05N	NORTE-SUL	Concreto	-0,25	0,25	2,75	2,75	2,75	1,25	1,366	9,5	1,58		
	M05N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,25	0,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,281	10	1,67		
	M05N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	0,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,405	9	1,50		
28	M06N	NORTE-SUL	Pedra	-0,25	0,75	2,75	2,75	2,25	0,75	1,255	9	1,50	1,49	1,11
	M06N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,211	8,5	1,42		
	M06N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,211	8,5	1,42		
	M06N	NORTE-SUL	Concreto	-0,25	0,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,211	9,5	1,58		
	M06N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,25	0,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,211	9,5	1,58		
	M06N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,211	8,5	1,42		



## capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

Tabela 11 – Dados de PMV para os tipos 29 a 35

29	M07N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,084	9	1,50	1,71	1,06
	M07N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M07N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,211	8,5	1,42		
	M07N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M07N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M07N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
30	M08N	NORTE-SUL	Pedra	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,211	11,5	1,92	1,78	1,11
	M08N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	1,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,169	9,5	1,58		
	M08N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M08N	NORTE-SUL	Concreto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,211	11,5	1,92		
	M08N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,211	11,5	1,92		
	M08N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
31	M09N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00	1,79	1,05
	M09N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M09N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,211	8,5	1,42		
	M09N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M09N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M09N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
32	M10N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00	1,79	1,05
	M10N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M10N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	0,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,211	8,5	1,42		
	M10N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M10N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M10N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
33	M11N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00	1,85	1,05
	M11N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M11N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,265	10,5	1,75		
	M11N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M11N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M11N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
34	M12N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00	1,83	1,04
	M12N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M12N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M12N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M12N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M12N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
35	M13N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00	1,85	1,05
	M13N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		
	M13N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,75	2,75	2,75	1,75	0,75	1,265	10,5	1,75		
	M13N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M13N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,25	1,25	1,037	12	2,00		
	M13N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	1,75	0,75	1,201	10	1,67		

Tabela 12 – Dados de PMV para os tipos 36 a 42

36	M14N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	1,75	0,25	1,44	9	1,50	1,36	1,34
	M14N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	1,25	2,75	2,75	1,25	-0,25	1,463	7	1,17		
	M14N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	1,75	2,75	2,75	1,25	-0,25	1,483	7,5	1,25		
	M14N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	1,75	0,25	1,44	9	1,50		
	M14N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	1,75	0,25	1,402	8,5	1,42		
	M14N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		
37	M15N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08	1,96	1,09
	M15N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M15N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M15N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08		
	M15N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08		
	M15N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
38	M16N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,51	1,41
	M16N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		
	M16N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,605	9	1,50		
	M16N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M16N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M16N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		
39	M17N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08	1,96	1,09
	M17N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M17N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M17N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08		
	M17N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08		
	M17N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
40	M18N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,51	1,41
	M18N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		
	M18N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,605	9	1,50		
	M18N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M18N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M18N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		
41	M19N	NORTE-SUL	Pedra	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08	1,96	1,09
	M19N	NORTE-SUL	Árvore	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M19N	NORTE-SUL	Terra	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
	M19N	NORTE-SUL	Concreto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08		
	M19N	NORTE-SUL	Asfalto	0,25	2,75	2,75	2,75	2,75	1,25	1,08	12,5	2,08		
	M19N	NORTE-SUL	Gramma	-0,25	2,25	2,75	2,75	2,75	0,75	1,281	11	1,83		
42	M20N	NORTE-SUL	Pedra	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67	1,51	1,41
	M20N	NORTE-SUL	Árvore	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		
	M20N	NORTE-SUL	Terra	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	-0,25	1,605	9	1,50		
	M20N	NORTE-SUL	Concreto	-0,75	2,25	2,75	2,75	2,75	0,25	1,53	10	1,67		
	M20N	NORTE-SUL	Asfalto	-0,75	1,75	2,75	2,75	2,75	0,25	1,506	9,5	1,58		
	M20N	NORTE-SUL	Gramma	-0,75	1,25	2,75	2,75	2,25	-0,25	1,53	8	1,33		

### 5.3 Apresentação tridimensional dos resultados

Neste tópico são apresentados alguns exemplos da extração de dados do programa *ENVI-met* no formato tridimensional. Aqui, as cavidades urbanas ficam melhor evidenciadas. Para a construção desse tipo tridimensional foi preciso que os dados simulados fossem extraídos tanto para o plano X-Y, que representa a base de Romero

(2001), quanto para o plano X-Z, que representa o plano fronteira, também de Romero (2001). Para ampliar a compreensão acerca do desempenho dos tipos avaliados, opta-se por representar esse desempenho conjugada a uma apresentação tridimensional do objeto de análise em alguns exemplos, elaborados em programa de modelagem 3D simplificado, como o SketchUp<sup>21</sup>.

Esta análise mostra que o desempenho climático na cavidade tem valores mais uniformes quando o revestimento do solo é impermeável como o concreto, a pedra e o asfalto, que estão presentes no tipo 02 (Figura 29, Figura 32 e Figura 33). O tipo apresenta valores menos uniformes e mais amenos quando são compostos por elementos mais permeáveis, como a árvore, a terra e a grama (Figura 30, Figura 31 e Figura 34), também presentes no tipo 02. Isto mostra a importante contribuição da permeabilidade do solo na manutenção do microclima mais próximo ao estágio de conforto. Para esta representação tridimensional escolheu-se o tipo 02, simulado para as 9h do mês de setembro.

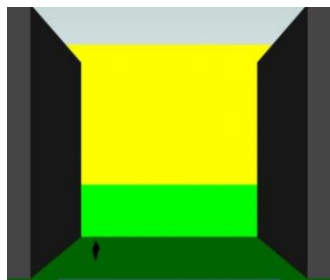


Figura 29 - Representação de PMV para Pedra, às 9h do Tipo 02L.

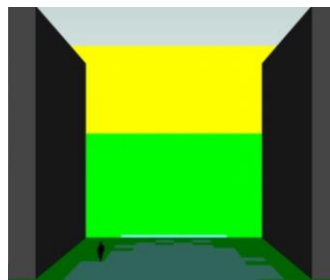


Figura 30 - Representação de PMV para Árvore, às 9h do Tipo 02L.

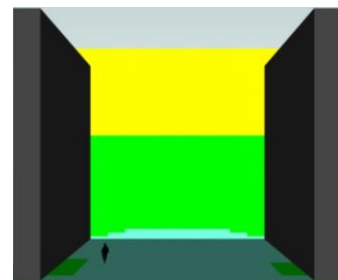


Figura 31 - Representação de PMV para Terra, às 9h do Tipo 02L.

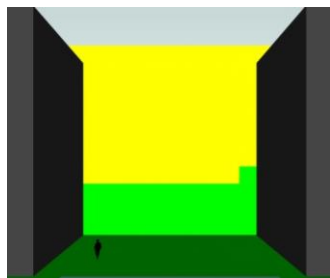


Figura 32 - Representação de PMV para Concreto, às 9h do Tipo 02L.

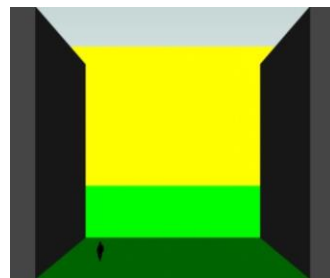


Figura 33 - Representação de PMV para Asfalto, às 9h do Tipo 02L.

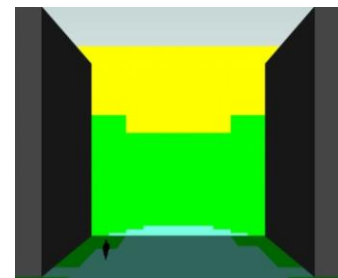


Figura 34 - Representação de PMV para Grama, às 9h do Tipo 02L.

-∞ a - 2,5	-2,5 a 2,0	-2,0 a - 1,5	-1,5 a - 1,0	-1,0 a - 0,5	-0,5 a 0
0 a 0,5	0,5 a 1,0	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5	2,5 a ∞

Figura 35 - Legenda de cores dos níveis de PMV

<sup>21</sup> Programa gratuito, adquirido pela empresa Google Corporate no ano de 2011, representa 50% do mercado no quesito modelagem tridimensional não paramétrica.

A partir dessas representações em terceira dimensão, foi possível identificar a abrangência do efeito térmico dos materiais conformadores das cavidades, que, mesmo os mais permeáveis (grama, árvore, solo natural) possuem valores de PMV considerados desconfortáveis. Mais especificamente nestas simulações desenvolvidas, nas quais as propriedades térmicas dos edifícios não foram configuradas, percebe-se que o microclima do pedestre está condicionado diretamente ao microclima que se processa com o solo, com o elemento base do desenho urbano. Sendo assim, as análises da tese utilizaram sempre a extração de dados no plano base, plataforma x y do programa de simulação no momento de extração de mapas.

#### 5.4 Apresentação dos mapas de resultados

Apresentam-se aqui os resultados das simulações em figuras, organizados em quadros-resumo. Para esta organização, definiram-se duas horas específicas em que os valores de PMV fossem representativos para demonstrar o conforto térmico nos horários determinados da manhã e a tarde. Esses horários foram 9h para a manhã e 18h para a tarde. O quadro registra, portanto, os valores de PMV para os horários estratégicos, estabelece uma média entre eles e indica a amplitude total durante os horários e materiais diferentes (Quadro 12).

QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DO MODELO DE CAVIDADE URBANA									
MODELO XX	ORIENTAÇÃO	NORTE ou LESTE	DESENHO ESQUEMÁTICO						
	PERÍODO	SECA ou CHUVA	CROQUI REPRESENTANDO O MODELO ANALISADO						
	LARGURA - W (m)	0							
	ALTURA (H)	0,0							
	VALOR W/H	0,0							
	DESEMPENHO POR MATERIAIS								
	Pedra	Árvore	Terra	Concreto	Asfalto	Grama			
MANHÃ (9h)	MAPAS DE REPRESENTAÇÃO								
PMV	VALORES DE PMV (9h)								
TARDE (18h)	MAPAS DE REPRESENTAÇÃO								
PMV	VALORES DE PMV (18h)								
PMV DIÁRIO	MÉDIA ARITMÉTICA (9h e 18h)								
LEGENDA		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	AMPLITUDE TOTAL VALOR

Quadro 12 – Esquema do quadro resumo com as informações de simulação

#### 5.4.1 Resultados horários – manhã e tarde

Além desta definição, as figuras são apresentadas reunindo os mapas de resultados para os seis diferentes elementos constituintes no revestimento do solo das cavidades, na seguinte ordem: pedra, árvore, terra, concreto, asfalto e grama. A ordem de apresentação dos materiais seguiu a ordem em que os mesmos aparecem no quadro de configuração do programa de modelagem, ou seja, tratou-se de uma estratégia de racionalizar o tempo no momento da criação do tipo. Não há, portanto, uma lógica de apresentação associada às propriedades dos materiais.

As figuras estão organizadas segundo a orientação das cavidades. Sendo as primeiras a serem apresentadas as orientadas para o eixo leste-oeste e em seguida, as cavidades orientadas para o eixo norte-sul.

#### 5.4.2 Resultados organizados em quadros

O quadro apresenta e organiza os mapas extraídos do Leonardo para os horários das 9h e para às 18h. O quadro ainda reúne os 6 tipos de materiais, e está separado segundo a orientação dos tipos, sendo apresentado inicialmente os cenários de orientação Leste (Figura 36), seguidos dos quadros com os resultados para os cenários de orientação Norte (Figura 37).

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

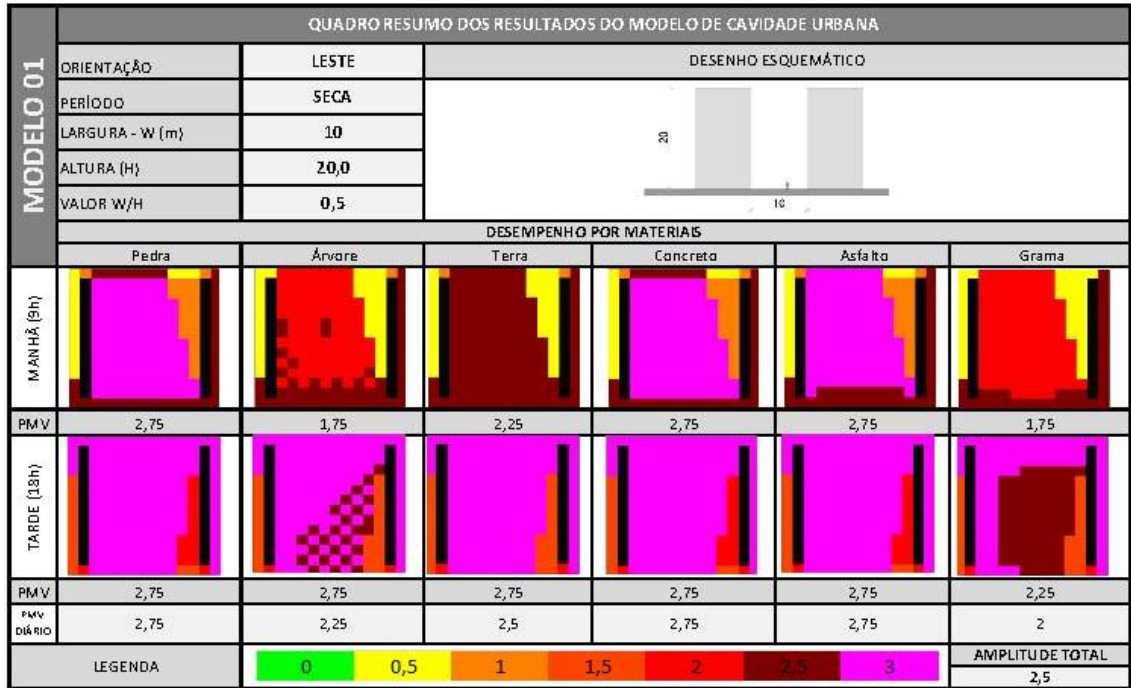


Figura 36 – Resultados do desempenho do tipo 01 de orientação leste

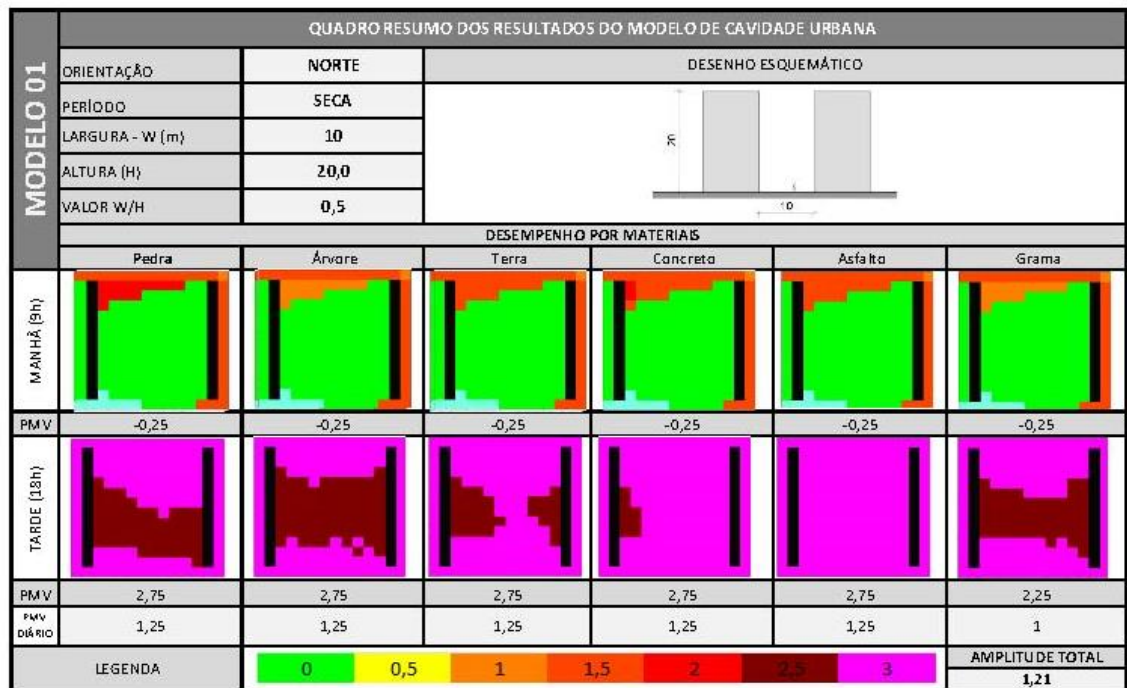


Figura 37– Resultados do desempenho do tipo 01 de orientação norte



capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

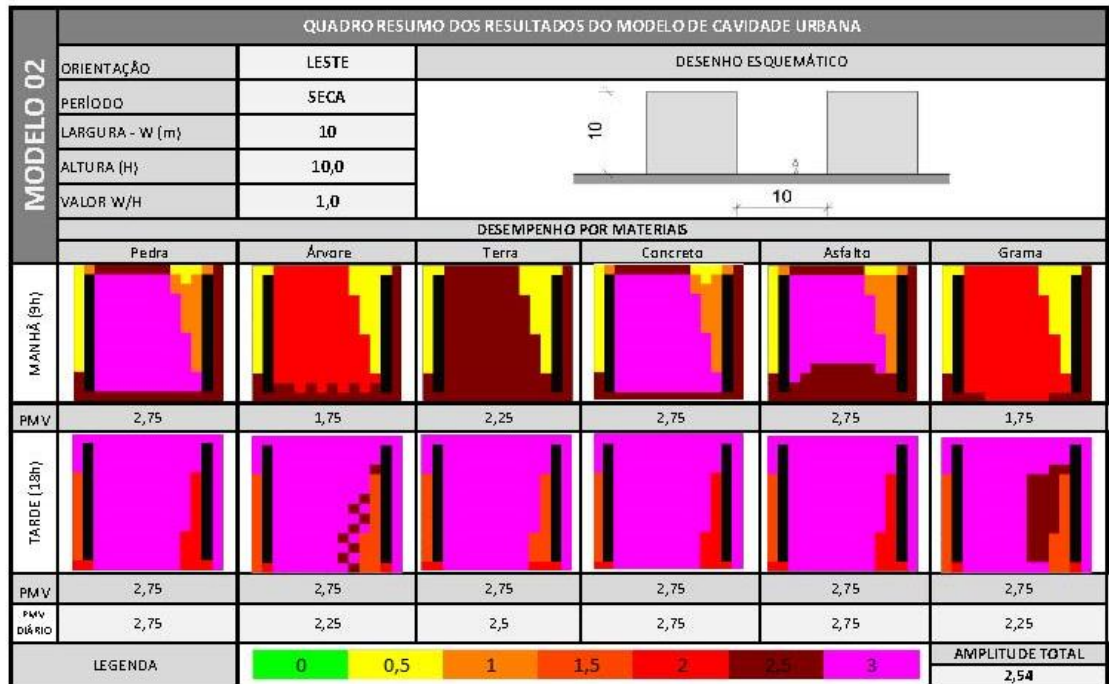


Figura 38 – Resultados do desempenho do tipo 02 de orientação leste

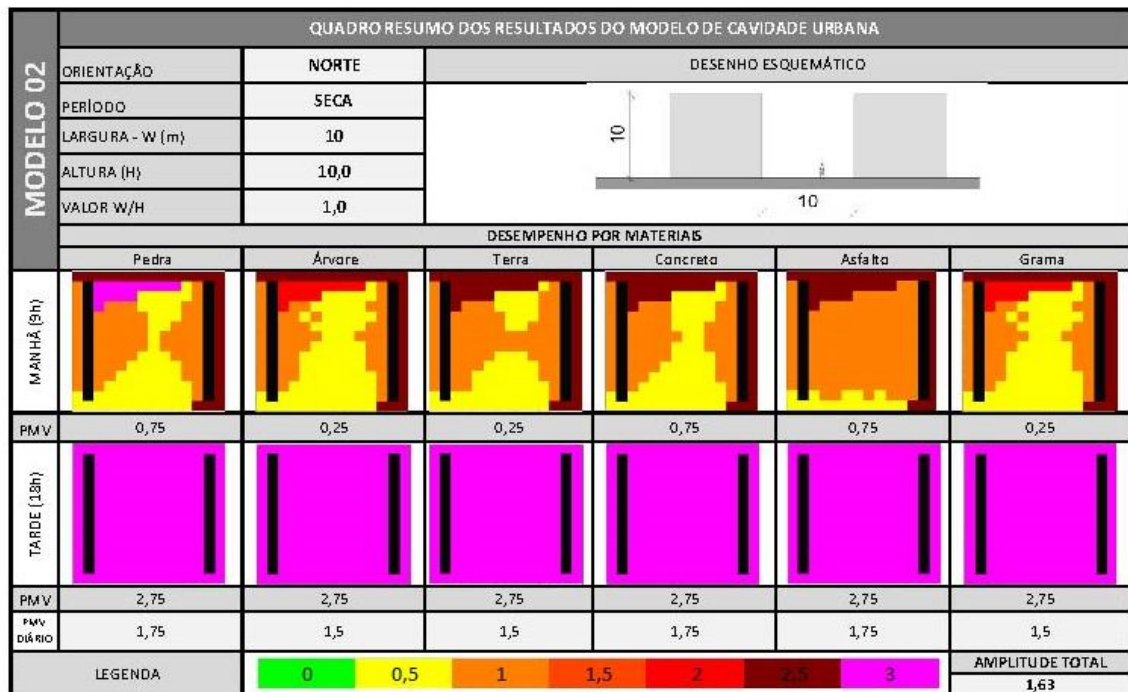


Figura 39 - Resultados do desempenho do tipo 02 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

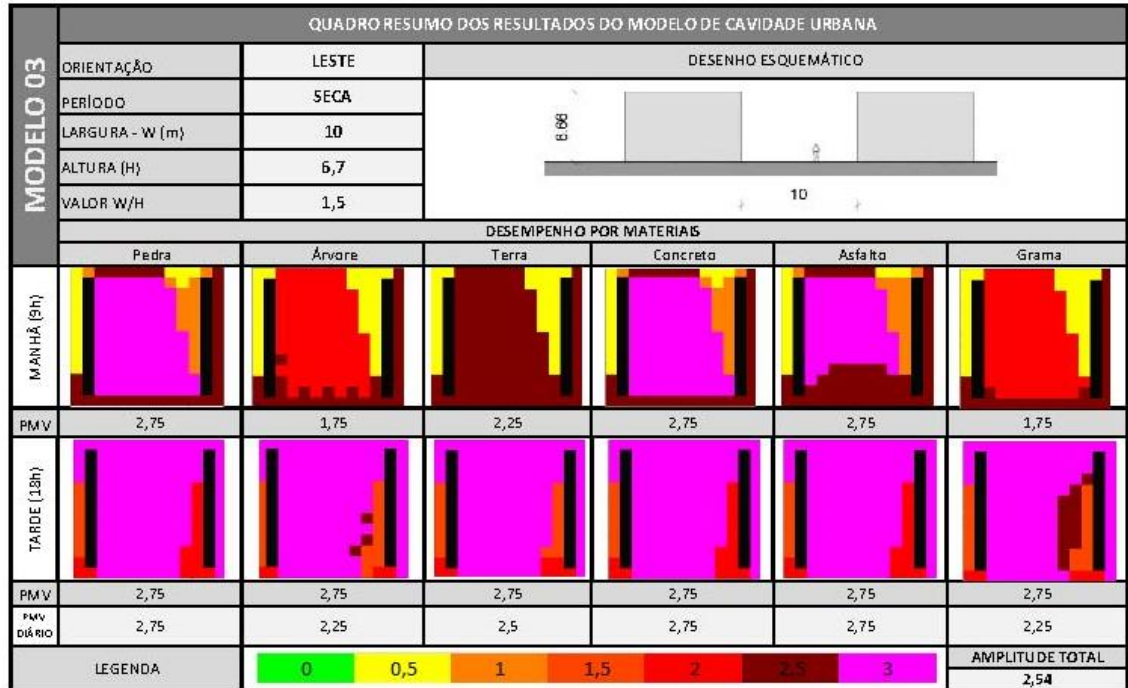


Figura 40 - Resultados do desempenho do tipo 03 de orientação leste

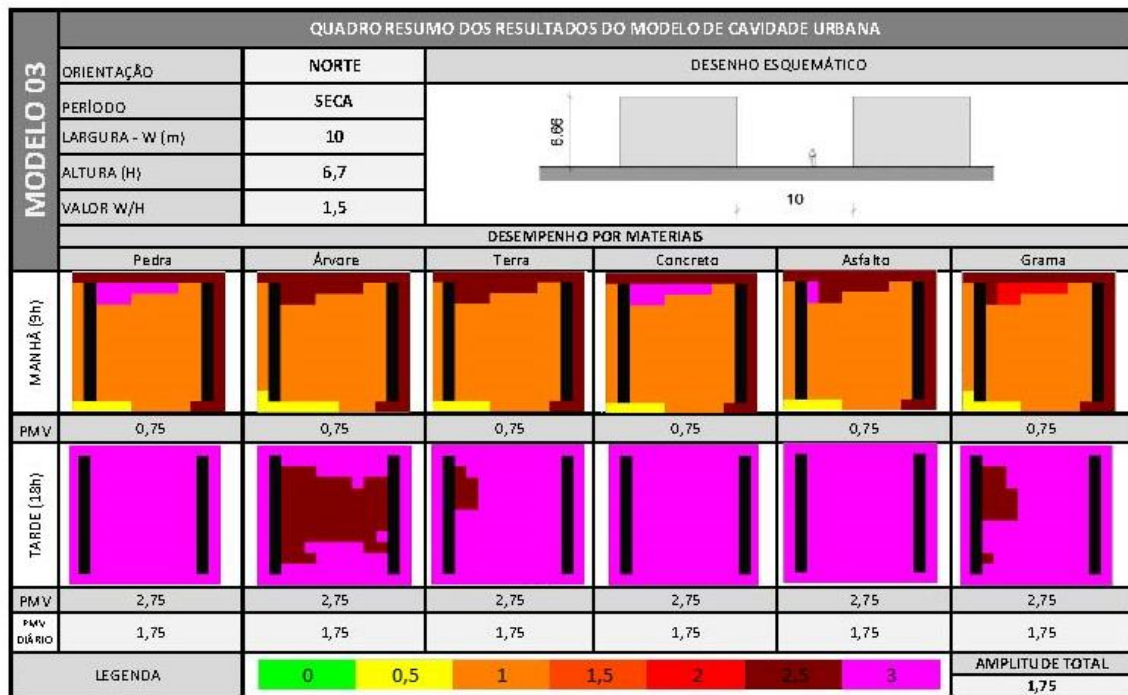


Figura 41 - Resultados do desempenho do tipo 02 de orientação norte



capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

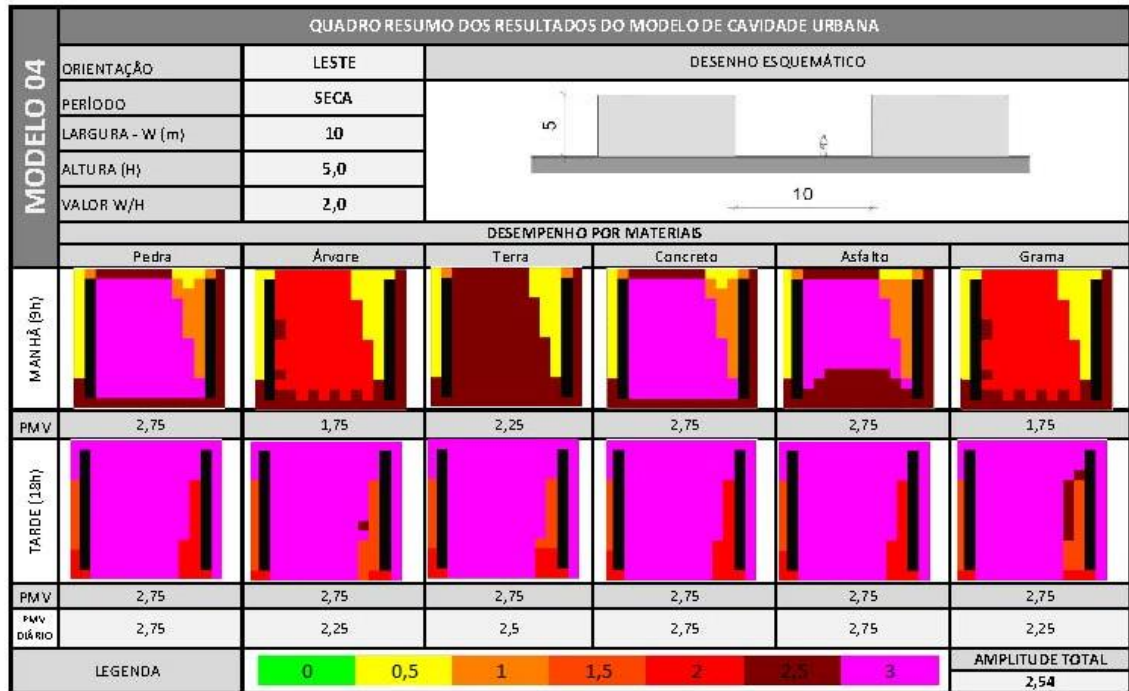


Figura 42 - Resultados do desempenho do tipo 04 de orientação leste

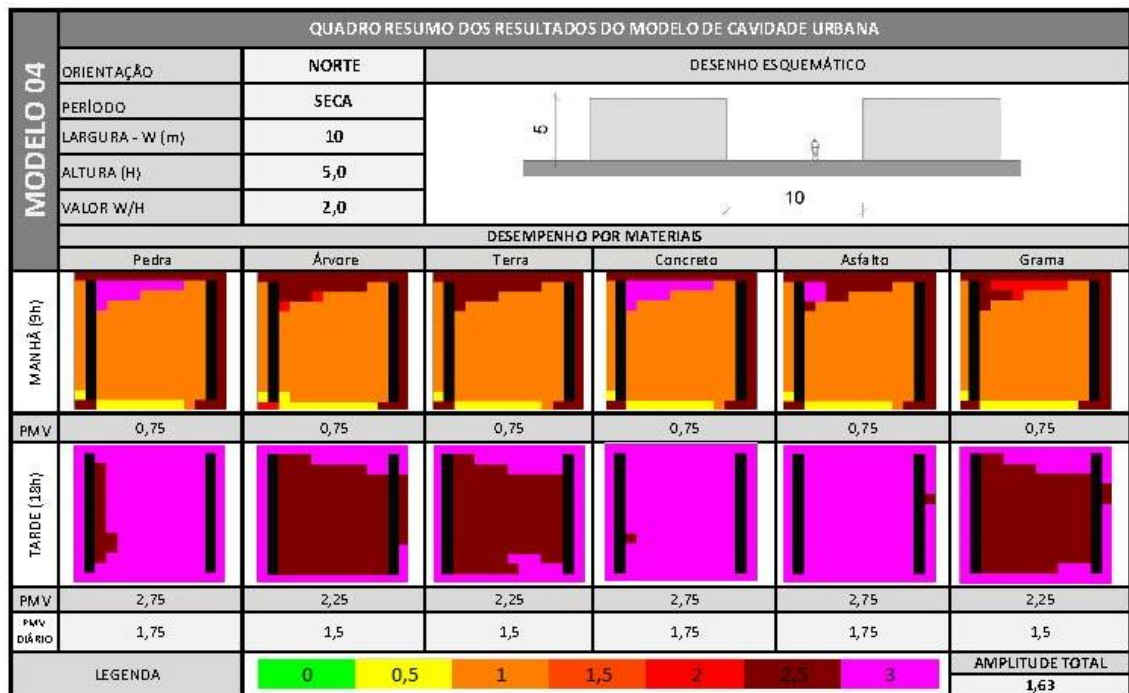


Figura 43 - Resultados do desempenho do tipo 04 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

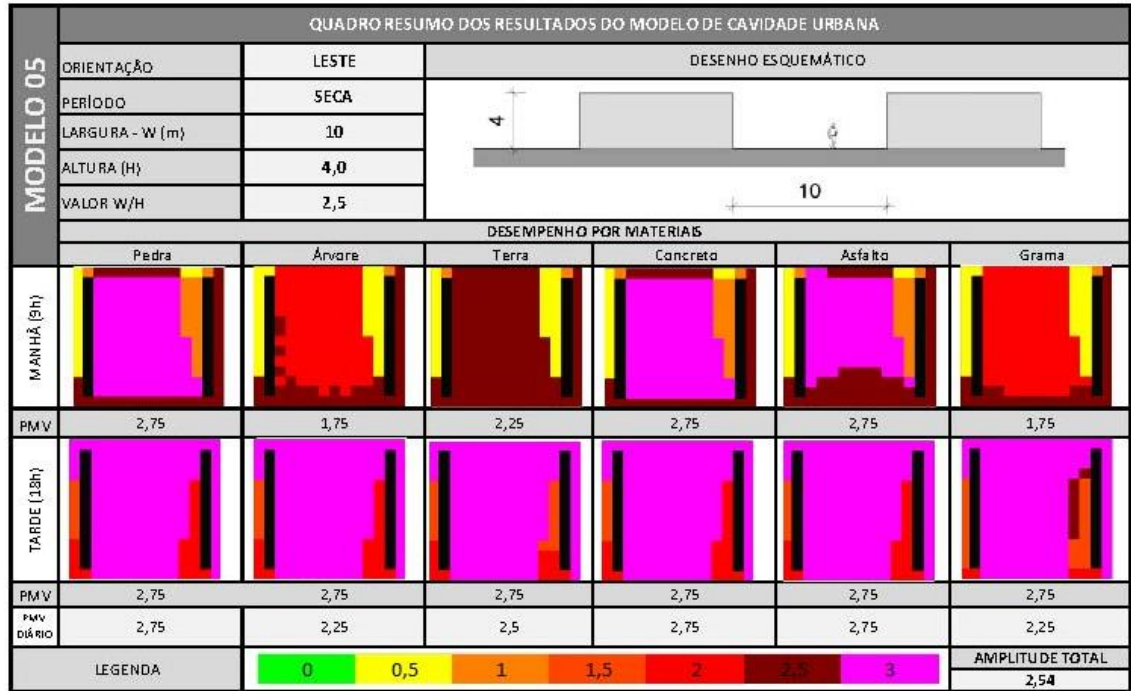


Figura 44 - Resultados do desempenho do tipo 05 de orientação leste

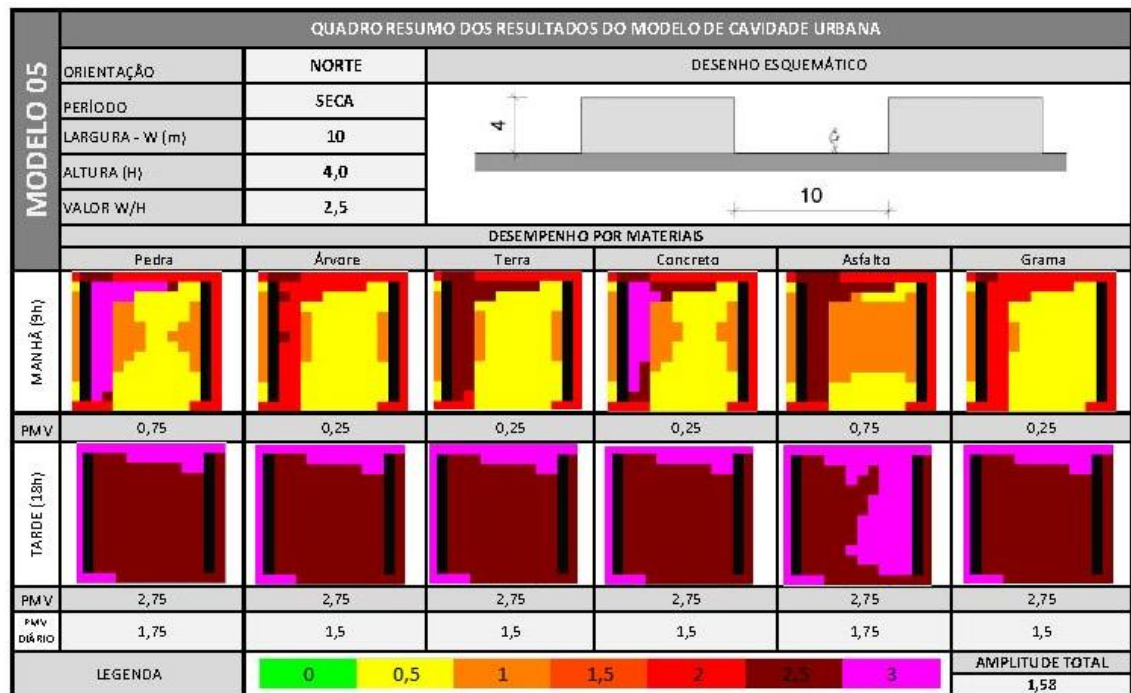


Figura 45 - Resultados do desempenho do tipo 05 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

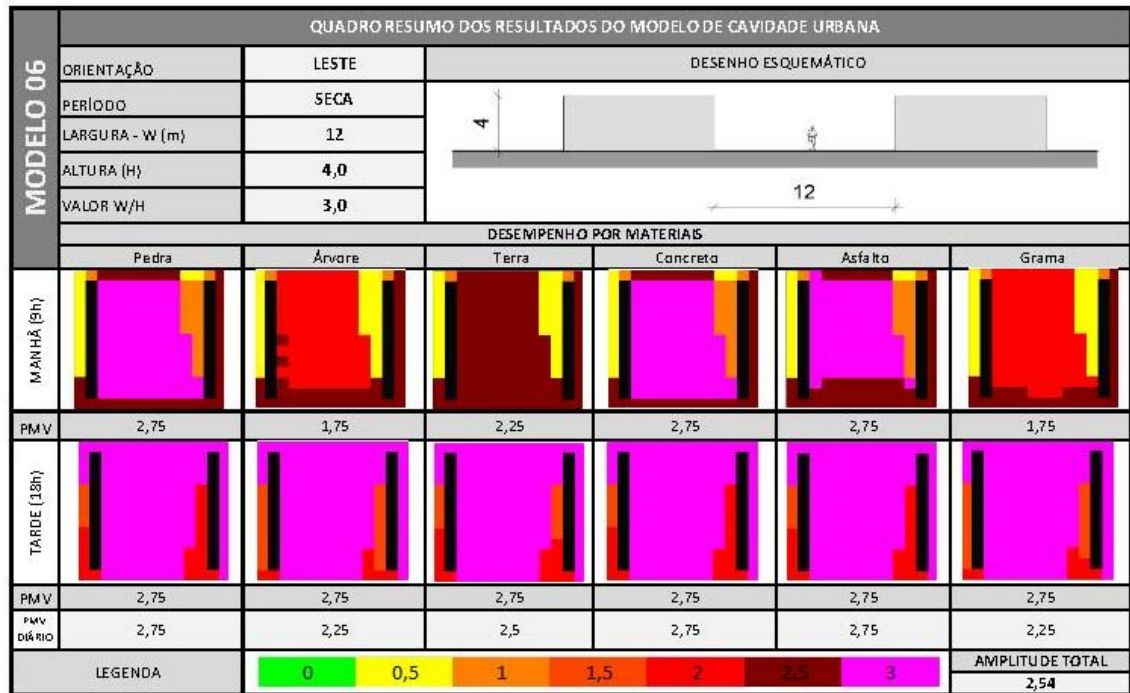


Figura 46 - Resultados do desempenho do tipo 06 de orientação leste

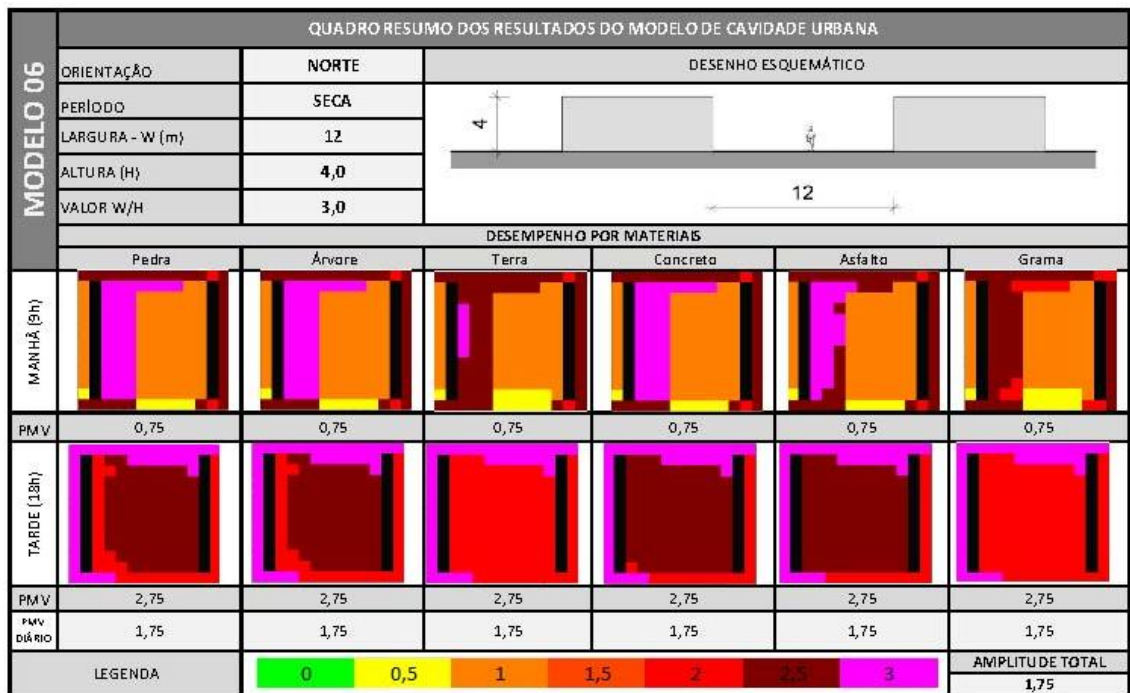


Figura 47 - Resultados do desempenho do tipo 06 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

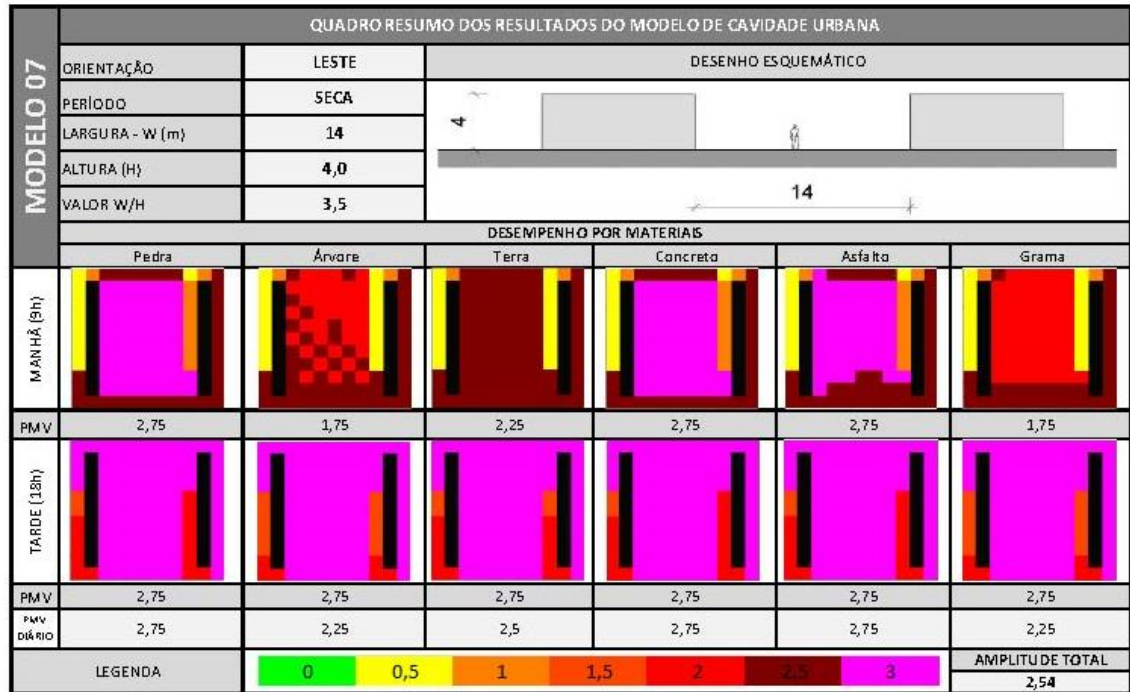


Figura 48 - Resultados do desempenho do tipo 07 de orientação leste

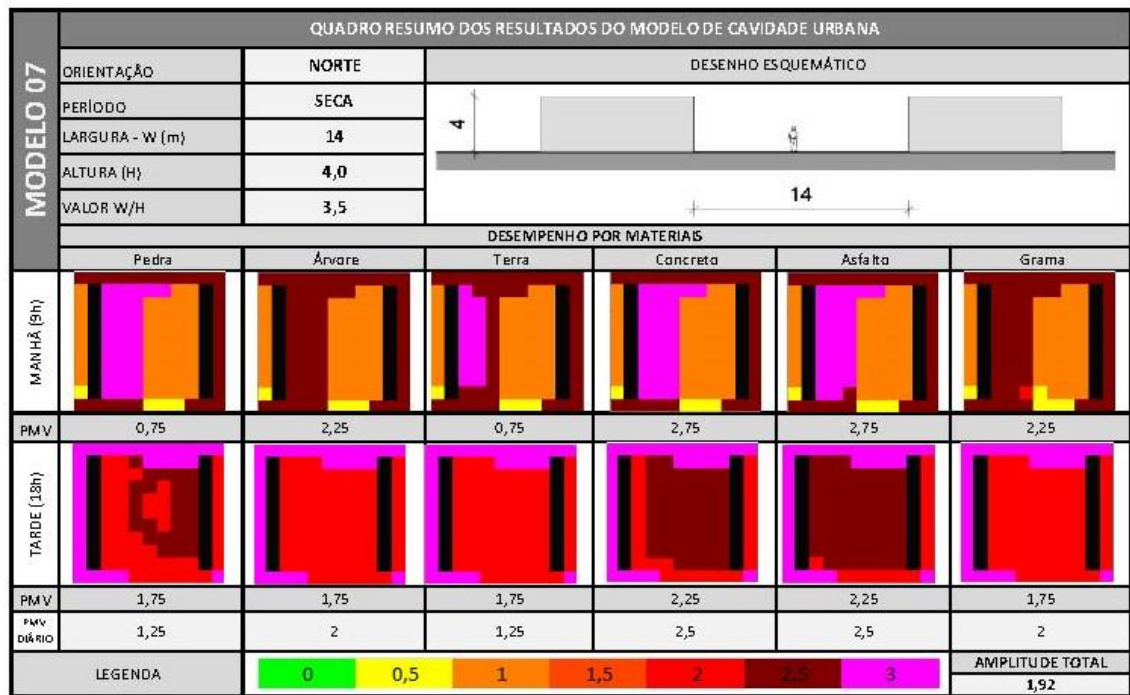


Figura 49 - Resultados do desempenho do tipo 07 de orientação norte



capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

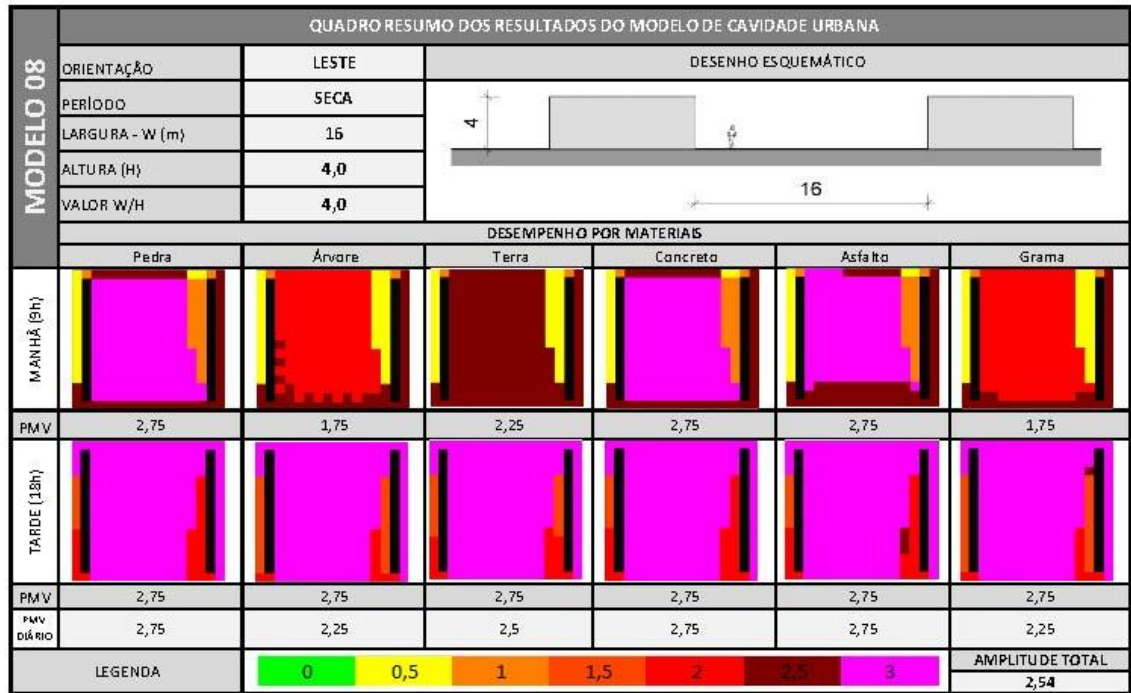


Figura 50 - Resultados do desempenho do tipo 08 de orientação leste

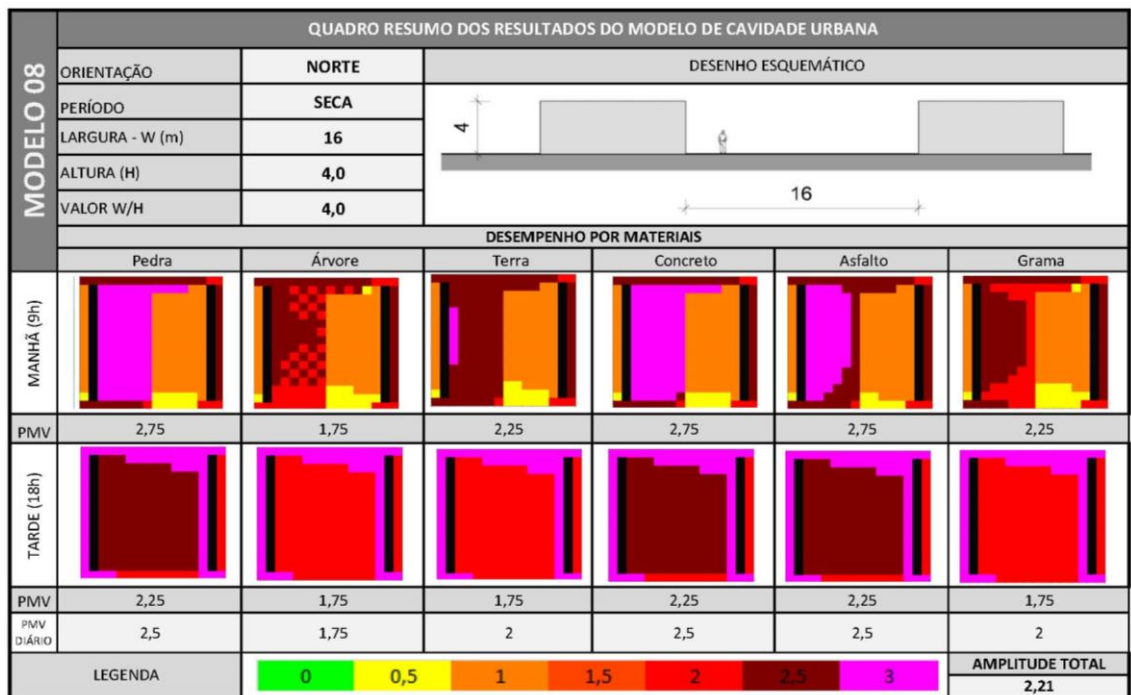


Figura 51 - Resultados do desempenho do tipo 08 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

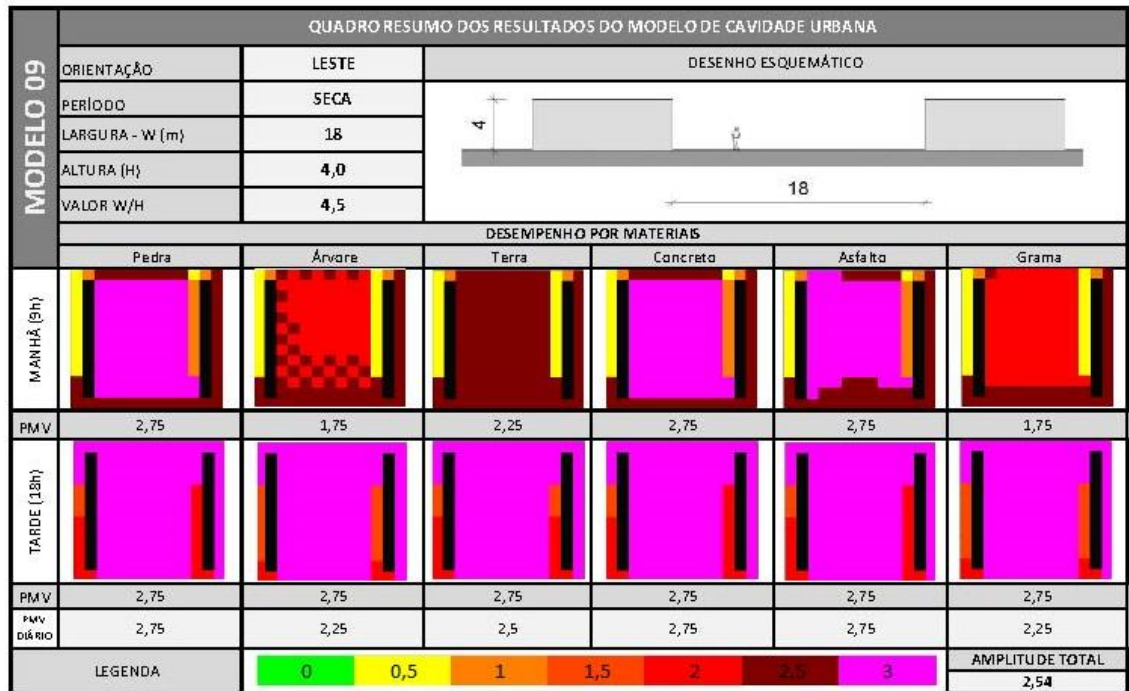


Figura 52 - Resultados do desempenho do tipo 09 de orientação leste

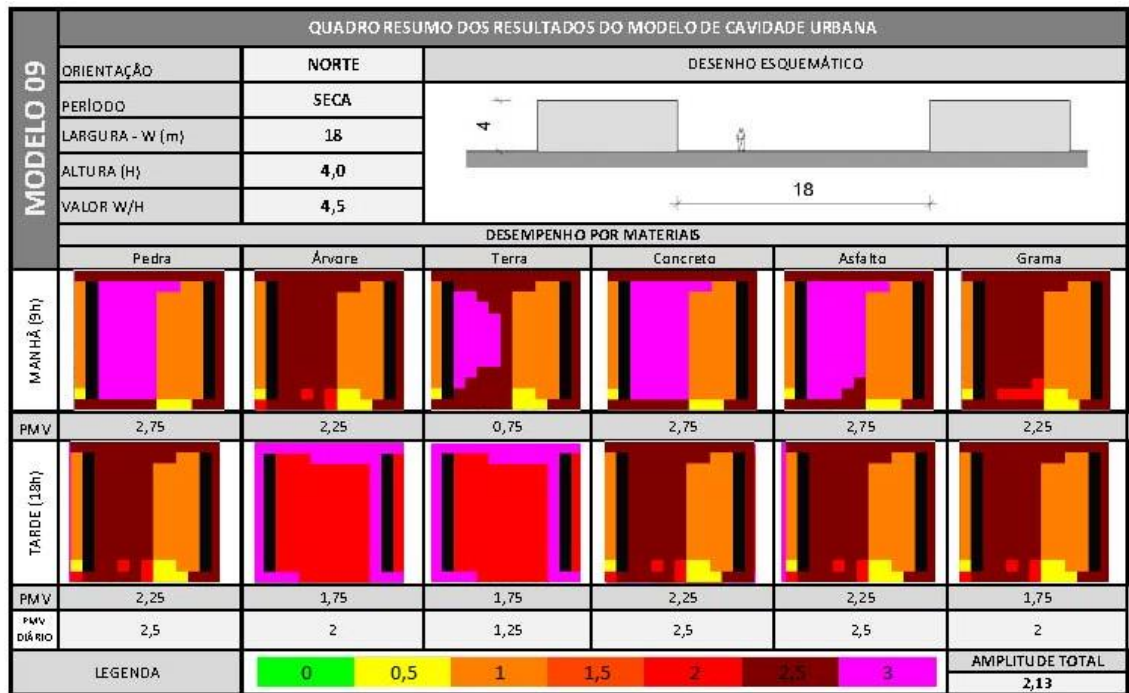


Figura 53 - Resultados do desempenho do tipo 09 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

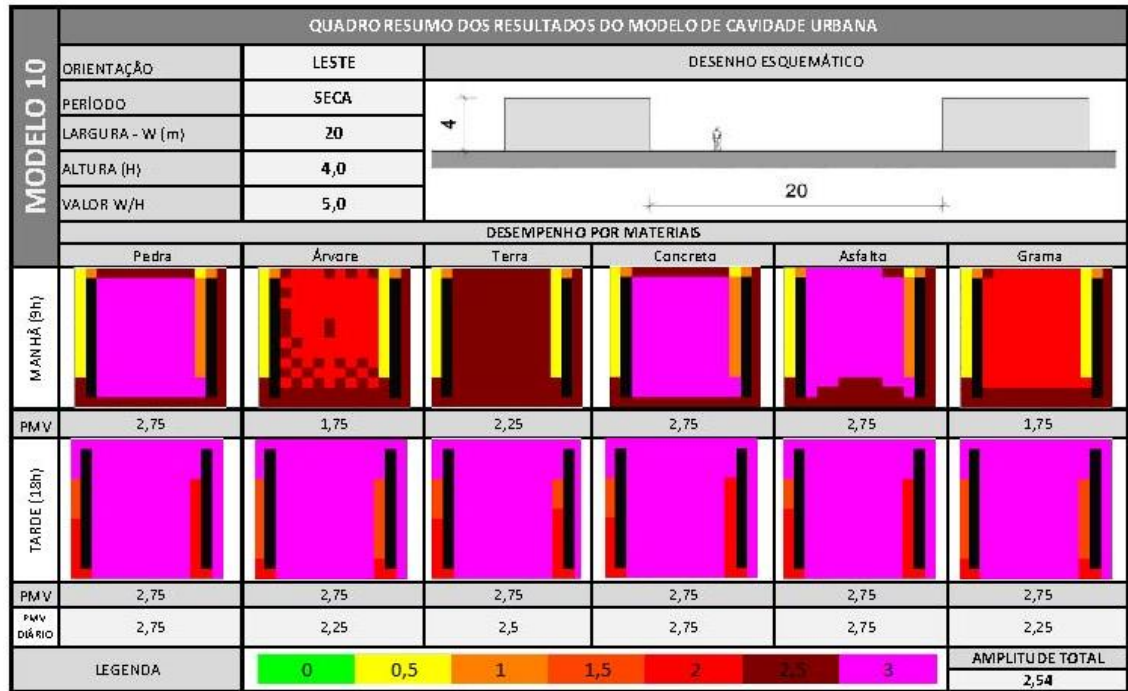


Figura 54 - Resultados do desempenho do tipo 10 de orientação leste

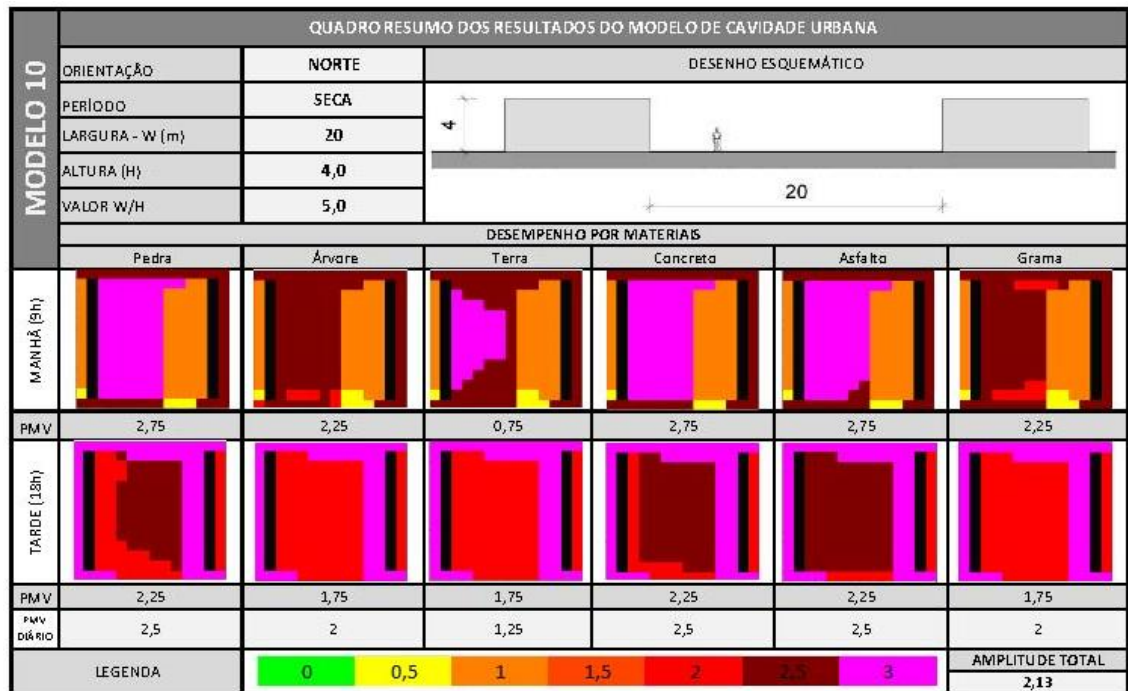


Figura 55 - Resultados do desempenho do tipo 10 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

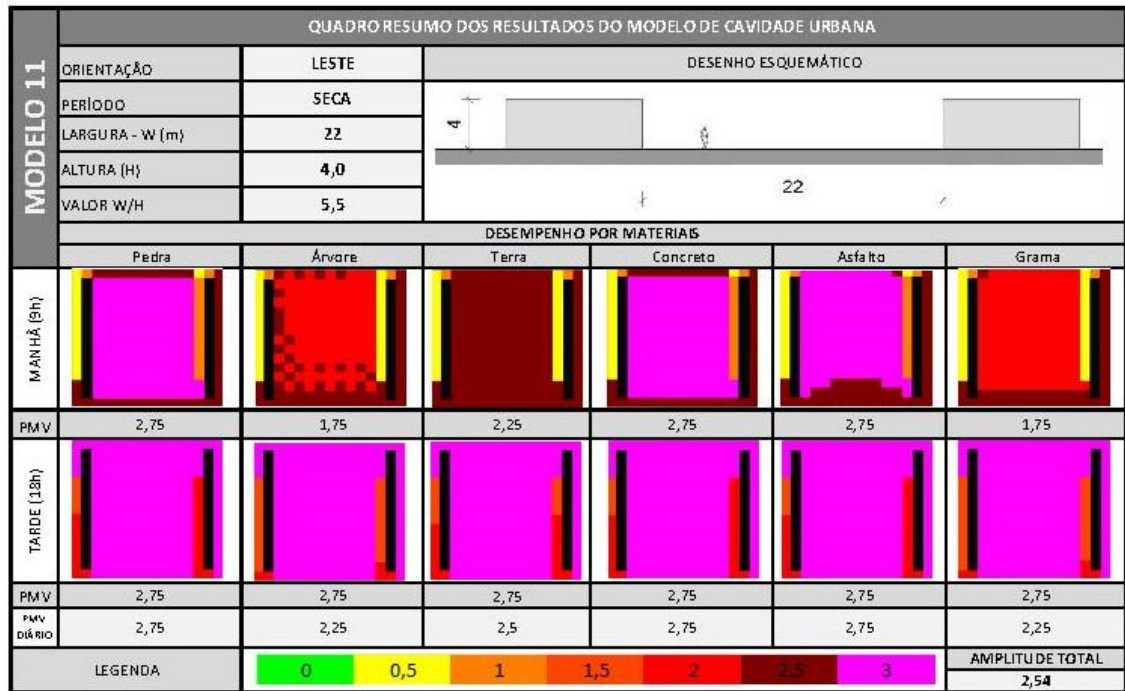


Figura 56 - Resultados do desempenho do tipo 11 de orientação leste

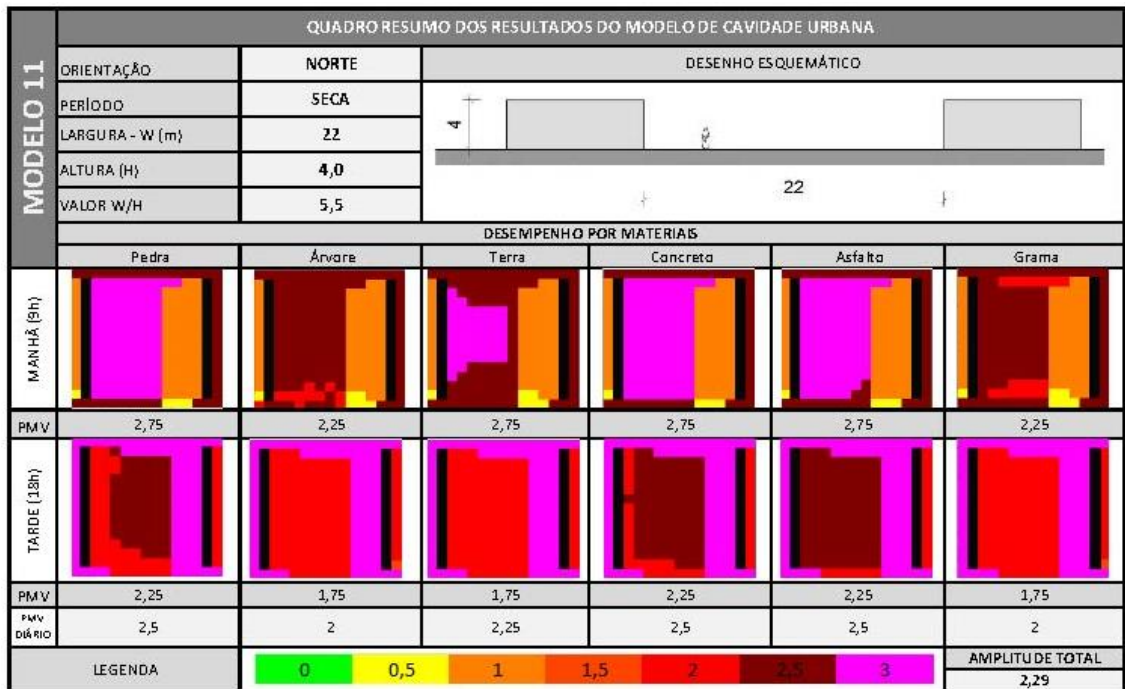


Figura 57 - Resultados do desempenho do tipo 11 de orientação norte



capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

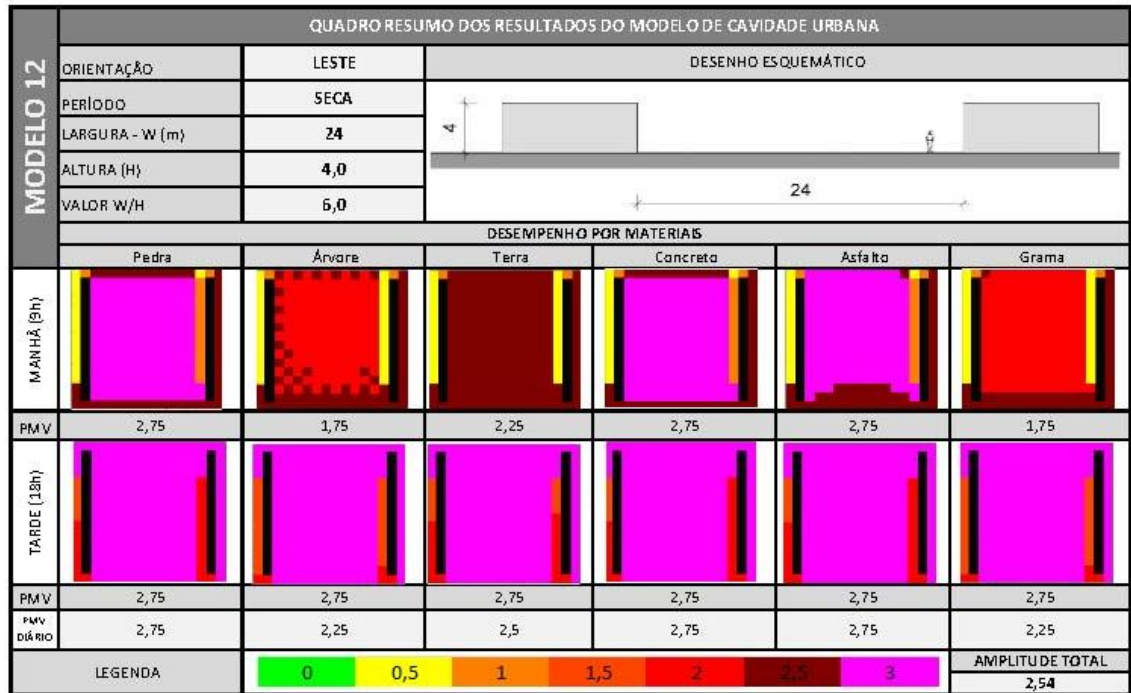


Figura 58 - Resultados do desempenho do tipo 12 de orientação leste

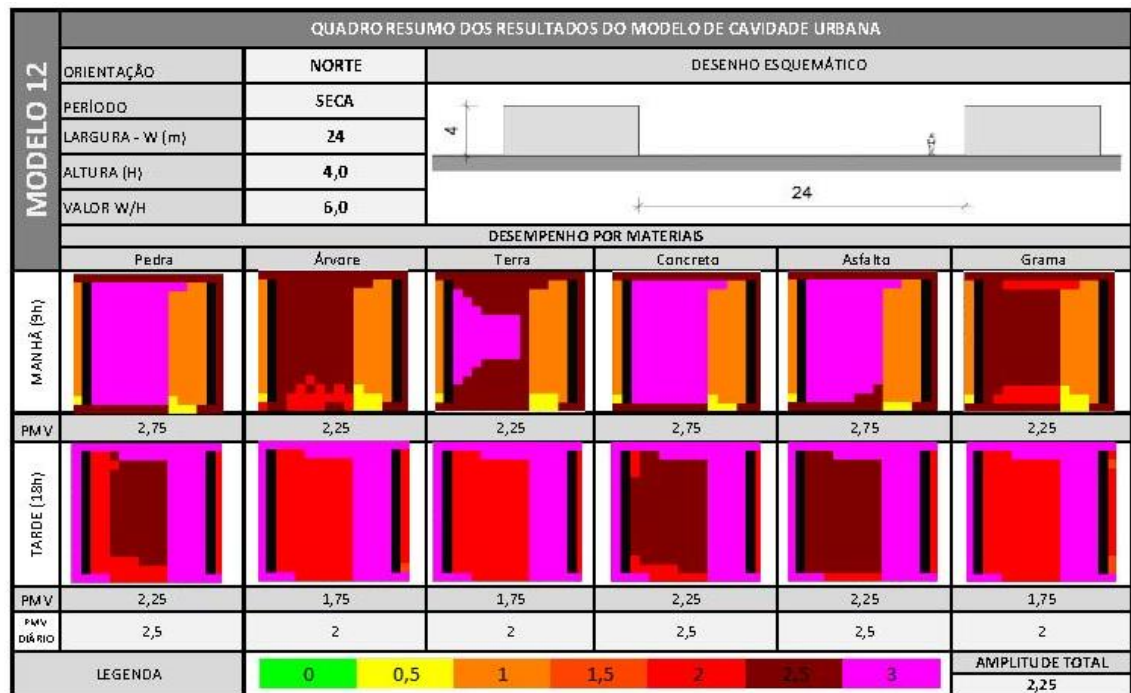


Figura 59 - Resultados do desempenho do tipo 12 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

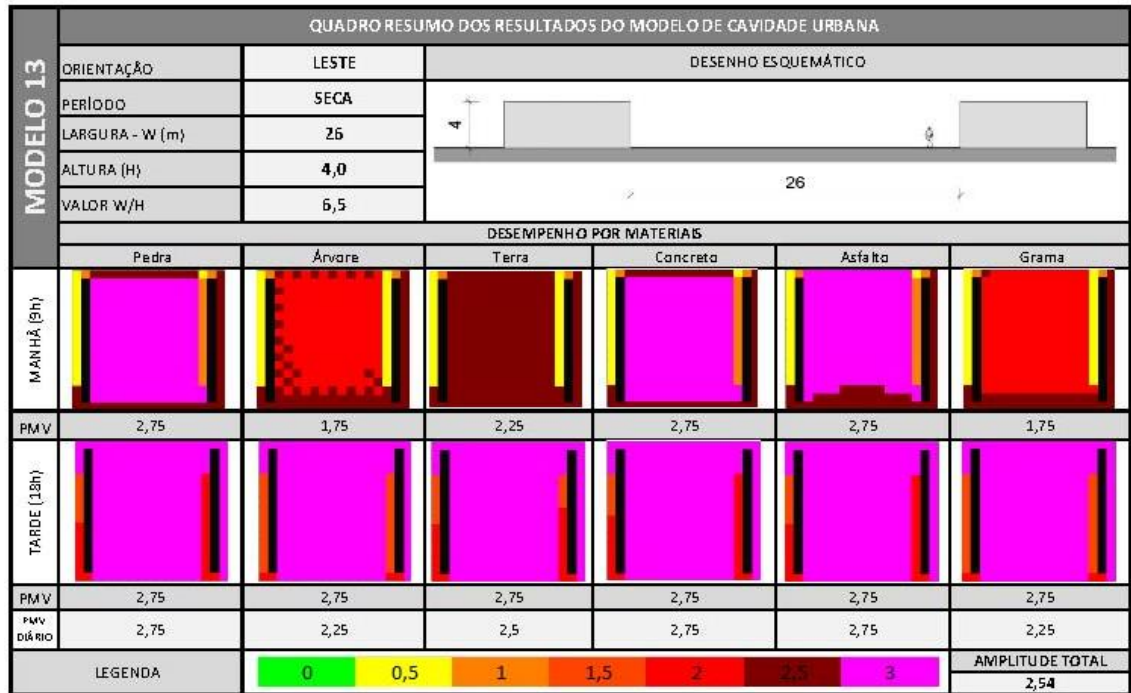


Figura 60 - Resultados do desempenho do tipo 13 de orientação leste

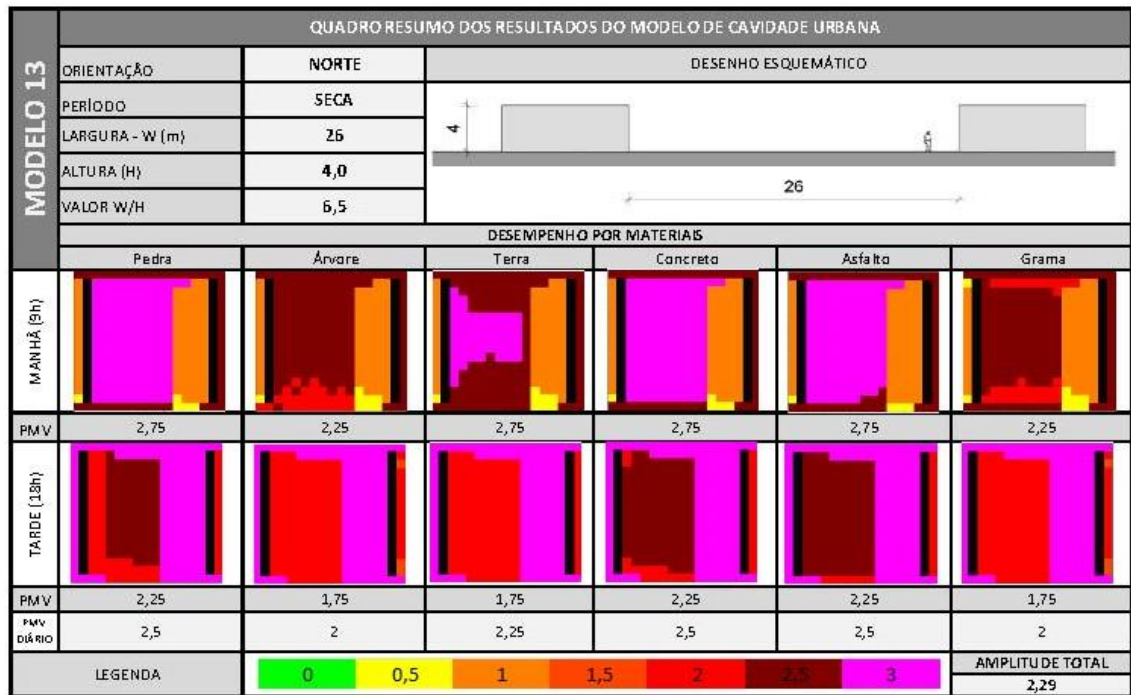


Figura 61 - Resultados do desempenho do tipo 13 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

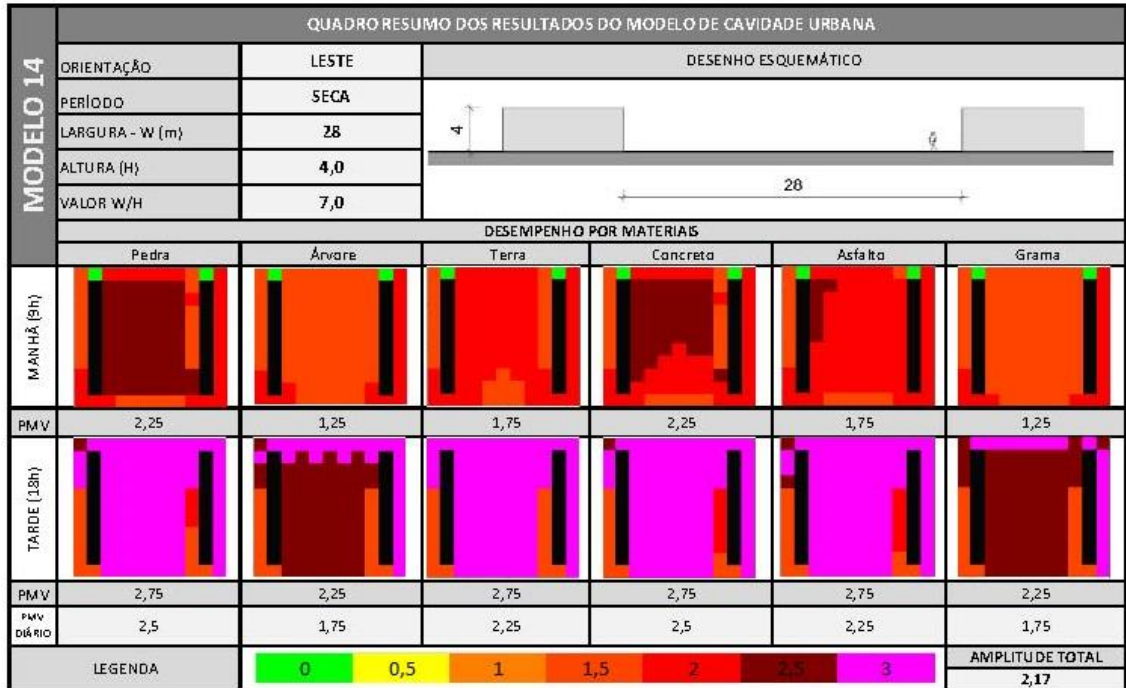


Figura 62 - Resultados do desempenho do tipo 14 de orientação leste

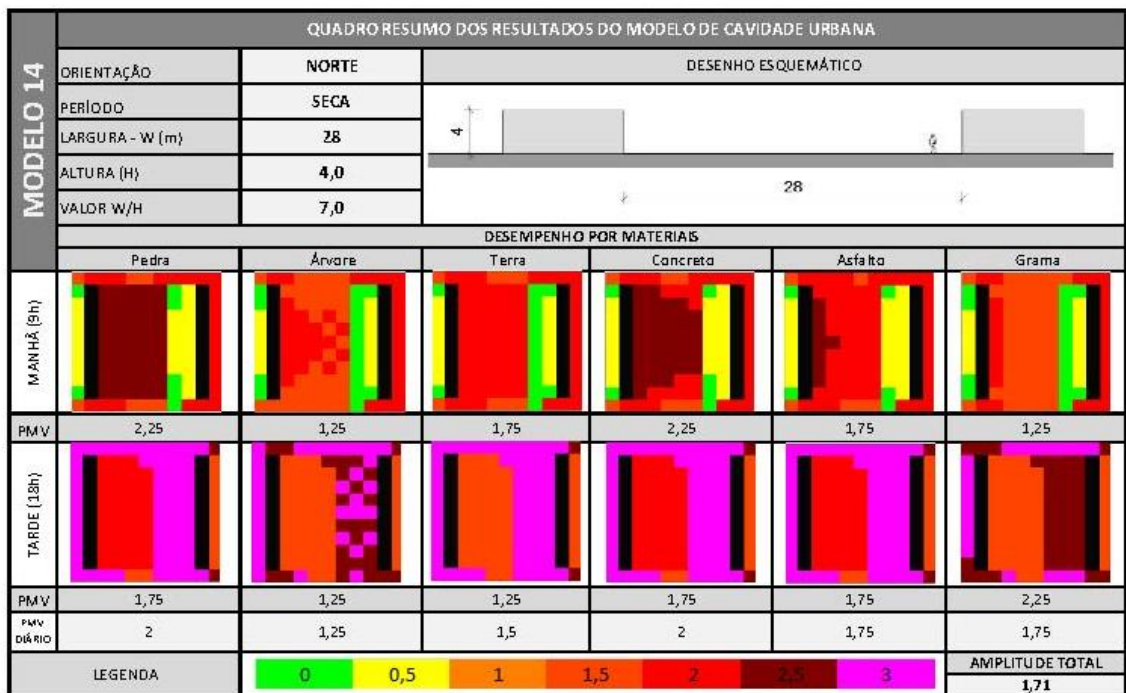


Figura 63 - Resultados do desempenho do tipo 14 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

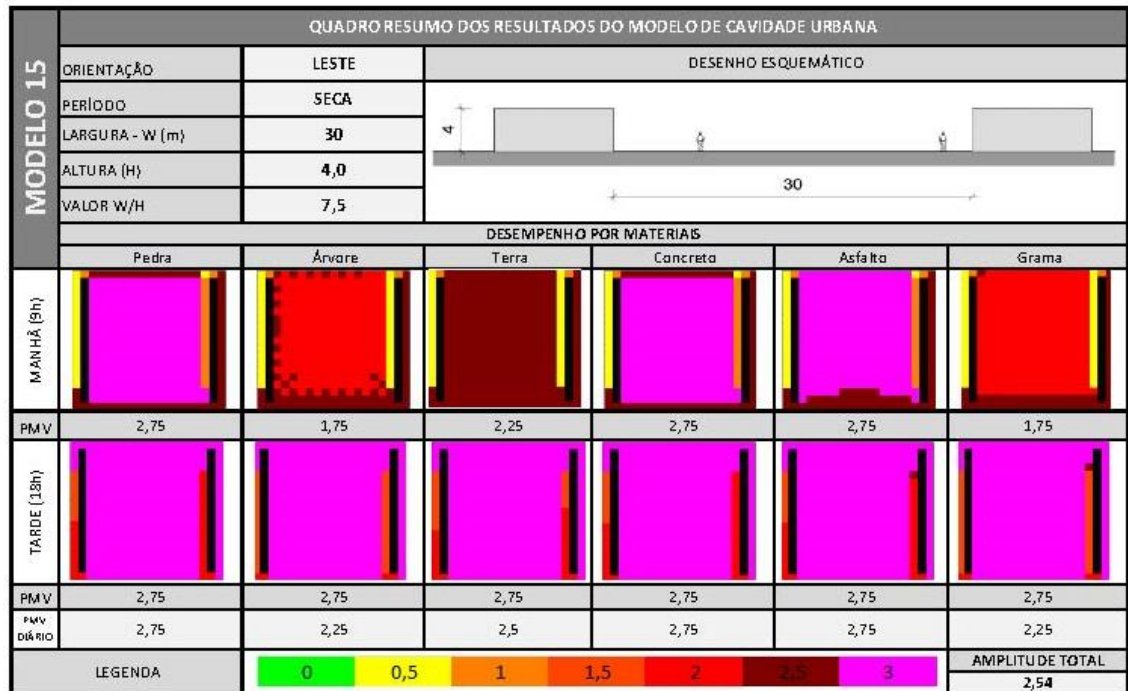


Figura 64 - Resultados do desempenho do tipo 15 de orientação leste

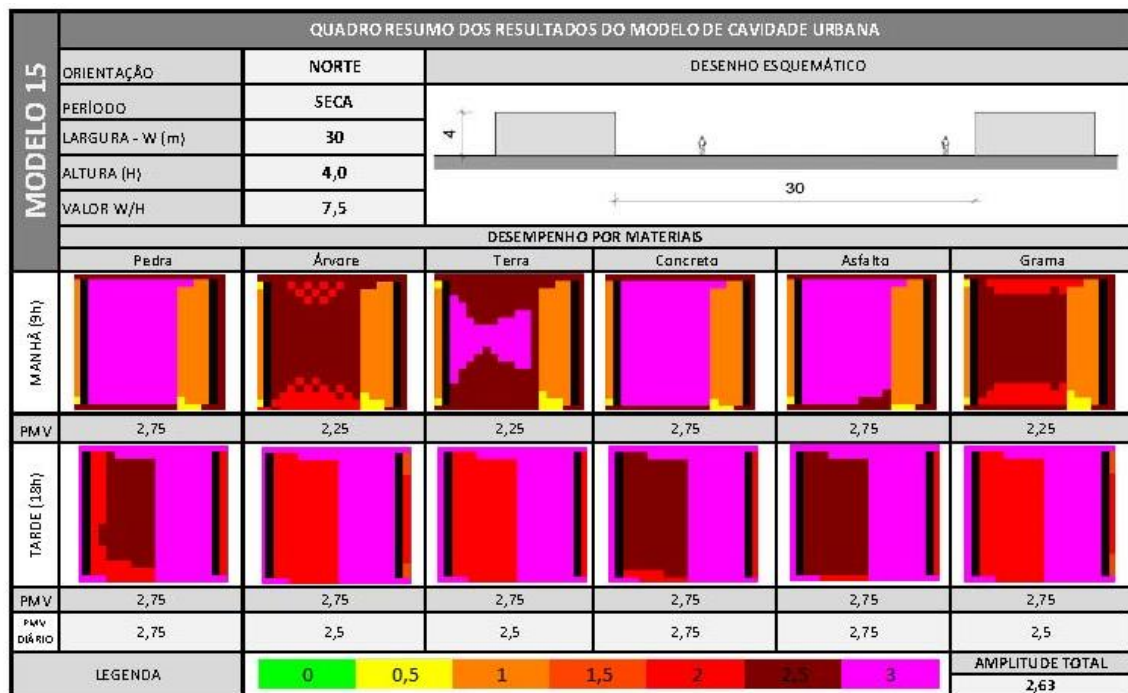


Figura 65 - Resultados do desempenho do tipo 15 de orientação norte



capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

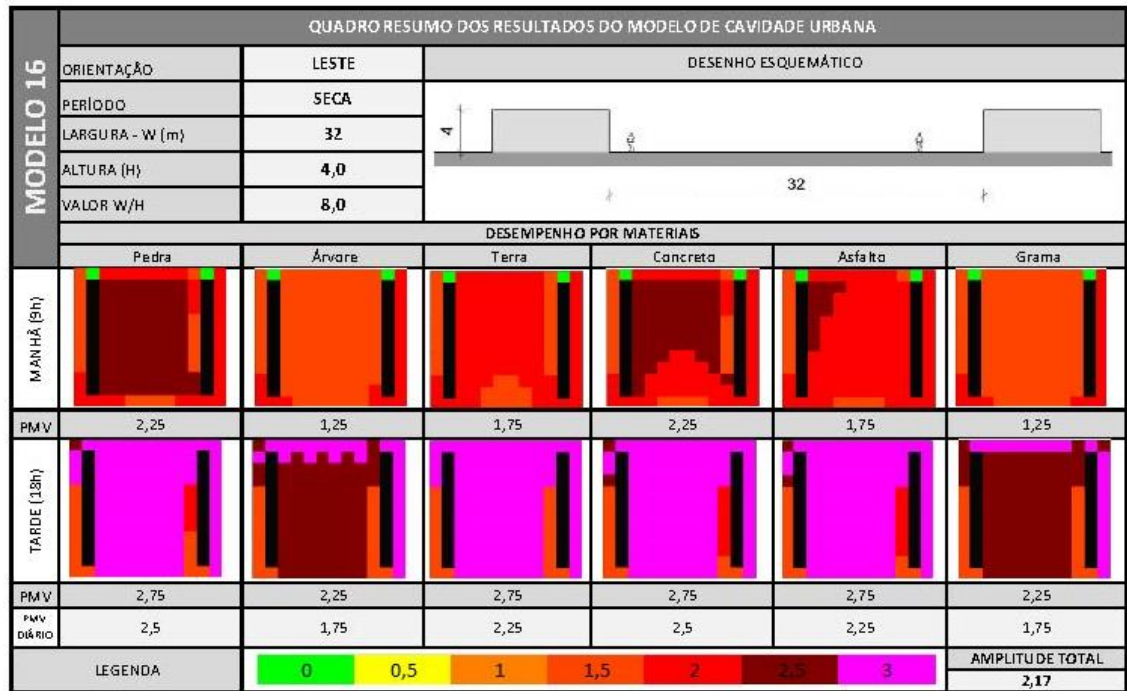


Figura 66 - Resultados do desempenho do tipo 16 de orientação leste

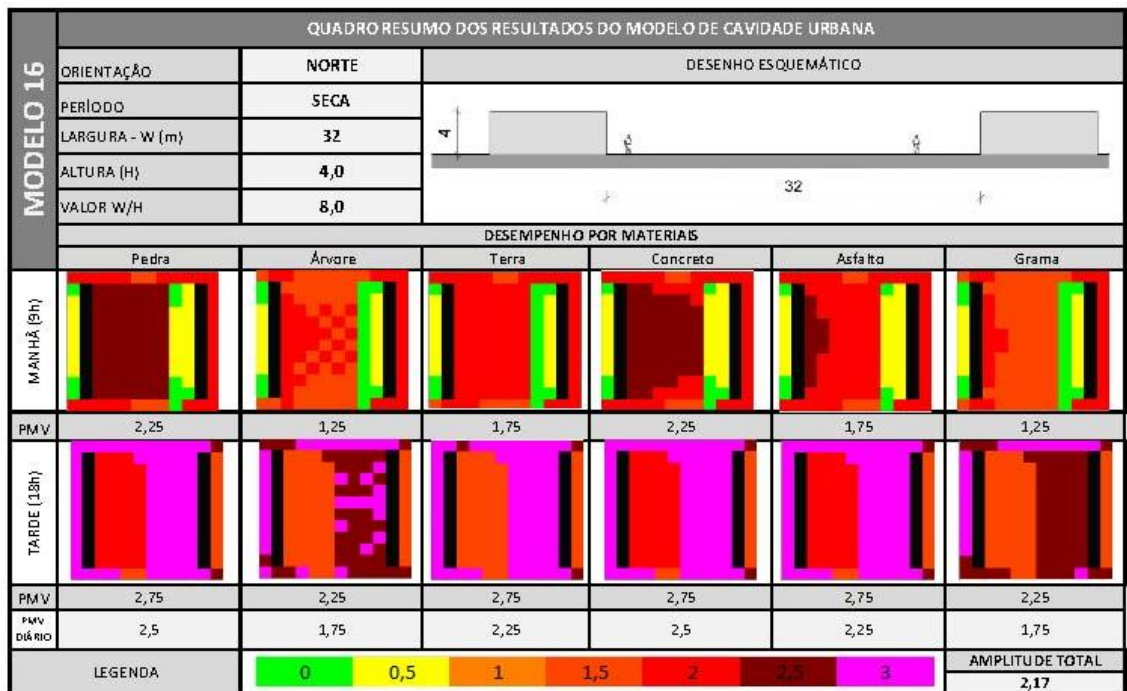


Figura 67 - Resultados do desempenho do tipo 16 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

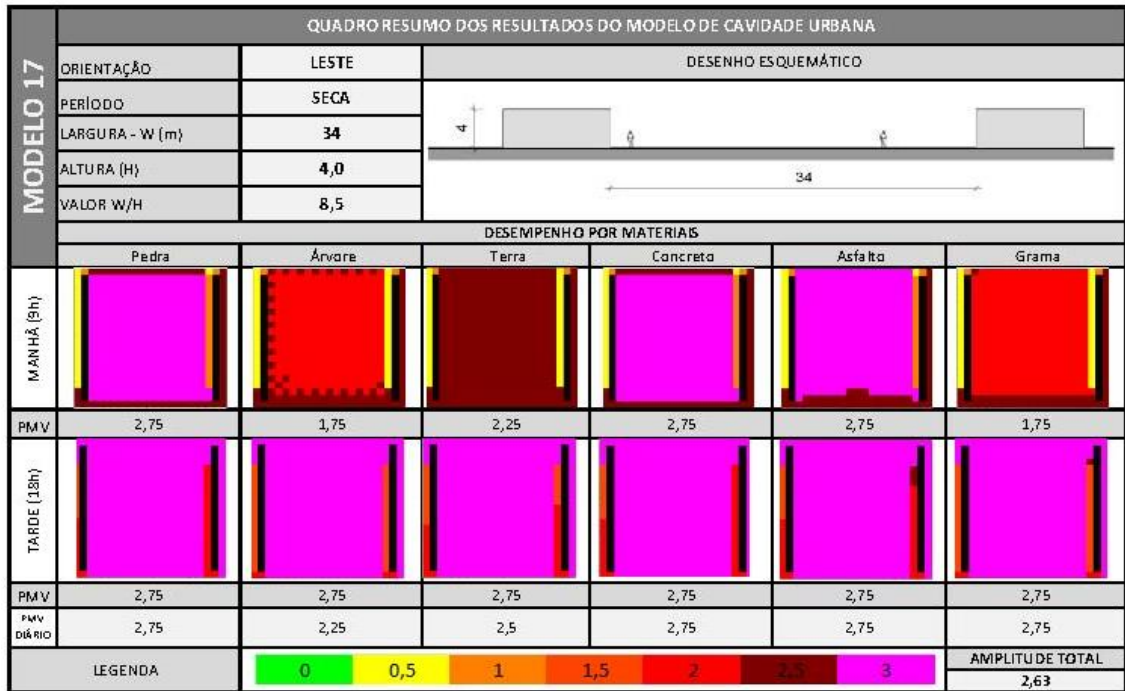


Figura 68 - Resultados do desempenho do tipo 17 de orientação leste

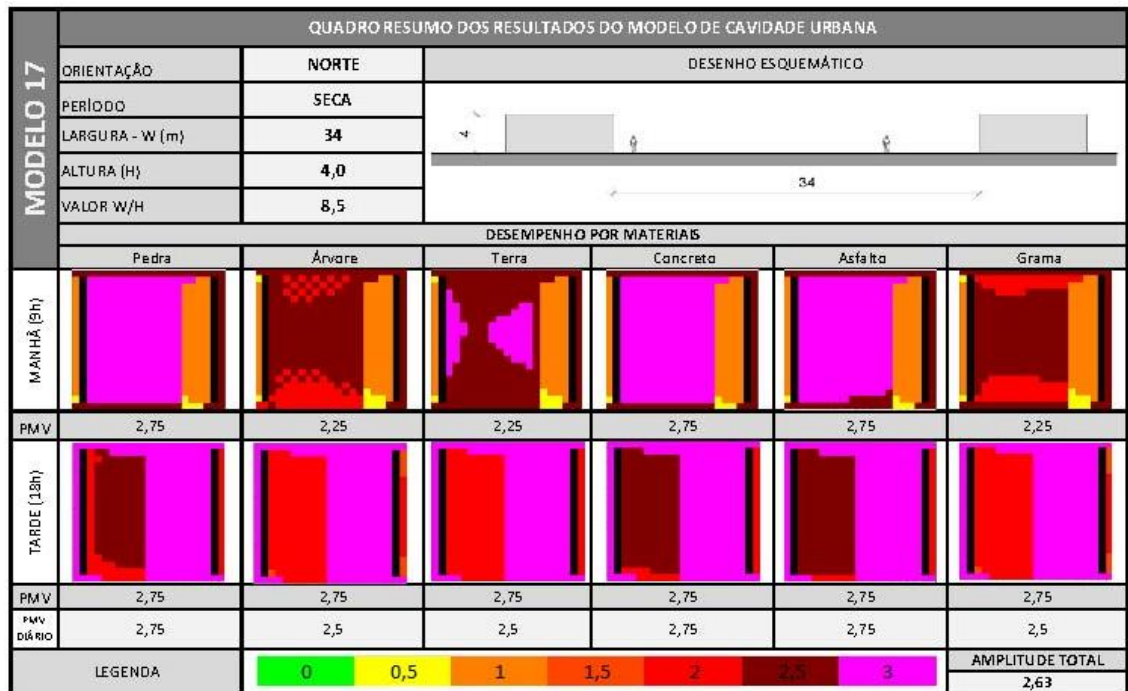


Figura 69 - Resultados do desempenho do tipo 17 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

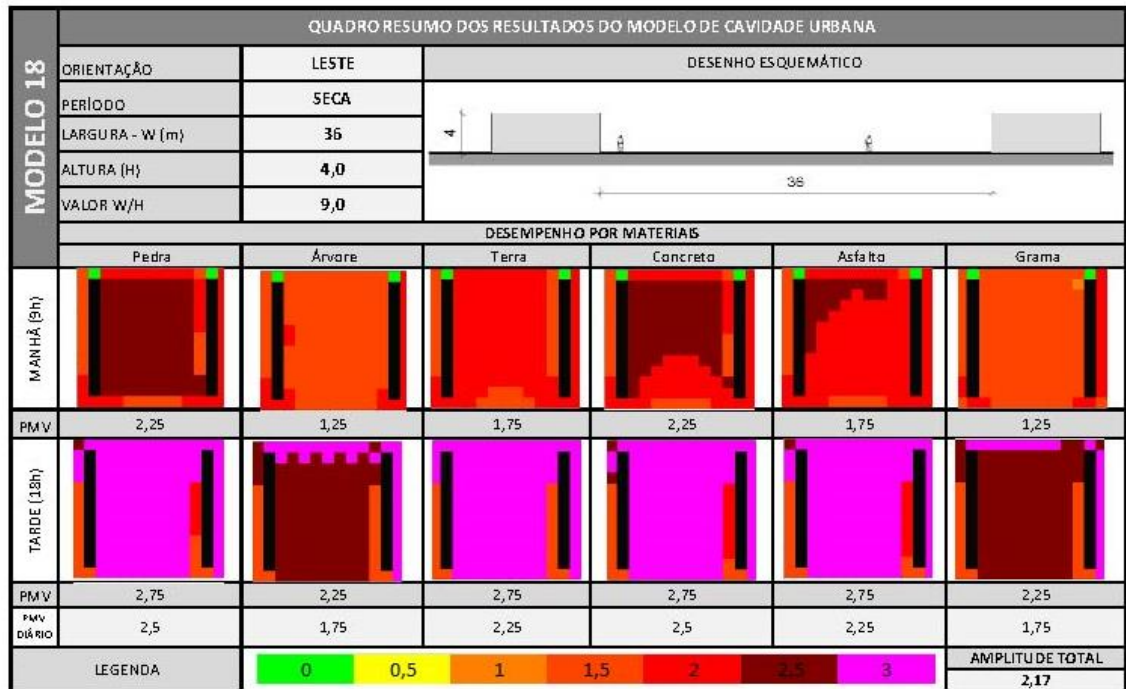


Figura 70 - Resultados do desempenho do tipo 18 de orientação leste

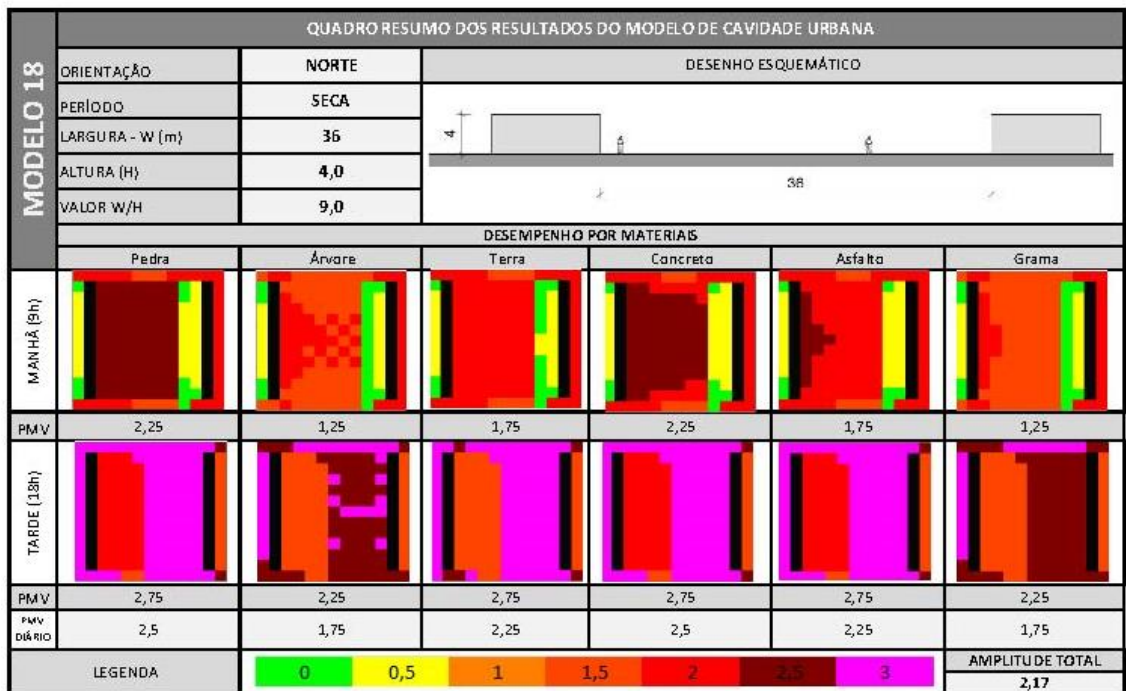


Figura 71 - Resultados do desempenho do tipo 18 de orientação norte

capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

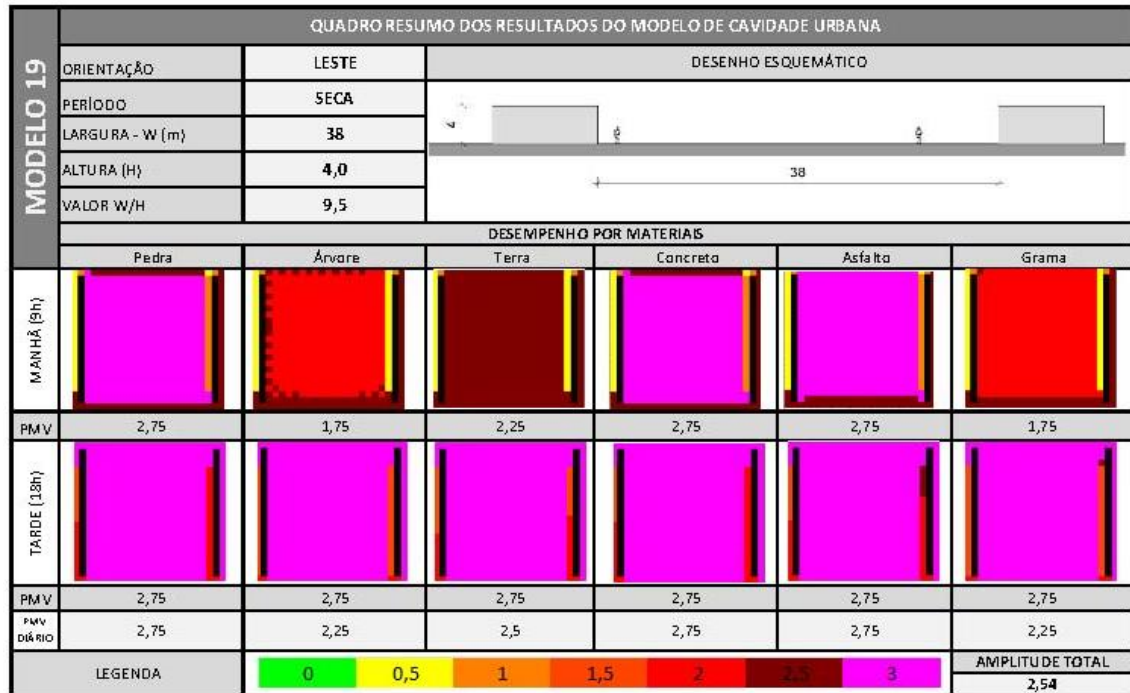


Figura 72 - Resultados do desempenho do tipo 19 de orientação leste

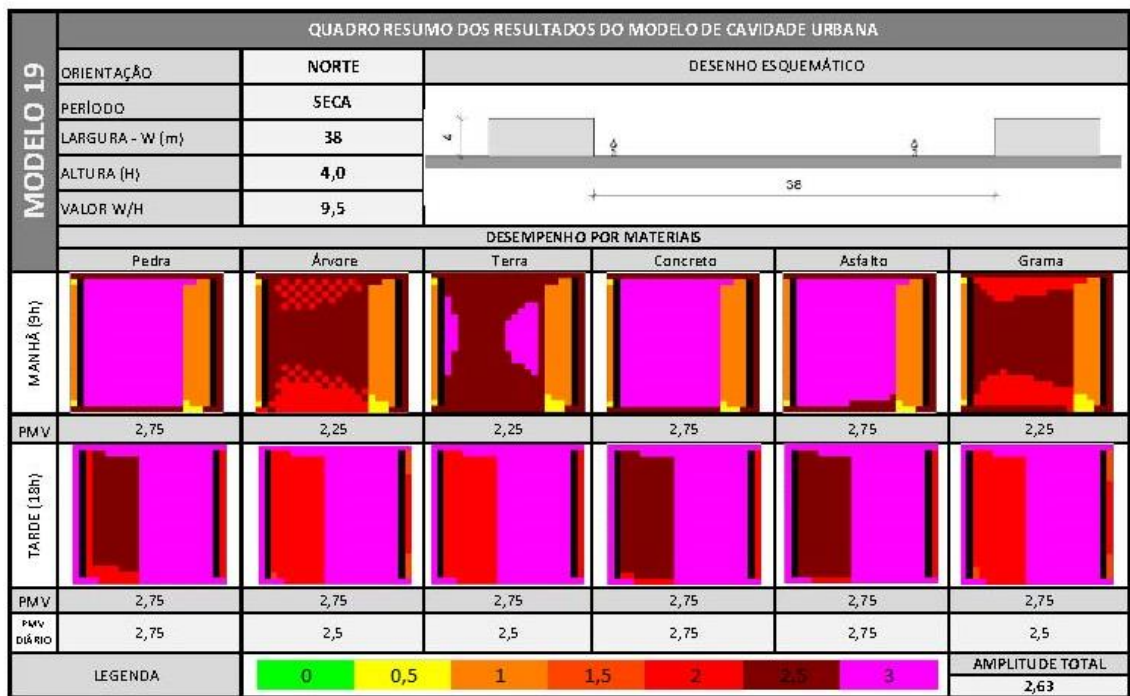


Figura 73 - Resultados do desempenho do tipo 19 de orientação norte



capítulo 5: o desempenho do conforto térmico de cavidades urbanas

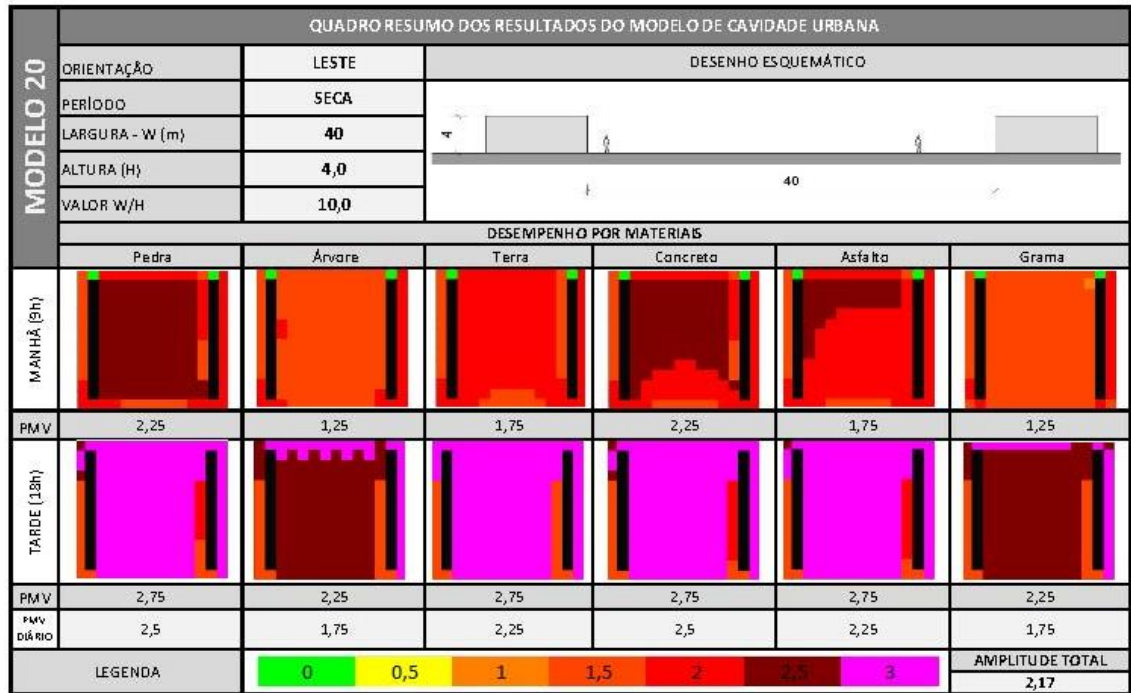


Figura 74 - Resultados do desempenho do tipo 20 de orientação leste

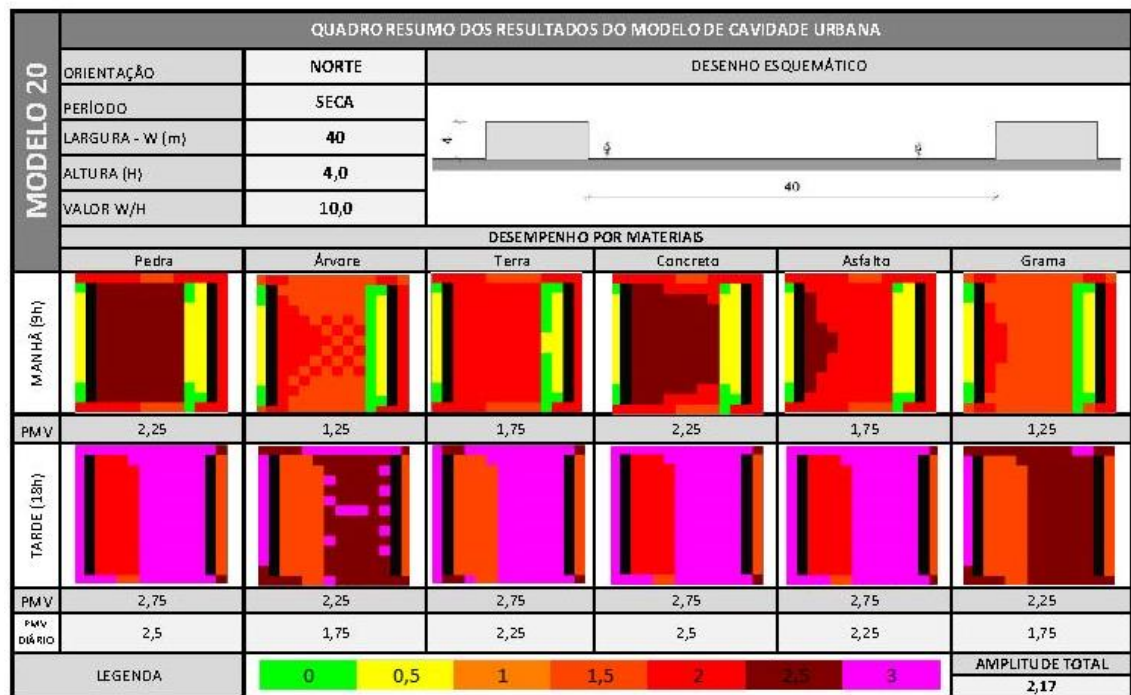


Figura 75 - Resultados do desempenho do tipo 20 de orientação norte

## 5.5 Considerações finais do capítulo

Este capítulo dedicou-se a apresentar os resultados das simulações computacionais realizadas para a avaliação do grau de conforto térmico de cavidades urbanas hipotéticas. Para isto, o capítulo apresentou a sistematização dos resultados, indicando os tipos de gráficos e quadros em que foram organizados os dados simulados. O tratamento dessa grande quantidade de dados foi possível graças ao uso da estatística.

Detectou-se que os horários das 9h e das 18h mostraram-se com valores de PMV pouco uniformes, e, portanto, equivalem aos horários que facilitam a interpretação dos dados de conforto. Neste sentido, foram escolhidos para representarem os turnos da manhã (9h) e tarde (18h). O horário das 15h, geralmente utilizado em pesquisas de clima urbano para representar o horário da tarde, possuía valores de PMV que indicavam a pior situação quanto ao desconforto térmico, e, logo, não ofereciam informação suficiente para a pesquisa, tendo sido retirados dos gráficos finais de análise de conforto térmico.

Em relação às cavidades orientadas para leste-oeste obteve-se valores de PMV médio entre 2,5 e 2,75, portanto, mais quentes que os tipos orientados para norte-sul, cujos valores foram próximos a 1,75. Também neste caso, o tipo de cavidade com W/h no valor de sete obteve bom desempenho, mais próximo do conforto térmico desejado. Os tipos M08, M09, M10 de W/h igual a 4, 4,5 e 5, também obtiveram desempenho melhor que os demais. Os valores de W/h iguais a 0,5 e 0,1, que equivalem aos tipos M01 e M0 obtiveram os seus valores de PMV inferiores a 1,50, o que os aproxima do estado de conforto térmico. Em relação às cavidades orientadas para norte-sul os valores de PMV médio variam entre 1,40 a 1,75, o que equivale a uma situação de pouco quente. Neste caso, as cavidades de melhor desempenho foram as de relação W/h iguais a 7, 8, 9 e 10.

Os tipos orientados para norte-sul apresentam o desempenho de conforto térmico superior aos tipos orientados para o sentido leste-oeste. Esse desempenho se deve ao sombreamento projetado pelo conjunto edificado, que, em virtude da latitude 16 sul, as cavidades configuradas entre edifícios de eixos norte-sul tem a vantagem do sombreamento por mais horas durante do dia.

Por fim, foram apresentados quadros-resumo contendo os principais dados a serem considerados para a pesquisa. A partir da sistematização dos dados apresentados das tabelas anteriores, o próximo capítulo, de análise propriamente dita dos valores de PMV provenientes das simulações, apresenta os gráficos elaborados a partir dos valores de PMV, com cálculo de valores médios e com a elaboração de tabelas que mostrarão a relação entre o índice PMV e a relação W/h dos 42 tipos analisados.

Capítulo 6

## 6. Análise do Desempenho Térmico de Cavidades Urbanas

Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos a partir das simulações de desempenho térmico realizadas e apresentadas no capítulo anterior. Organiza em planilhas e gráficos, enquanto apresenta o cruzamento de informações geradas pelas simulações, contribuindo na leitura mais direta dos resultados e uma análise crítica, além do tratamento estatístico na tentativa de obtenção de uma correlação direta do material urbano com o grau de conforto objetivo com as determinadas configurações urbanas. Discute-se aqui os resultados buscando identificar as cavidades que obtiveram os melhores desempenhos de conforto térmico, sobretudo, desvendando quais os aspectos mais contribuem para este conforto do espaço urbano, dentre as variáveis de análise: orientação, proporção da cavidade ou o material de configuração urbana.

## 6.1 Sistematização da análise dos resultados

Os resultados numéricos advindos das simulações realizadas foram apresentados no capítulo anterior, organizados em quadros e planilhas que facilitaram a sua interpretação. Neste tópico é apresentada a sistematização da análise dos dados apresentados nas tabelas anteriores, indicando o juízo de valor dado a cada resultado encontrado. Os resultados estão organizados segundo a sua orientação: primeiro os resultados das cavidades orientadas para leste-oeste, seguidos dos resultados das cavidades orientadas para norte-sul.

Para a tabulação dos resultados, foi atribuída uma pontuação que visou quantificar o bom desempenho em relação ao conforto térmico. A pontuação proposta traz números com pesos inversamente proporcionais aos valores de Fanger. Por exemplo: o valor de PMV considerado como extremamente quente, valores de 2,5 a 3 (PMV) recebe pontuação 0 (zero), e os tipos que, segundo PMV, possuem valores entre 0 e 0,5, o são considerados como confortáveis termicamente, recebendo pontuação máxima 5 (cinco). Os outros pontos estão arrolados correlacionando os valores de PMV com a pontuação criada (Tabela 6).

Tabela 13 – Pontuação do status de conforto

Valor de PMV	Status	Pontuação
-0,5 - 0	<b>Confortável</b>	<b>5</b>
0 - 0,5	<b>Confortável</b>	<b>5</b>
0,5 – 1,0	Levemente quente	4
1,0 – 1,5	Pouco quente	3
1,5 – 2,0	Quente	2
2,0 – 2,5	Muito quente	1
2,5 – 3,0	Extremamente quente	0

Os resultados podem ser melhor analisados se observados de maneira isolada, por material de configuração do solo e com o desempenho específico no horário das 9h e das 18h. Os resultados específicos são apresentados no próximo tópico.

## 6.2 Desempenho de cavidades urbanas

Os resultados de desempenho de cavidades urbanas estão organizados por material de configuração: árvore, asfalto, concreto, pedra, solo natural e grama. Primeiramente, são apresentados os resultados de cavidades orientadas a leste-oeste, em seguida, são apresentados os resultados de cavidades orientadas para norte-sul.

### 6.2.1 Configuração: árvore

#### a. Orientação leste-oeste:

As cavidades orientadas para leste-oeste obtiveram seus estados de conforto classificados como: pouco quente, quentes ou extremamente quentes. Cenários classificados como pouco quentes foram os: M20, M18, M16 e M14. Tipos classificados como quentes: M19, M17, M15, M13, M12, M11, M10, M09, M08, M07, M06, M05, M04, M03, M02 e M01, representando maioria absoluta. E apenas o M0 (menor cavidade) com a classificação máxima de PMV, igual a 3,0, que significa o grau classificado como extremamente quente.

#### b. Orientação norte-sul

As cavidades orientadas para norte-sul apresentaram mais variações de conforto térmico, os tipos possuíram diversos valores de PMV, que variou do 0 a 2,5, ou seja, constando classificações como conforto, levemente quente, quente e muito quente. Com estes valores obtidos pode-se afirmar que a orientação norte-sul apresenta um grau de conforto térmico superior à orientação leste-oeste, uma vez que há sim tipos em situação de conforto e como também não há sequer um tipo enquadrado na situação de extremamente quente. Dentre os 21 tipos avaliados, aqueles que obtiveram os melhores índices de conforto, por meio do PMV, e, portanto, classificados como confortáveis ou apenas pouco quentes foram os tipos: M01, M02, M03, M04, M05 e M06. Dentre todos estes, destaca-se o tipo M01 que obteve o menor valor de PMV, igual a 0, sendo, portanto, o tipo mais confortável dentre os analisados neste grupo. Os tipos que obtiveram valores de PMV igual a 1,5, e, portanto, classificados como quentes foram: M0, M14, M16, M18 e M20. O M08 obteve valor de PMV de 2,0, e, portanto, classificado como quente. Todos os demais tipos obtiveram valores de PMV superiores a 2,0 ou iguais a 2,5 (muito quentes): M07, M09, M10, M11, M12, M3, M15, M17 e M19.

Dentre todos os tipos analisados neste tópico, considera-se que os tipos orientados para norte-sul, M01, M02 e M05, de relação W/h equivalente a “x, y e z” foram os tipos que obtiveram o melhor desempenho para o conforto térmico. Os cenários orientados para Norte-Sul obtiveram um bom desempenho térmico os tipos de 2 a 7 (Gráfico 3).

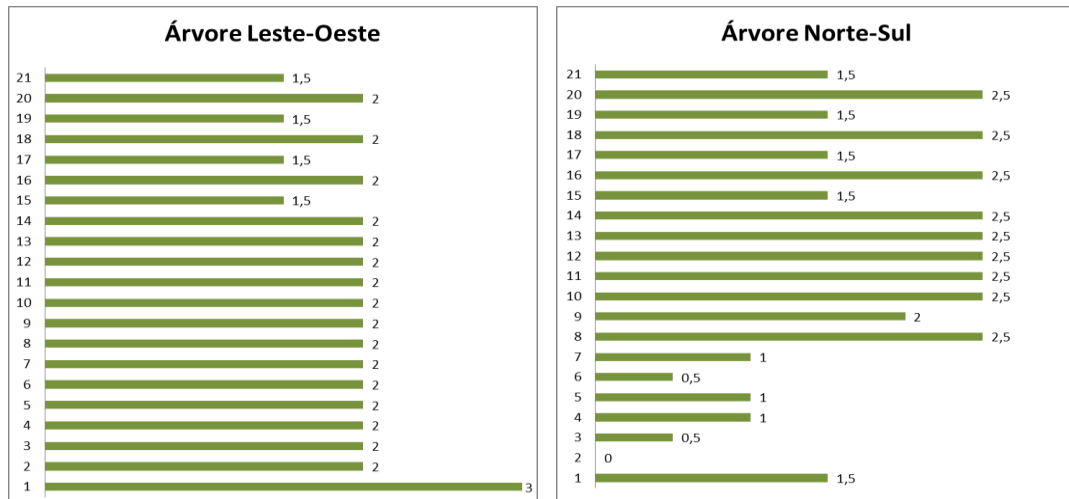


Gráfico 3- Desempenho de cavidades com árvore

### 6.2.2 Configuração: asfalto.

#### a. Orientação leste-oeste:

As cavidades orientadas para leste-oeste obtiveram seus estados de conforto sempre classificados como pouco quentes, quentes ou extremamente quentes, em três níveis. O menos crítico, ou pouco quente, são os tipos: M14, M16, M18 e M20, que possuem o PMV até 2,0. O tipo classificado como quente é apenas o M0, de PMV igual a 2,5, enquanto os demais estão classificados como extremamente quentes, são eles: M01, M02, M03, M04, M05, M06, M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19. Dessa forma, pode-se afirmar que os tipos orientados para leste-oeste e configurados com o material **asfalto** na cavidade urbana possuem o seu grau de conforto avaliado como extremamente quente, em sua maioria absoluta.

#### b. Orientação norte-sul

As cavidades orientadas para norte-sul apresentaram mais variações de conforto térmico, além de possuírem também mais tipos situados em estado de conforto térmico.

O tipo M01 registrou o menor valor de PMV, igual a 0 (zero) e, portanto, é classificado como o único tipo confortável dentre os analisados neste grupo. O seu desempenho também foi o melhor nas cavidades configuradas com árvore. Os demais tipos possuem diferentes classificações, a saber. Os tipos M02, M03, M04, M05 e M06 possuem PMV igual a 1,0, ou seja, classificados como pouco quentes. Esses tipos citados acima, que obtiveram o seu status de conforto entre confortável, levemente quente e pouco quente podem ser classificados como aceitáveis diante da gama de tipos analisados nesta pesquisa. O tipo M0, de PMV igual a 1,5, possui desempenho avaliado como quente e os tipos M14, M16, M18 e M20 possuem valores de PMV igual a 2,0, ou seja, possuem o

status de muito quente. Por fim, os tipos M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19 possuem o valor de PMV igual a 3,0, portanto, tendo o seu status de conforto como extremamente quente. Os tipos citados neste parágrafo criam situações de desconforto que podem ser consideradas como inaceitáveis, demandando uma emergente alteração de sua configuração urbana.

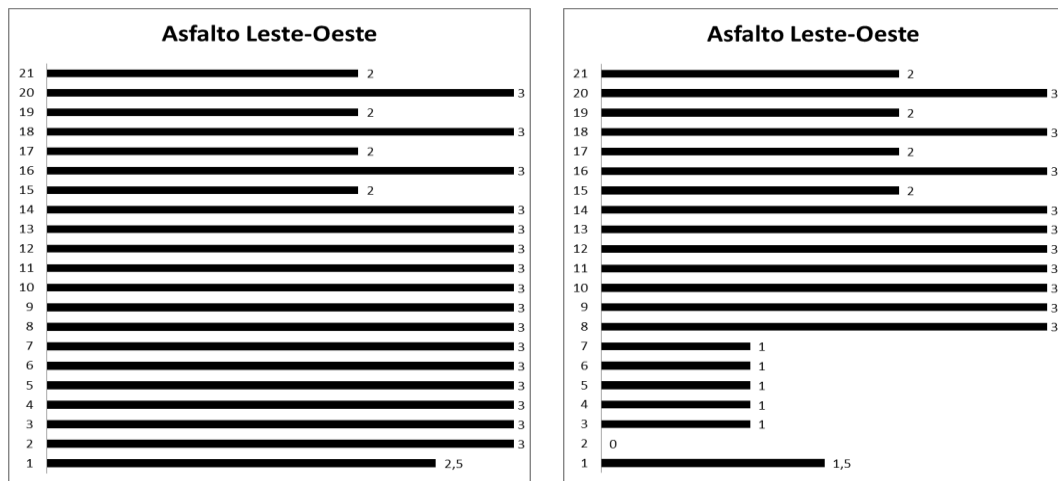


Gráfico 4 - Desempenho de cavidades com asfalto

### 6.2.3 Configuração: concreto.

#### a. Orientação leste-oeste:

As cavidades orientadas para leste-oeste obtiveram seus estados de conforto classificados em dois níveis. Com isto, pode-se afirmar que o material “concreto” uniformiza as características ambientais. Os tipos foram classificados como muito quentes ou extremamente quentes. Os tipos muito quentes, com valores de PMV até 2,5 foram: M0, M14, M16, M18 e M20. Todos os demais estão classificados como extremamente quentes, são eles: M01, M02, M03, M04, M05, M06, M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19. Dessa forma, pode-se afirmar que os tipos orientados para leste-oeste e configurados com o material **concreto** na cavidade urbana possuem o seu grau de conforto avaliado como extremamente quente, em sua maioria absoluta.

#### b. Orientação norte-sul

As cavidades orientadas para norte-sul apresentaram muitas variações de conforto térmico, chegando a seis diferentes classificações, que partem desde o estado de conforto térmico, com PMV igual a 0, até o estado de desconforto classificado como extremamente quente, com PMV igual a 3,0.



O tipo M01 possui o menor valor de PMV, igual a 0 (zero) e, portanto, é classificado como o único tipo confortável dentre os analisados neste grupo, desempenho também aferido na cavidade configurada com árvore e concreto. Em seguida, o tipo M05, obteve PMV no valor de 0,5, logo, e o segundo tipo mais confortável desta categoria, tendo o seu status de conforto classificado como levemente quente. Os demais tipos possuem diferentes classificações, a saber. Os tipos M02, M03, M04 e M06 possuem PMV igual a 1,0, ou seja, de classificação pouco quente. Esses tipos citados acima, que obtiveram o seu status de conforto entre confortável, levemente quente e pouco quente podem ser classificados como aceitáveis diante da gama de tipos analisados nesta pesquisa. O tipo M0 tem valor de PMV igual a 1,5, classificado como quente. Os tipos M14, M16, M18 e M20 possuem valores de PMV igual a 2,5, ou seja, possuem o status de muito quente. E os tipos M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19 possuem o valor de PMV igual a 3,0, portanto, tendo o seu status de conforto como extremamente quente. Os tipos citados neste parágrafo criam situações de desconforto que podem ser consideradas como inaceitáveis, uma vez que configuram espaços urbanos de extremo desconforto, demandando uma emergente alteração de sua configuração urbana.

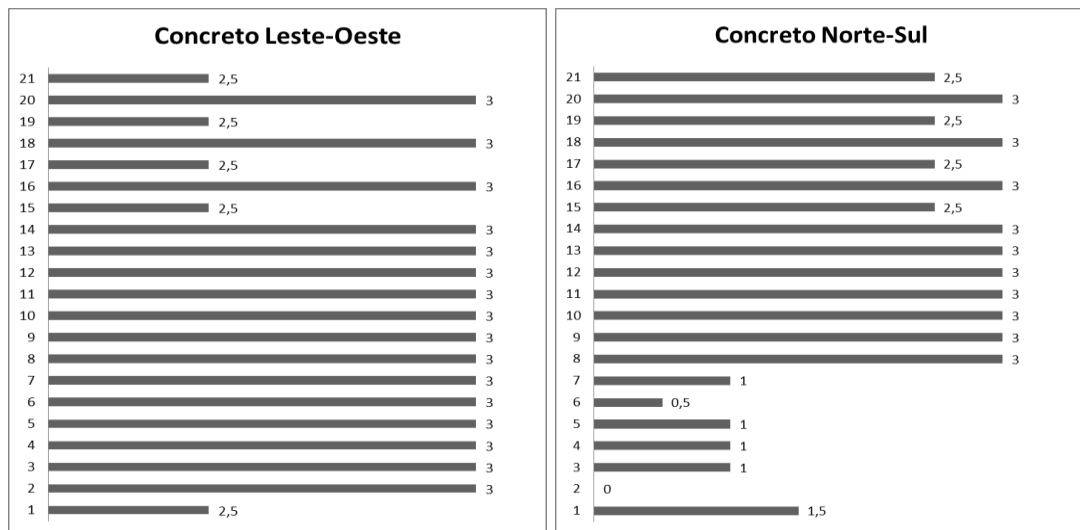


Gráfico 5 - Desempenho de cavidades com concreto

#### 6.2.4 Configuração: grama

##### a. Orientação leste-oeste:

As cavidades orientadas para leste-oeste obtiveram seus estados de conforto classificados em apenas dois níveis, sendo o menor (PMV = 1,5), classificado como quente e o maior (PMV = 2,0) classificado como muito quente. Com isto, pode-se afirmar que o material grama uniformiza as características ambientais, ao tempo em que impede

que as cavidades com grama atinjam o maior nível de desconforto, neste caso, de extremamente quentes.

Os tipos foram classificados como quentes ou muito quentes. Os tipos quentes, com valores de PMV até 1,5 foram: M13, M15, M17, M19 e M20. Todos os demais estão classificados como muito quentes, são eles: M0, M01, M02, M03, M04, M05, M06, M07, M08, M09, M10, M11, M12, M14, M16 e M18.

b. Orientação norte-sul

As cavidades orientadas para norte-sul apresentaram muitas variações de conforto térmico, chegando a cinco diferentes classificações, que partem desde o estado de conforto térmico, com PMV igual a 0, até o estado de desconforto classificado como muito quente, com PMV igual a 2,5. Não há nenhum tipo configurado com grama que obtivesse o maior grau de desconforto, o de extremamente quente. Este dado reafirma a eficácia da grama no combate a situações microclimáticas de extremos ambientais.

O tipo M01 possui o menor valor de PMV, igual a 0 (zero) e, portanto, é classificado como o único tipo confortável dentre os analisados neste grupo. Este desempenho é equivalente ao registrado na cavidade configurada com árvore, concreto e asfalto. Em seguida, os tipos M02 e M05, obtiveram índice PMV com valores de 0,5 (levemente quentes), seguidos dos tipos M03, M04 e M06 com valores de PMV iguais a 1,0, que equivale à situação classificada como pouco quente. Esses tipos citados acima, que obtiveram o seu status de conforto entre confortável, levemente quente e pouco quente podem ser classificados como aceitáveis diante da gama de tipos analisados nesta pesquisa. Os demais tipos possuem diferentes classificações, a saber. Os tipos M0, M14, M16, M18 e M20 possuem valores de PMV igual a 1,5, ou seja, possuem a classificação de quente. E os tipos M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19 possuem o valor de PMV igual a 2,5, portanto, tendo o seu status de conforto como muito quentes. Os tipos citados neste parágrafo criam situações de desconforto que podem ser consideradas como inaceitáveis, uma vez que configuram espaços urbanos de extremo desconforto, demandando uma emergente alteração de sua configuração urbana.

Afirma-se que não há nenhum tipo classificado como extremamente quente quando o mesmo é configurado com grama. No entanto, pode-se afirmar que, ao se comparar os tipos de mesmo fator  $W/h$ , a orientação dos tipos deixa evidente que os tipos de orientação norte-sul possui situações mais diferenciadas quanto ao conforto térmico, enquanto os tipos orientados para leste-oeste geram situações mais uniformes, e, na maioria das vezes, desconfortáveis termicamente. O desempenho dos cenários configurados com grama assemelhou-se bastante ao desempenho dos cenários

configurados com grama demonstrando a eficiência da vegetação na manutenção do conforto térmico.

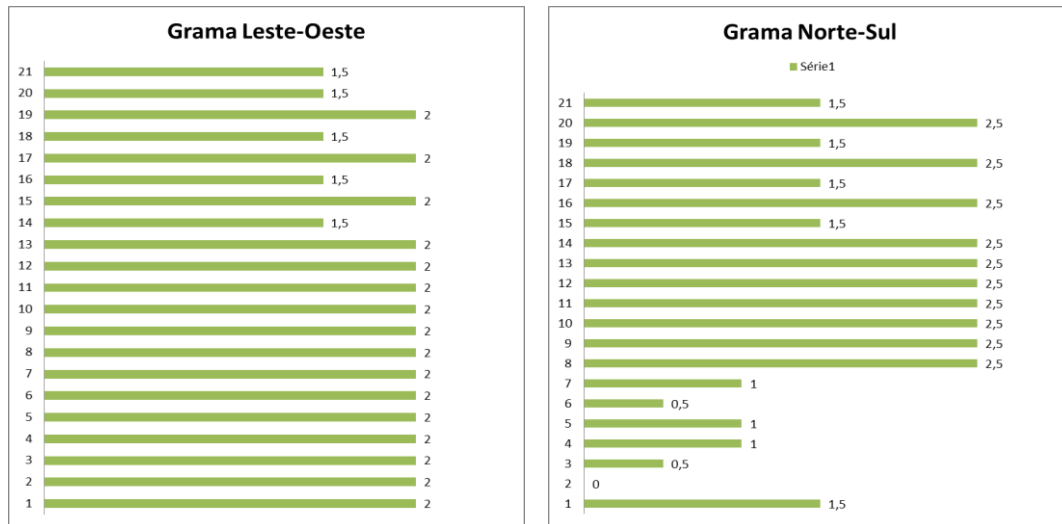


Gráfico 6 - Desempenho de cavidades com grama

#### 6.2.5 Configuração: pedra

##### a. Orientação leste-oeste:

As cavidades orientadas para leste-oeste obtiveram seus estados de conforto classificados em três níveis, sendo o menor ( $PMV = 2,0$ ), classificado como muito quente e o maior ( $PMV = 3,0$ ) classificado como extremamente quente. Com isto, pode-se afirmar que o material **pedra** uniformiza as características ambientais, e possui a tendência ao desconforto térmico.

Os tipos foram classificados como quentes, muito quentes e extremamente quentes. O tipo M0 foi o tipo de melhor desempenho, sendo classificado como muito quente. Os tipos classificados como muito quentes, são: M14, M16, M18 e M20. Os demais tipos são classificados como extremamente quentes: M01, M02, M03, M04, M05, M06, M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19.

##### b. Orientação norte-sul

As cavidades orientadas para norte-sul apresentaram muitas variações de conforto térmico, chegando a cinco diferentes classificações, que partem desde o estado de conforto térmico, com  $PMV$  igual a 0, até o estado de desconforto classificado como extremamente quente, com  $PMV$  igual a 3,0. Estes dados evidenciam o dinamismo microclimático do elemento pedra, em seu uso em cavidades urbanas.

O tipo M01 possui o menor valor de PMV, igual a 0 (zero) e, portanto, é classificado como o único tipo confortável dentre os analisados neste grupo. Este desempenho é equivalente ao registrado na cavidade configurada com árvore, concreto, asfalto e grama. Em seguida, os tipos M02, M03, M04, M05, M06 e M07 obtiveram índice PMV com valor de 1,0 (pouco quente). Esses tipos citados acima, que obtiveram o seu status de conforto entre confortável e pouco quente podem ser classificados como aceitáveis diante da gama de tipos analisados nesta pesquisa.

Os demais tipos possuem diferentes classificações, a saber. O tipo M0 possui valor de PMV igual a 1,5, ou seja, seu status de conforto é classificado como quente. E os tipos M14, M16, M18 e M20 possuem o valor de PMV igual a 2,5, portanto, tendo o seu status de conforto como muito quentes. Os demais tipos: M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19 possuem valor de PMV igual a 3,0, e, portanto, são classificados como extremamente quentes. Os tipos citados neste parágrafo criam situações de desconforto que podem ser consideradas como inaceitáveis, uma vez que configuram espaços urbanos de extremo desconforto, demandando uma emergente alteração de sua configuração urbana.

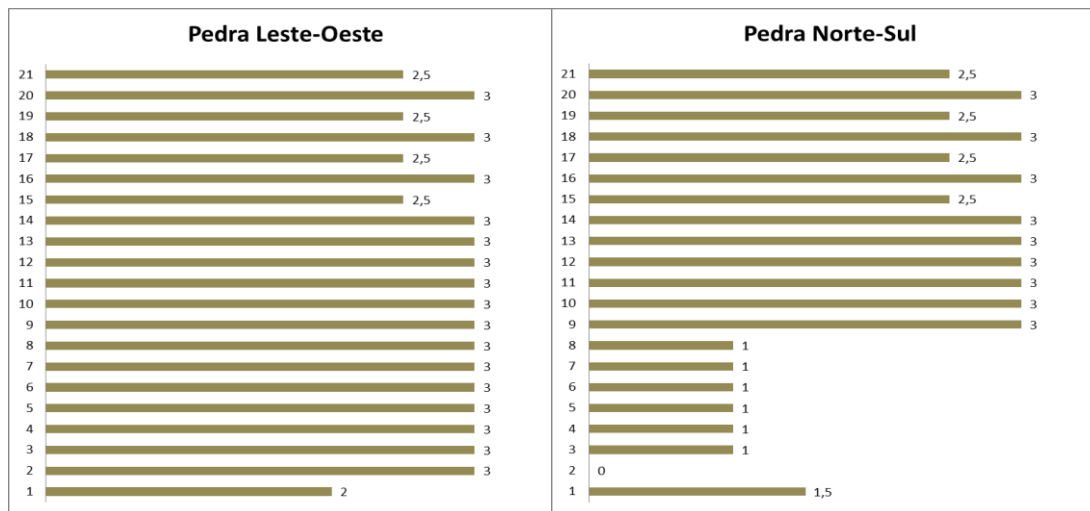


Gráfico 7 - Desempenho de cavidades com pedra

#### 6.2.6 Configuração: terra (solo natural).

##### a. Orientação leste-oeste:

As cavidades orientadas para leste-oeste obtiveram seus estados de conforto classificados em três níveis, sendo o menor (PMV = 2,0), classificado como quente e o maior (PMV = 3,0) classificado como extremamente quente. Com isto, pode-se afirmar que a terra (solo natural) uniformiza as características ambientais, embora permita que

todos os tipos orientados para leste-oeste obtenham desempenho com alto grau de desconforto térmico.

Os tipos M14, M16, M18 e M20 foram classificados como quentes, pois obtiveram valores de PMV até 2,0. Os tipos M01, M02, M03, M04, M05, M06, M07, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M15, M17 e M19 obtiveram valores de PMV iguais a 2,5, portanto, classificados como muito quentes. O único tipo classificado como extremamente quente, que obteve o valor extremo de PMV, igual a 3,0, foi o tipo M0.

b. Orientação norte-sul

As cavidades orientadas para norte-sul apresentaram muitas variações de conforto térmico, chegando a sete diferentes classificações, que partem desde o estado de conforto térmico, com PMV igual a 0, até o estado de desconforto classificado como extremamente quente, com PMV igual a 3,0. Dentre todos os materiais analisados, o solo natural foi o material cujo comportamento permitiu mais variações quanto ao conforto térmico.

O tipo M01 possui o menor valor de PMV, igual a 0 (zero) e, portanto, é classificado como o único tipo confortável dentre os analisados neste grupo. Este desempenho é equivalente ao registrado na cavidade configurada com árvore, concreto, asfalto, grama e pedra, ou seja, é o tipo que possuiu o melhor desempenho para o conforto térmico em todas as configurações analisadas. Em seguida, os tipos M02 e M05, obtiveram índice PMV com valores de 0,5, classificados como levemente quente, seguidos dos tipos M03, M04, M06, M07, M09 e M10 com valores de PMV iguais a 1,0, que equivalem à situação classificada como pouco quente. Esses tipos citados acima, que obtiveram o seu status de conforto entre confortável, levemente quente e pouco quente podem ser classificados como aceitáveis diante da gama de tipos analisados nesta pesquisa. Os demais tipos possuem diferentes classificações, a saber. O tipo M0 possui, isoladamente, o valor de PMV igual a 1,5, representando a classificação quente. Os tipos M14, M16, M18 e M20 possuem valores de PMV igual a 2,0, ou seja, possuem a classificação de quente. E os tipos M08, M12, M15, M17 e M19 possuem o valor de PMV igual a 2,5, portanto, tendo o seu status de conforto como muito quentes. Os tipos M11 e M13 possuem a classificação máxima para o desconforto térmico, neste caso, extremamente quentes. Os tipos citados neste parágrafo criam situações de desconforto que podem ser consideradas como inaceitáveis, uma vez que configuram espaços urbanos de extremo desconforto, demandando uma emergente alteração de sua configuração urbana.

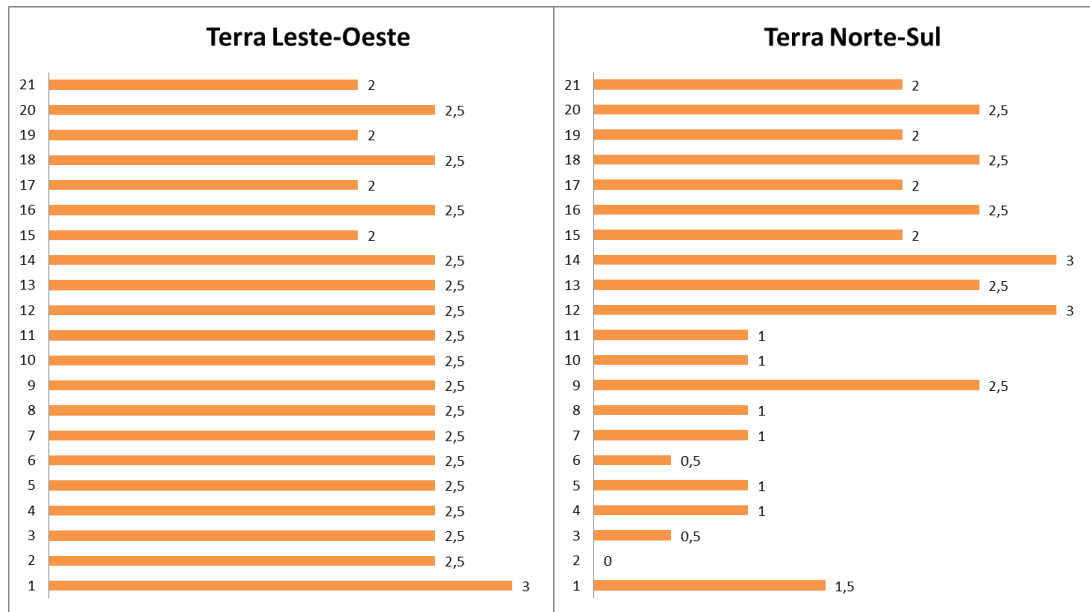


Gráfico 8 - Desempenho de cavidades com terra

### 6.3 Análise do desempenho de diferentes materiais

São apresentados os valores de PMV organizados por materiais, por horário, e por orientação. Dessa forma, é possível obter o desempenho isolado das cavidades de melhor desempenho e associar o grau de conforto térmico ao seu material de configuração: árvore, grama, pedra, solo natural, asfalto ou concreto.

#### 6.3.1 Orientação leste-oeste

É possível concluir que para os tipos orientados para leste-oeste, no horário da manhã (9h) apenas os tipos configurados com árvore ou grama obtiveram valores de PMV menores que 2,0. A partir do M14 os valores de PMV atingem os valores mais baixos, iguais a 1,25. Outro tipo que obteve desempenho regular é o M01. No horário da manhã ainda é possível concluir que os materiais concreto e pedra obtiveram os piores desempenhos térmicos (Tabela 14).

Tabela 14 – Resultados de PMV para tipos orientados para leste (9h)

		ORIENTAÇÃO: LESTE																				
W/h		0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Horário		M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
9h	PEDRA	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25
9h	ÁRVORE	2,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,25	1,75	1,25	1,75	1,25	1,75	1,25
9h	SOLO NATURAL	2,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,75	2,25	1,75	2,25	1,75	2,25	1,75	2,25
9h	CONCRETO	2,25	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25
9h	ASFALTO	2,25	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	1,75	2,75	1,75	2,75	1,75	2,75	1,75
9h	GRAMA	2,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,25	1,75	1,25	1,75	1,25	1,75	1,25

No horário da tarde (18h), há uma grande uniformidade de desempenho térmico, todos com valores máximos de PMV denotando uma situação de desconforto térmico, apenas os tipos configurados com árvore e grama possuem valores de PMV abaixo dos valores extremos, tipos acima do M14. O tipo M1 também obteve, isoladamente, valor de PMV inferior ao valor máximo, ou seja, 2,25 (Tabela 15).

Tabela 15 - Resultados de PMV para tipos orientados para leste (18h)

		ORIENTAÇÃO: LESTE																				
Horário		M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
18h	PEDRA	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	ÁRVORE	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25
18h	SOLO NATURAL	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	CONCRETO	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	ASFALTO	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	GRAMA	2,75	2,25	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25



### 6.3.2 Orientação norte-sul

Os tipos orientados para norte-sul, no horário da manhã (9h), possuem resultados mais variados. Vê-se também que os tipos configurados com árvore ou grama obtiveram valores de PMV menores que 1,5. Mas também é notório que tipos inferiores a M7 são os tipos com melhor desempenho, em todas as configurações.

Ainda no horário da manhã (9h), o tipo M01 destaca-se dos demais pois ainda possui valores que denotam um leve sensação de frio (PMV = -0,25). Os tipos M02, M3, M4 e M5 (especialmente) possuem valores de PMV inferiores a 1,0, que denota uma sensação de leve calor, e, portanto, considerada aceitável.

Os materiais: concreto, asfalto e pedra acumularam os maiores valores de PMV, e, portanto, conformam situações de maior desconforto térmico. Dentre todos, os tipos já a partir do M07 possuem concreto e asfalto já em condição de desconforto extremo (valor de PMV superior a 2,5) (Tabela 16).

Tabela 16 – Resultados de PMV para tipos orientados a norte (9h)

		ORIENTAÇÃO: NORTE																				
Horário		M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
9h	PEDRA	1,25	-0,25	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
9h	ÁRVORE	1,25	-0,25	0,25	0,75	0,75	0,25	2,25	1,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,25	2,25	2,25	1,25	2,25	1,25	2,25	1,25
9h	SOLO NATURAL	1,25	-0,25	0,25	0,75	0,75	0,25	0,75	0,75	2,25	0,75	0,75	2,75	2,25	2,75	1,75	2,25	1,75	2,25	1,75	2,25	1,75
9h	CONCRETO	1,25	-0,25	0,75	0,75	0,75	0,25	0,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25
9h	ASFALTO	1,25	-0,25	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	1,75	2,75	1,75	2,75	1,75	2,75	1,75
9h	GRAMA	1,25	-0,25	0,25	0,75	0,75	0,25	0,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,25	2,25	1,25	2,25	1,25	2,25	1,25

Observando o horário da tarde (18h), é possível detectar que os tipos de M06 a M14 possuem desempenho regular. Os tipos de menor desempenho térmico são os tipos de M01 a M05 e os tipos superiores a M15. Visualiza-se, portanto, três patamares de cavidades urbanas (Tabela 17).

Tabela 17 – Resultados de PMV para tipos orientados a norte (18h)

		ORIENTAÇÃO: NORTE																				
Horário		M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
18h	PEDRA	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	1,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	ÁRVORE	1,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,25	2,75	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75
18h	SOLO NATURAL	1,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,25	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	CONCRETO	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	ASFALTO	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
18h	GRAMA	1,75	2,25	2,75	2,75	2,25	2,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75	2,25	2,75

### 6.3.3 Contribuição térmica por material

Apresentam-se as contribuições de cada material urbano para o índices PMV de conforto térmico. Os resultados mostram que os materiais impermeáveis (asfalto, concreto e pedra) são os maiores responsáveis pelo aumento do valor de PMV, e, portanto, pela sensação de desconforto. Em contrapartida, os materiais permeáveis (árvore, grama e solo natural) são os que menos contribuem para o desconforto térmico. A contribuição de cada material para o índice PMV pode ainda ser obtido a partir dos valores médios de PMV para os cenários simulados para as duas horas de referência 9 h e 18 h (Gráfico 9, Gráfico 10 e Gráfico 11).

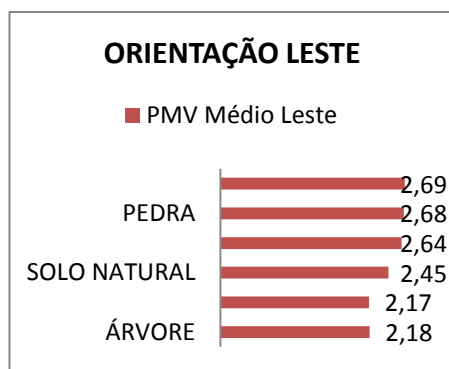


Gráfico 9 – Valores de PMV médio para tipos orientados para leste

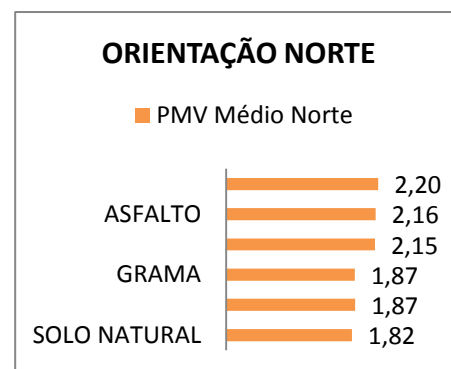


Gráfico 10 – Valores de PMV médio para tipos orientados para norte

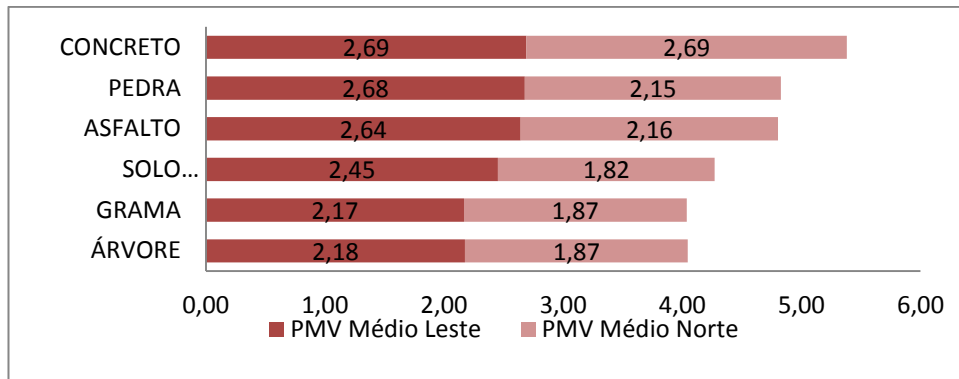


Gráfico 11 – Contribuição dos materiais urbanos para o índice PMV

#### 6.4 Análise e categorização das cavidades urbanas

Este tópico desenvolve a análise final das cavidades urbanas. Durante a análise, conceitua e cria categorias de cavidades quanto ao seu desempenho térmico. Para isso, foi utilizado o desvio-padrão<sup>22</sup> de cada cenário. Os valores foram extraídos em todas as simulações das seis configurações de elementos de revestimento do solo. A partir dele é possível concluir quais dos materiais avaliados, por exemplo, apresentam valores de PMV mais correlatos, ou seja, com valores de desvio-padrão mais baixos (Tabela 18).

Tabela 18 – Desvio-padrão (S) dos diferentes tipos (9h e 18h)

Configuração	Orientação	Desvio-Padrão (S)
Pedra	Norte	1,00
Asfalto	Norte	0,97
Concreto	Norte	0,97
Terra	Norte	0,84
Grama	Norte	0,76
Árvore	Norte	0,73
Terra	Norte	0,54
Árvore	Norte	0,50
Grama	Norte	0,43
Asfalto	Leste	0,41
Pedra	Norte	0,37
Concreto	Norte	0,34
Asfalto	Norte	0,34
Árvore	Leste	0,31
Grama	Leste	0,31
Pedra	Leste	0,28
Terra	Leste	0,26
Concreto	Leste	0,22
Grama	Leste	0,22
Árvore	Leste	0,20
Pedra	Leste	0,00
Terra	Leste	0,00
Concreto	Leste	0,00
Asfalto	Leste	0,00

<sup>22</sup> O desvio-padrão pode-se conceituar como o desvio dos valores em relação à média dos valores. Seu valor ideal é igual a zero, e, quanto maior for, mais problemática é a pesquisa. Esta medida estatística é fundamental para dar confiabilidade nas respostas da pesquisa. O desvio padrão é calculado por meio da raiz quadrada da variância para a amostra (TIBONI, 2010).

A partir dos resultados de desvio-padrão (S), é possível selecionar os cenários, que, submetidos às mesmas condições climáticas, possuem resultados mais estáveis, e, logo, confiáveis, de onde é possível analisar os dados com mais precisão. Nesta tese, considera-se como desvio-padrão aceitável se inferiores a 50% ou 0,5. Logo, o maior valor de desvio-padrão aceitável para a pesquisa foi do tipo configurado com árvore, de orientação norte.

Observa-se, no entanto, que os demais resultados de outras configurações, no entanto, podem não representar com exatidão o desempenho real das cavidades analisadas. Afirma-se isso uma vez que há alterações no comportamento do desvio-padrão (S) de alguns valores de PMV em alguns cenários.

A partir dos valores de desvio-padrão encontrados, foi possível identificar os cenários cujas configurações responderam ao desempenho térmico com um maior grau de correlação, de onde serão extraídas as equações para as quatro categorias de cavidades identificadas: a - cavidade leste com materiais permeáveis; b - cavidade leste com materiais impermeáveis; c - cavidade norte com materiais permeáveis e d - cavidade norte com materiais impermeáveis.

Tabela 19 – Valores de desvio-padrão para cavidades de orientação leste

LESTE		
Categoria	Configuração	Desvio-Padrão (S)
PERMEÁVEIS	Árvore	0,31
	Árvore	0,20
	Gramma	0,31
	Gramma	0,22
	Terra	0,26
	Terra	0,00
IMPERMEÁVEIS	Asfalto	0,41
	Asfalto	0,00
	Concreto	0,22
	Concreto	0,00
	Pedra	0,28
	Pedra	0,00

Tabela 20 – Valores de desvio-padrão para cavidades de orientação norte

NORTE		
Categoria	Configuração	Desvio-Padrão (S)
PERMEÁVEIS	Árvore	0,73
	Árvore	0,50
	Gramma	0,76
	Gramma	0,43
	Terra	0,84
	Terra	0,54
IMPERMEÁVEIS	Asfalto	0,97
	Asfalto	0,34
	Concreto	0,97
	Concreto	0,34
	Pedra	1,00
	Pedra	0,37

Os gráficos foram gerados apenas com os dados que obtiveram maiores valores de correlação, para que os patamares fossem mais claramente identificados. Os patamares seguem os valores de PMV, logo, serão resumidos para três níveis: confortáveis, mediamente confortáveis e desconfortáveis.

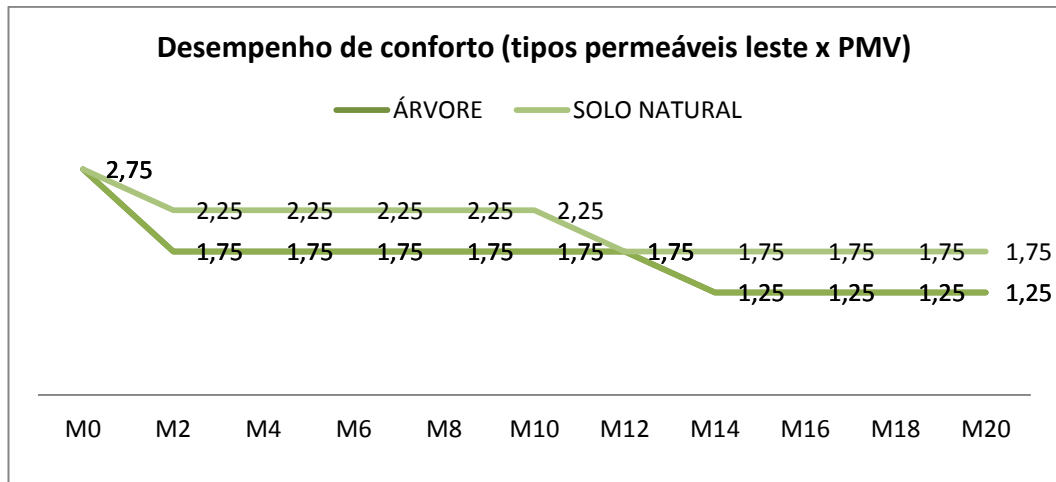


Gráfico 12 – Perfil do PMV de cavidades urbanas com materiais permeáveis (leste)

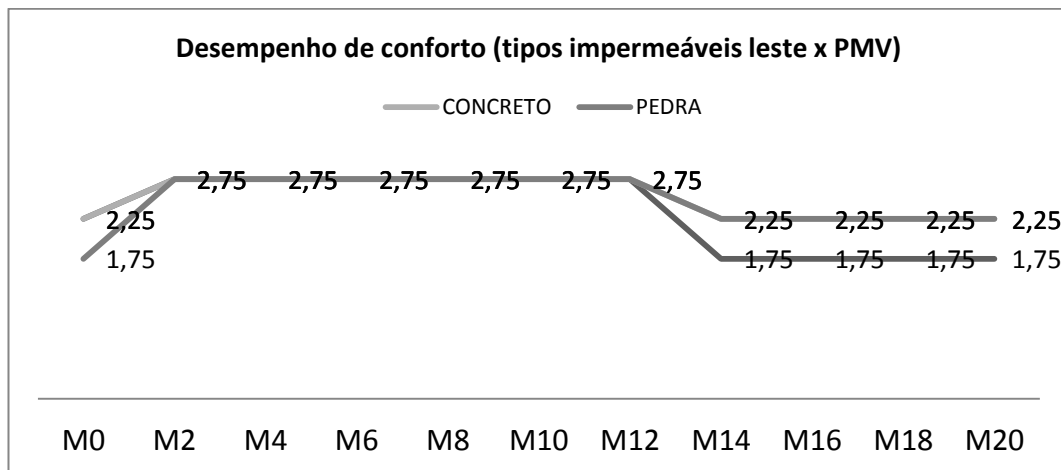


Gráfico 13 – Perfil do PMV de cavidades urbanas com materiais impermeáveis (leste).

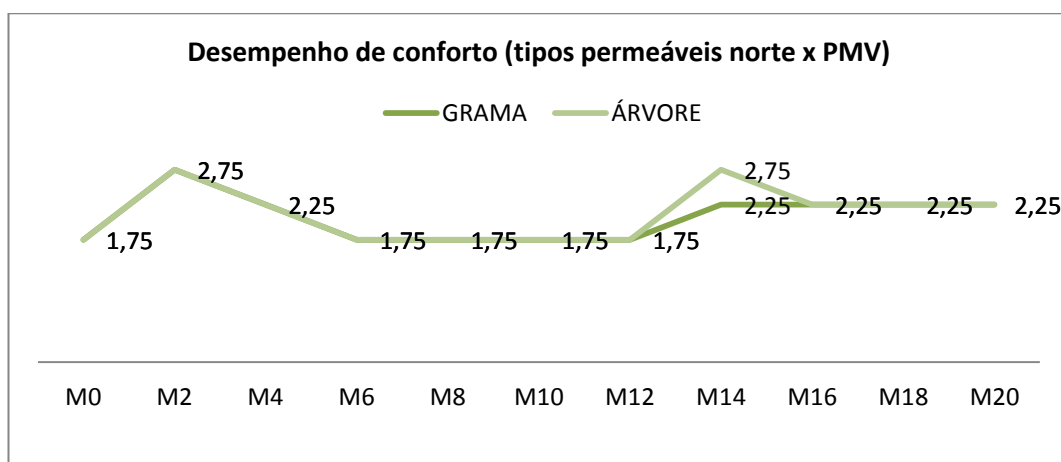


Gráfico 14 – Perfil do PMV de cavidades urbanas com materiais permeáveis (norte).

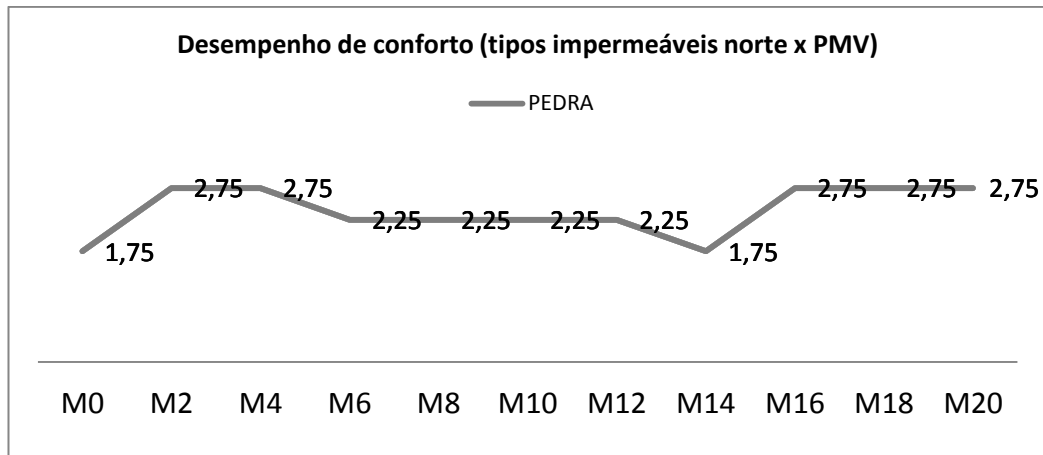


Gráfico 15 – Perfil do PMV de cavidades urbanas com materiais impermeáveis (norte).

Os gráficos reúnem o desempenho térmico (PMV) de 11 tipos dos 21 analisados. Os tipos que representavam valores de W/h de números não inteiros possuíam alto desvio-padrão, e, para esta última etapa de análise, foram extraídos dos gráficos de resultados. A redução dos tipos não prejudica a quantidade de informações disponíveis, uma vez que os onze tipos representam toda a amplitude de cavidades analisadas, partindo do valor W/h de 0,1 (M0) até o valor de W/h igual a 10 (M20).

De caráter didático, foi adotada a mesma simplificação nas análises de PMV pontuais de cavidade, por meio da tabela de pontuação, de lógica inversa ao valor do PMV, onde para a maior condição de conforto é atribuído o valor 5 (cinco), e para a pior condição o valor 0 (zero) (Tabela 6 e Tabela 21).

Tabela 21 – Pontuação do status de conforto

Valor de PMV	Status	Pontuação
-0,5 – 1,0	Levemente frio	4
-0,5 - 0	<b>Confortável</b>	<b>5</b>
<b>0 - 0,5</b>	<b>Confortável</b>	<b>5</b>
0,5 – 1,0	Levemente quente	4
1,0 – 1,5	Pouco quente	3
1,5 – 2,0	Quente	2
2,0 – 2,5	Muito quente	1
2,5 – 3,0	Extremamente quente	0

As cavidades com valores de PMV entre 0 a 1,25 são consideradas confortáveis, as cavidades com valores entre 1,25 e 2,25 são consideradas mediantemente confortáveis e as cavidades com valores acima de 2,25 são consideradas desconfortáveis.

Tabela 22 – Tabela de pontuação dos tipos de orientação leste

		ORIENTAÇÃO: LESTE										
W/h		0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Horário		M0	M2	M4	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
9h	GRAMA	0	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
9h	ÁRVORE	0	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
9h	SOLO NATURAL	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	PERMEÁVEL	0	5	5	5	5	5	6	8	8	8	8
9h	CONCRETO	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
9h	ASFALTO	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
9h	PEDRA	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	IMPERMEÁVEL	4	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4

Tabela 23 – Tabela de pontuação dos tipos de orientação norte

		ORIENTAÇÃO: NORTE										
W/h		0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Horário		M0	M2	M4	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
18h	GRAMA	2	0	1	2	2	2	2	1	1	1	1
18h	ÁRVORE	2	0	1	2	2	2	2	0	1	1	1
18h	SOLO NATURAL	2	0	1	2	2	2	2	3	0	0	0
	PERMEÁVEL	6	0	3	6	6	6	6	4	2	2	2
18h	CONCRETO	2	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0
18h	ASFALTO	2	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0
18h	PEDRA	2	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0
	IMPERMEÁVEL	6	0	0	3	3	3	3	6	0	0	0

Tabela 24 – Pontuação mediana de cavidades urbanas a partir do seu grau de conforto

		RELAÇÃO (Wh)										
ORIENTAÇÃO		0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CONFIGURAÇÃO		M0	M2	M4	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
LESTE	PERMEÁVEL	0	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	IMPERMEÁVEL	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
NORTE	PERMEÁVEL	2	0	1	2	2	2	2	1	1	1	1
	IMPERMEÁVEL	2	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0

A partir da pontuação de 0 (zero) a 5 (cinco) atribuída ao desempenho de conforto, onde cinco equivale à situação de conforto e zero a de desconforto, chegou-se a outra simplificação: os valores entre 0 (zero) e 1 (um) foram considerados com o status de desconforto; valores entre 1 (um) e 2 (dois), foram considerados com o status de conforto e valores iguais a 3 (três), neste caso, foram os tipos cujo comportamento térmico não foi definido pela cavidade, mas pelas condições ambientais naturais, e, portanto, não são classificadas com conforto, mas indiferente (Tabela 25).



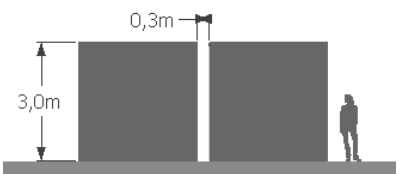
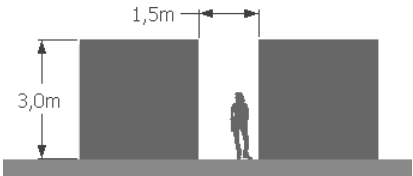
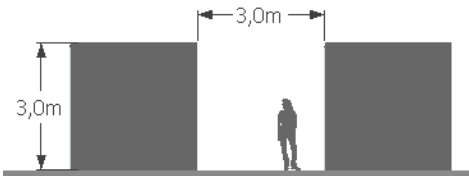
Tabela 25 – Categorias de cavidades urbanas segundo o seu grau de conforto térmico

CATEGORIAS DE CAVIDADES URBANAS					
ORIENTAÇÃO	CONFIGURAÇÃO	CVU-1	CVU-2	CVU-3	-
		De 0 a 1	De 1 a 3	De 3 a 7	De 7 a 10
LESTE	PERMEÁVEL	DESCONFORTO	CONFORTO	CONFORTO	INDIFERENTE*
	IMPERMEÁVEL	DESCONFORTO	DESCONFORTO	DESCONFORTO	INDIFERENTE*
NORTE	PERMEÁVEL	DESCONFORTO	DESCONFORTO	CONFORTO	DESCONFORTO
	IMPERMEÁVEL	DESCONFORTO	DESCONFORTO	CONFORTO	DESCONFORTO

\*Cavidades onde há recuperação das condições ambientais naturais

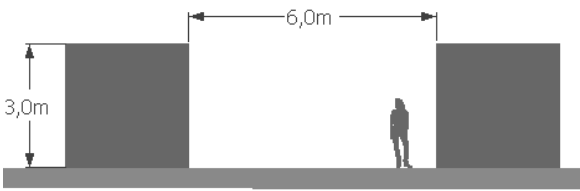
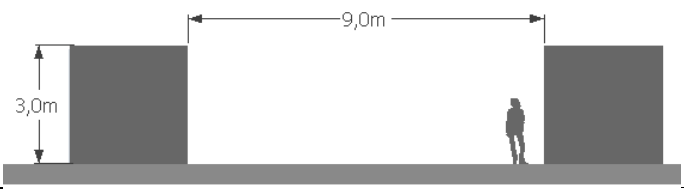
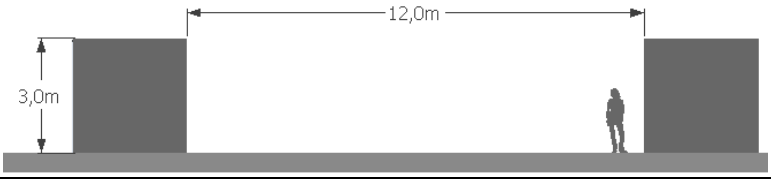
Por fim, chegou-se à definição de três categorias de cavidades urbanas, a partir da relação  $W/h$  e do seu desempenho climático. São elas: CVU-1: de  $W/h$  entre 0 e 1; CVU-2: de  $W/h$  1 a 3 e CVU-3: de  $W/h$  entre 3 e 7. Respectivamente, quadros 13, 14 e 15.

Quadro 13 – Categoria de Caverna Urbana 01

W/h	DESENHO ESQUEMÁTICO DA CVU
0,1	
0,5	
1	

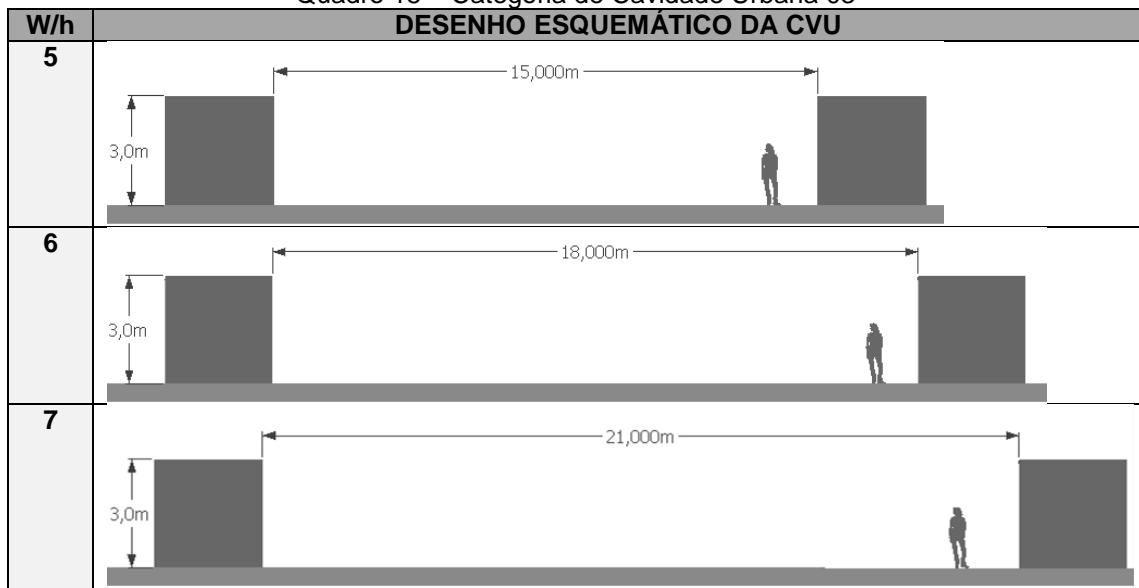
As cavernas urbanas da categoria 01 aproximam-se do conceito de espaços claustrofóbicos de Romero. São morfologias com pouco afastamento entre edificações que gerando áreas de ilhas de calor em potencial e de acúmulo das características ambientais amplamente influenciadas pelas edificações que conformam o espaço, geram um confinamento para o desempenho ambiental, portanto, podem ser classificadas como cavernas de confinamento.

Quadro 14 – Categoria de Cavityde Urbana 02

W/h	DESENHO ESQUEMÁTICO DA CVU
2	
3	
4	

As cavidades urbanas da categoria 02 podem ser classificadas como os espaços de recolhimento ou espaços do cotidiano (Romero, 2001). Nesta morfologia, o afastamento das edificações é mediano, assim, o desempenho ambiental é melhor compreendido pois não há nem um alto grau de recolhimento nem um alto grau de afastamento.

Quadro 15 – Categoria de Cavityde Urbana 03



Nas cavidades urbanas de categoria 03, os espaços foram classificados como expansivos (Romero, 2001), onde o alto grau de afastamento das edificações gera áreas com o desempenho ambiental menos influenciado pelas edificações e mais pela superfície do solo.

Os tipos categorizados representam os valores de W/h entre 0,1 e 7. Os tipos de W/h com valores entre 7 e 10 não foram classificados como cavidades urbanas. Dentre todas as analisadas, as cavidades consideradas confortáveis foram:

- As cavidades orientadas para o leste das categorias: CV2 e CV3, quando configuradas com materiais permeáveis;

- As cavidades orientadas para o norte das categorias: CV3, configuradas com materiais permeáveis ou impermeáveis.

As cavidades da categoria CV1, portanto, geradoras de espaços confinados, não possuem bom desempenho térmico, ou não atingem o grau de conforto térmico.

As cavidades da categoria CV3 são as cavidades mais confortáveis para o clima da cidade de Brasília, independente da orientação e do revestimento dos materiais.

## 6.5 Considerações finais do capítulo

Este capítulo abordou a análise dos resultados de PMV e suas possíveis correlações entre os parâmetros, orientação e relação W/h. Organizaram-se os dados simulados em tabelas, apresentou gráficos de correlação e discutiu a confiabilidade dos dados. Foi fundamental para a qualidade deste trabalho uma compreensão mais adequada do desempenho do conforto térmico analisado, utilizando o cálculo do desvio-padrão.

Analisando-se os materiais permeáveis e impermeáveis, conclui-se que a contribuição dos materiais permeáveis como a árvore, a grama e o solo natural para o conforto térmico assume melhor efeito nos tipos de orientação norte-sul. Nos tipos de orientação leste-oeste, esses materiais confere um melhor desempenho térmico a quase todos os tipos, especialmente do tipo M01 ao tipo M14.

Depois de uma análise mais complexa, envolvendo vários horários durante o dia, para a obtenção de um desempenho unificado do dia inteiro, notou-se que o desempenho da cavidade que eram extraídos a partir da média diária obtinha valores muito frágeis. Isto ocorria devido a média diária feita entre os valores de PMV do horário da manhã, por vezes melhores do ponto de vista do conforto, mesclados com o desempenho da tarde, mais altos e menos confortáveis. Esta média geral prejudicava uma análise mais precisa do desempenho real da cavidade.

Na análise dos resultados dos níveis de PMV dentre os 21 tipos analisados, não foi identificada uma correlação clara entre a relação W/h e o nível de conforto atingido. Dessa forma, partiu-se para a definição de categorias de tipos, uma vez que a observação dos perfis lineares permitiu a identificação de patamares de valores de PMV, e, portanto, de tipos. Sendo assim, os dados analisados foram submetidos ao cálculo do desvio-padrão.

Os altos valores de PMV no horário das 18h mostram que os edifícios bloqueiam o vento leste predominante na região de Brasília –, que é fundamental para favorecer as trocas térmicas do solo com o ar. Este horário representa o pico de desconforto durante o dia. Esta morfologia impede que a superfície urbana perca calor com a chegada das brisas noturnas a partir desse horário.

Os altos valores de PMV no horário noturno mostram que edifícios de maior gabarito podem bloquear o vento leste predominante na região de Brasília. Esta configuração impede que a superfície urbana perca calor com a chegada das brisas noturnas.

É possível concluir que para os tipos orientados para leste-oeste, no horário da manhã (9h) apenas os tipos configurados com permeáveis obtiveram uma situação de conforto

aceitável. No horário da tarde (18h), há uma grande uniformidade de desempenho térmico.

Por fim, chegou-se à definição de três categorias de cavidades urbanas, a partir da relação  $W/h$  e do seu desempenho climático. São elas:

- CVU-1: de  $W/h$  entre 0 e 1;
- CVU-2: de  $W/h$  1 a 3;
- CVU-3: de  $W/h$  entre 3 e 7.

Assim, os tipos que representam as cavidades com  $W/h$  superiores a 7 (sete) não possuem o desempenho climático previsível como o das demais cavidades, logo, compreende-se que o microclima de configurações com relação  $W/h$  superiores a 7 não são conformados por esta configuração urbana. Dessa forma, chega-se ao conceito de cavidade urbana: significa a conformação urbana cuja relação  $W/h$  tem valores entre 0 e 7, uma vez que valores acima de 7 não possuem o seu microclima condicionado pela configuração urbana da microescala, mas do mesoclima ou do macroclima.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O foco da pesquisa se deu na avaliação de diferentes níveis de conforto térmico provenientes de diferentes arranjos configuracionais (relação W/h e materiais superficiais) que conformaram cenários hipotéticos projetados para o clima da cidade de Brasília.

Com a finalização do trabalho, ao se analisar todos os dados provenientes das simulações computacionais, foi possível classificar as diferentes morfologias analisadas e, por fim, estabelecer categorias de análise e de aceitabilidade de conforto térmico para o contexto urbano do Distrito Federal.

A experiência no uso de simulações computacionais permitiu que fosse recortado o número grande de tipos para que as simulações computacionais fossem suficientes para a obtenção de resultados palpáveis. Essas simulações realizadas puderam oferecer um resultado útil que servirá de subsídio para uma planilha de análise de cavidades urbanas.

O uso da ferramenta computacional mostrou-se como uma estratégia bastante útil, pois possibilitou uma ampla análise, de 252 cenários diferentes. Porém, a geração de mapas no *plugin* Leonardo mostrou-se como um método lento e que demandava mais tempo para a análise. Com esta avaliação, se iniciou o preenchimento de planilhas do Excel, em que foi possível tabular os valores calculados pelas simulações, de modo mais rápido e organizado.

A previsão de problemas de ordem ambiental por meio de simulações computacionais pode apontar importantes soluções com baixo custo operacional. Especificamente no caso no *ENVI-met*, pode-se afirmar com segurança o baixo custo operacional, uma vez que se trata de um *freeware*. Para a confiabilidade dos dados, no entanto, é essencial que a fonte dos dados seja segura e de uma estação climatológica mais próxima da área de estudo possível.

Nesse sentido, reafirma-se que o uso de ferramentas computacionais na avaliação ambiental pode auxiliar na tomada de decisões em estudos prognósticos e, claro, na construção de um espaço mais qualificado ambientalmente. Dessa forma, pesquisas

---

específicas que consigam apresentar propostas objetivas que amenizem o impacto ambiental causado pelo processo de urbanização são muito válidas. Por outro lado, uma das limitações pontuadas neste trabalho está na limitação de acesso ao banco de dados do Inmet. Outra limitação evidenciada no trabalho é a limitação do contexto climático do Distrito Federal, que exige uma abordagem restrita.

A apresentação dos temas climatologia e conforto térmico a partir de um ponto de vista urbanístico, foi o ponto em que se destacou o foco de muitas pesquisas voltadas para as alterações que as atividades urbanas geram no espaço construído. Nesse sentido, este trabalho se posiciona como um instrumento didático para que os arquitetos e urbanistas compreendam melhor a dinâmica do clima urbano, sobretudo ao que se processa na microescala urbana e, ainda, passem a assumir o papel de construtores de um microclima urbano mais confortável, uma vez que a cada dia são disponibilizados mais instrumentos de controle da qualidade ambiental.

Quando se conduziu o conceito de conforto térmico para espaços abertos, citaram-se as relações entre a configuração urbana e o conforto térmico, focalizando as relações de altura e espaçamento entre edificações, uma vez que essa configuração urbana é definidora do microclima, o que foi comprovado ao final da tese. A relação entre altura e largura cria espaços mais ou menos confortáveis, a partir da proporção denominada  $W/h$ , porém, essa relação não se dá de forma linear.

Para facilitar a interpretação dos resultados de conforto térmico, optou-se pelo uso do índice PMV de Fanger. O uso desse índice mostrou-se de fácil compreensão: uma vez que trabalha com o conceito de equilíbrio térmico, os valores foram sempre de interpretação direta e, ao ser utilizado dentro da plataforma do programa *ENVI-met*, foi poupado um conjunto de operações e retrabalho se fosse utilizado outro índice a partir de dados coletados em campo. Essa definição do índice PMV e da utilização do programa *ENVI-met* buscou evitar erros advindos da falta de controle de informações, caso fossem manipuladas outras ferramentas.

No momento em que se discute a temática das tecnologias computacionais, percebe-se a importante contribuição que a revolução digital aferiu para a área da arquitetura e do urbanismo. Destacou-se o uso de ferramentas computacionais capazes de desenvolver desde estudos de modelagem ambiental como também desenvolver análises com o uso da simulação computacional. Nesse sentido, foi essencial a experimentação do uso da simulação computacional na tese, comprovando a eficácia, e, ao mesmo tempo, a necessidade de desenvolvimento de ferramentas próprias de simulação adequadas às características ambientais do lugar.



---

É preciso fomentar a capacitação de pesquisadores da área de simulação para que saibam utilizar as ferramentas computacionais disponíveis. A formação na área da simulação de mais profissionais catalisará linhas de financiamento para pesquisas da área, abrindo a possibilidade para a criação de grupos técnicos de discussão, o que contribuirá para a disseminação das novas técnicas e para o uso de programas de simulação por profissionais ligados ao processo de planejamento, e não apenas da projeção e execução.

Ao se discutir o contexto urbanístico do DF, destaca-se a lacuna existente na sua legislação urbanística, que dificilmente incorpora instrumentos bioclimáticos em seu teor. Assim, procurou-se contextualizar a oportunidade de exequibilidade de estudos prospectivos que busquem contribuir com a elaboração de prescrições urbanísticas que auxiliem na qualidade ambiental das cidades.

É fundamental que o conforto térmico seja um dos parâmetros considerados para a melhoria do espaço urbano, pois as ações de melhoria da qualidade urbana repercutem numa recuperação do espaço público, e as intervenções em muitas cidades do mundo mostram que o uso do espaço público pelo pedestre incrementa de qualidade o espaço da cidade. Para tanto, é fundamental que o espaço urbano seja qualificado, antes de ser ofertado ao pedestre.

Para trabalhos futuros, recomenda-se associar as pesquisas de indicadores de qualidade do ambiente urbano às sensações térmicas dos usuários, uma vez que essa sensação é diretamente ligada ao conforto ambiental e contribui — ou estimula — para que o usuário busque alternativas de uso do espaço externo. Além disso, compreende-se que a técnica da simulação computacional é uma importante forma de se monitorar com precisão a qualidade do espaço construído.

A caracterização dos tipos climáticos do Distrito Federal mostra-se como fundamental para uma compreensão do clima urbano mais próximo da microescala urbana. Tal compreensão possibilitou a avaliação das frações urbanas submetidas à análise computacional. Assim, o contexto climático do DF abordado nesta tese enquanto aporte físico, concreto, aborda o clima de uma cidade real, o que torna a pesquisa mais aplicável e confiável.

Nesse sentido, a análise do espaço urbano por meio do uso de frações hipotéticas se mostrou adequada, pois foi possível colecionar uma série de relações existentes entre a morfologia urbana sem necessariamente partir-se para uma profunda análise em diversos estudos de caso.

O processo metodológico por meio de frações hipotéticas ocorreu para que os resultados fossem mais facilmente controláveis, sem interferência de outros elementos que

---

conformam o clima urbano, como a geração de calor antropomórfico, o efeito da arborização urbana, a maior concentração de pessoas no espaço público ou aumento no tráfego de veículos, pois se sabe que estes elementos intrínsecos à cidade influenciam diretamente o microclima urbano.

Uma grande vantagem do programa *ENVI-met*, além da gratuidade, deve-se ao fato de ele possibilitar a geração de todos os dados simulados ao tempo em que oferece uma plataforma de modelagem bastante simplificada.

Com as simulações, obteve-se um banco de informações técnicas dos dados simulados, contendo o diagnóstico do desempenho térmico de diferentes morfologias urbanas, o que contribuiu para a categorização das cavidades quanto ao seu nível de conforto térmico.

A sistematização dos resultados apresentada no capítulo seis dedicou-se a explicar os tipos de gráficos e quadros nos quais foram organizados os dados simulados. Com a tabulação dos dados, detectou-se que os horários das 9h e das 18h mostraram-se com valores de PMV menos uniformes, e, portanto, equivaleriam aos horários que facilitariam a interpretação dos dados de conforto. Por isso, foram escolhidos para representarem os turnos da manhã (9h) e tarde (18h).

Os dados trabalhados no decorrer da tese foram submetidos ao contexto climático do Distrito Federal, logo, podem ter confiabilidade em cidades de contexto climático semelhante ao de Brasília. O fechamento das análises das simulações, apresentadas no capítulo sete, permitiu identificar as cavidades mais confortáveis para o clima de Brasília e ainda identificar três categorias de cavidades, a partir do seu comportamento térmico. São elas as cavidades urbanas tipo 1 (CVU-1), as cavidades com relação  $W/h$  entre 0 e 1 (espaços claustrofóbicos); cavidades urbanas tipo 2 (CVU-2), são as cavidades com relação  $W/h$  entre 1 e 3 (espaços de recolhimento); e, por fim, cavidades urbanas tipo 3 (CVU-3), aquelas com relação  $W/h$  entre 3 e 7 (espaços expansivos).

Como últimos resultados, numa análise conjugada de todas as cavidades avaliadas, aquelas que obtiveram o melhor desempenho de conforto térmico para o clima de Brasília foram as orientadas a leste-oeste, e que foram configuradas por materiais permeáveis na base da estrutura urbana. Entre todos os valores de  $W/h$  analisados, tem-se que as cavidades mais confortáveis foram as das categorias CVU-2 e CVU-3, que possuem, portanto, relação  $W/h$  entre 1 e 7. Especialmente as cavidades orientadas para norte-sul da categoria CVU-3 (relação  $W/h$  entre 3 e 7), também são consideradas confortáveis tanto configuradas com material permeável quanto impermeável.

Isso significa que as cavidades da categoria CV3 ( $W/h$  entre 3 e 7) são as mais recomendadas para a cidade de Brasília, uma vez que possuem bom nível de conforto

---

térmico independentemente da orientação e da configuração do solo. Com esta análise, concluiu-se ser possível definir o grau de abertura e de fechamento dos espaços urbanos que promovam mais conforto térmico em Brasília.

Os edifícios orientados no eixo leste-oeste apresentaram resultados que indicam maior grau de conforto em suas cavidades. Isto se deve ao fato de que a latitude de Brasília, 16 graus sul, faz com que o sol tenha o seu percurso aparente mais a norte, assim, a projeção de sombra é consideravelmente maior que a projeção de sombra em edifícios implantados a norte-sul. Dessa forma, o eixo leste-oeste gera cavidades urbanas mais confortáveis termicamente.

Por fim, a partir da relação  $W/h$  e do seu desempenho climático são criadas três categorias de cavidades urbanas com as suas respectivas recomendações para o contexto climático de Brasília:

- CVU-1: de  $W/h$  entre 0 e 1: **não são recomendadas** para o clima de Brasília pois geram acúmulo de calor (exceção: Zona Mesoclimática 4C, ausência de verão mais rigoroso).
- CVU-2: de  $W/h$  1 a 3: **são recomendadas**, desde que tenha a base da cavidade conformada com **solo permeável**;
- CVU-3: de  $W/h$  entre 3 e 7: **são recomendadas** independente do tipo de solo da base.

Para trabalhos futuros, no âmbito do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tem-se a proposta da elaboração de uma ferramenta de análise do microclima do ambiente urbano (já em andamento). Essa ferramenta visará, de uma forma didática, auxiliar o projetista do espaço urbano, a partir da morfologia de sua fração urbana projetada ou analisada, assim como a definição de materiais de revestimento das superfícies urbanizadas, possa detectar qual o grau de conforto térmico proveniente daquela proposta urbanística, submetidos aos diferentes períodos climáticos do Distrito Federal.

No âmbito das legislações locais, uma das formas de contribuir é na busca de métodos de avaliação aplicáveis na escala intraurbana, uma vez que é nesta escala que o ambiente pode ser modificado de forma mais ágil e é onde a sociedade poderá obter respostas mais emergentes. Nesse sentido, uma das formas viáveis de oferecer intervenções urbanísticas que qualifiquem as cidades é monitorar a sua qualidade por meio de índices como o índice de conforto adotado nesta tese.

Outra prospecção da tese é fomentar o uso da simulação computacional disseminando a lógica da retroalimentação, ou seja, utilizar os dados simulados para a compreensão

---

acerca dos fenômenos climáticos urbanos e o seu impacto no ambiente construído. Para, a partir disto, partir-se para a modelagem das soluções adequadas.

Pretende-se ainda desenvolver um banco de dados de conforto térmico e clima urbano para possibilitar a criação de uma ferramenta de avaliação de conforto urbano, por meio qual se possa antever o grau de conforto térmico proveniente de um arranjo urbanístico nas fases iniciais de projeto. A proposta da ferramenta seria o de monitorar a qualidade térmica do espaço urbano, para que num segundo momento passe a fomentar a criação de um *software* de avaliação de conforto térmico urbano para o contexto do Distrito Federal.

Com a disponibilização dessa ferramenta, pode-se exigir das administrações locais, por exemplo, que ao avaliar novos projetos ou intervenções urbanísticas na microescala urbana, o profissional utilize a ferramenta e passe a ter algum subsídio técnico que o auxilie na avaliação. Esse processo auxiliaria o técnico (avaliador) ou projetista (arquiteto e urbanista) a prever os impactos de conforto térmico que o arranjo urbanístico proposto causaria. Espera-se também que ferramentas e avaliação possam oferecer insumos para a revisão dos planos diretores locais (PDOT no caso do DF) para que se possa exigir a implementação de uma abordagem mais bioclimática e comprometida com a sustentabilidade urbana.

Por fim, como uma importante forma de organizar a coleta de dados climáticos oficiais, recomenda-se a implantação de estações climatológicas (monitoradas e calibradas pelo INMET) nas três zonas mesoclimáticas do Distrito Federal. Dessa forma, será possível acompanhar de maneira mais próxima a qualidade climática de nossas cidades, e que os dados coletados fomentem pesquisas que visem à melhoria do espaço construído, uma vez que essa melhoria repercute diretamente na qualidade de vida dos usuários do espaço urbano.



## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma de Desempenho Térmico de edificações 15.220. Parte 3- Zoneamento Bioclimático Brasileiro, 2004.
- ADOLPHE, L., PLEA 2003: “Sustainability indicators for Environmental Performance of cities”, anais... Santiago, Chile, 2003.
- ÁGUAS, Miguel P. N. CONFORTO TÉRMICO: Módulo da Disciplina de Mestrado: Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente. Editora do Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2001.
- AKUTSU, Maria. VITTORINO, Fúlvio. CARBALLEIRA, Laura. A influência do comportamento climático na resposta térmica de edificações. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais..., Gramado, 1995.
- AL GORE, 2009. **Uma verdade inconveniente**. São Paulo: Manole Editora, 2009.
- ALLARD, Francis (Editor). Natural Ventilation in Buildings. A Design Handbook. Project Coordinator Mat Santamouris. Editora James & James, UK, 2008.
- ALUCCI, Marcia Peinado e MONTEIRO, Leonardo Marques e. Conforto Térmico em Espaços Abertos: Simulação Computacional e calibração empírica, 2010. (Relatório de Pesquisa disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut>) Acessado em 10/10/12
- ALMEIDA, Cláudia Maria de. O diálogo entre as dimensões real e virtual do urbano in Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- ANJOS, Rafael Sanzio Araújo dos. **Dinâmica Territorial: cartografia, monitoramento e modelagem**. Brasília, 2008.
- ARZTEGUI, José Miguel. CUANTIFICACION DEL IMPACTO DE LAS SOMBRAS DE LOS EDIFÍCIOS. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais..., Gramado, 1995.
- ASSIS, Eleonora Sad de. Avaliação da influencia do uso e ocupação do solo urbano sobre formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG. ENCAC, Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais... Gramado, 1990.
- BALLESTER-OLMS, José Francisco. Interacciones de la Vegetación Urbana con el Microclima. Barcelona, 2010.
- BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello . Ilhas Urbanas de Calor. Scientific American Brasil, São Paulo, n. 08, p. 54-59, 2003.
- BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Estudo Multitemporal do fenômeno Ilhas de Calor no Distrito Federal. Revista Meio Ambiente, n. 02, p. 03-17, 2002.
- BARBIRATO, G. M. O uso da modelagem climática no planejamento dos espaços urbanos. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais... Fortaleza, 1999.

- BARBIRATO, Gianna Melo, SOUZA, Léa Cristina Lucas de; e TORRES, Simone Carnaúba. **CLIMA E CIDADE: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: Editora UFAL, 2007.
- BITTENCOURT e CÂNDICO, 2008. Introdução à Ventilação Natural. 3 edição. Maceió: Editora UFAL, 2008.
- BRASIL, Plano Nacional Sobre Mudanças Climáticas – PMMC (129 p.) Brasília, 2008.
- BRASIL, Ministério das Cidades. Lei n. 10.257. de 10 de julho de 2001, Estatuto da Cidade. Disponível em: [www.mcidades.gov.br](http://www.mcidades.gov.br). Brasília, 2001 a.
- BRASILb, Agenda 21 Brasileira, Brasília, 2001 b.
- BRUSE, Michael. Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System, in: Wittkopf, St. and Tan, B. K. (eds.): Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA, p.699-706, 2007.
- \_\_\_\_\_. *ENVI-met 3.0 On-line Manual* (Disponível em [HTTP://www.ENVI-met.com](http://www.ENVI-met.com)), 2006.
- BRUSE, M and FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, *Environmental Modelling and Software*, 13, 373–384, 1998.
- BUTERA, Federico. **Da caverna a casa ecológica**. Editora Nova Técnica, 2009.
- CARLO, J. C.; ASSIS, E. S. Métodos climatológicos aplicados ao planejamento urbano – estudo de caso: Campus Pampulha UFMG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Antac, 1999.
- CARVALHO, Maria Lucia A. M. Impacto do Ambiente Construído sobre o clima. ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais..., Florianópolis, 1993.
- CARVALHO, V. de A., MARTHA, L. F. e TEIXEIRA, W. FLUXOVENTO – UM SIMULADOR GRÁFICO INTERATIVO PARA O ESTUDO DE VENTILAÇÃO EM AMBIENTES CONSTRUÍDOS. ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais... Maceió, 2005.
- CASTELO BRANCO, Lorena Burgos. Microclima da Superquadra em Brasília. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB. Brasília, 2009
- CHAMPS, J. R. B. O planejamento do sistema de drenagem urbana da cidade de Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa, 2001.
- CHEN, Qiangyan. Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *BUILDING AND ENVIRONMENTAL* (Disponível em: [www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv)) Editora: Elsevier, 2009.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1. ed., 236 p., São Paulo: Edgar Blucher, 1999.
- CODEPLAN, 1986. **Atlas de Mapas do Distrito Federal**. Disponível em: <http://www.sedhab.df.gov.br>, Acessado em: 20/08/2012
- CORBELLA, Oscar. YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável par os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: editora Revan, 2003.
- CULLEN, Gordon. **Paisagem Urbana**. Lisboa: Edições 70, 2008.
- DISTRITO FEDERAL, Anuário Estatístico do Distrito Federal – Síntese de Informações Socioeconômicas 2010/ Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan). 89p. – Brasília: Codeplan, 2010

- \_\_\_\_\_, 2008. Disponível em:  
<http://www.sedhab.df.gov.br/sites/300/379/00002961.pdf>.
- \_\_\_\_\_, Lei Orgânica do Distrito Federal, de 8 de junho de 1993. Brasília, 1993.
- DUARTE, Denise Helena Silva; SERRA, Geraldo Gomes. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de indicador. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v.3, n.2, p7-20, abr. / jun, 2003.
- DUARTE, D. ; Spangenberg, J ; Johansson, E ; SHINZATO, P. . Simulation of the influence of Vegetation on Microclimate and Thermal Comfort in The city of São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 3, p. 1-18, 2008.
- ECO, Humberto. **Como se faz uma tese**. São Paulo, 2009
- EDWARDS, Brian. **O Guia Básico para a Sustentabilidade**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2009.
- FANGER, P.O. and TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, 34, 533-536, 2002.
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company. New York, 1970.
- FERREIRA, Chagas Philomena. Alguns Dados sobre o Clima para a Edificação em Brasília. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, 1965.
- FONTES, Maria Solange Gurgel de Castro. Artigo: análise da correlação entre temperatura do ar e elementos da estrutura urbana, na cidade de são carlos –sp. ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais... Fortaleza, 1999.
- FRANCO, Maria Assunção Ribeiro. **Desempenho Ambiental: Uma Introdução à Arquitetura da Paisagem Como Paradigma Ecológico**. Editora: Annablume, FAPESP, São Paulo, 1995.
- FROTA, Anésia Barros. SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 1988.
- GARCÍA, Carmem M. **Alteração do Clima em Cidades Espanholas**. Barcelona, 2001.
- \_\_\_\_\_. (Colaboración: Javier Martin). Notas de Aula. Disciplina: Climatologia Urbana. Faculdade de Geografia e História, Universidade de Barcelona. Barcelona, 1999.
- \_\_\_\_\_. Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor. Barcelona. 193f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia Física e Análise geográfica Regional, Universidade de Barcelona, 1992.
- GIVONI, B. **Urban Design in Different Climates**. WMO, TD-N.346. World Meteorological Organization, 1989.
- \_\_\_\_\_. **Man, Climate and Architecture**. Elsevier Publishing Company Limited: Amsterdam – London – New York, 1969.
- HAN, Soo-Gon; MUN, Sun-Hye; HUH, Jung-Ho. Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea. *SIMBUILD*, 2007.
- HIRASHIMA, Simone Silveira. Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.
- HOLANDA, Frederico de. **Brasília cidade moderna cidade eterna**. FRBH Edições: Brasília, 2010.
- HOWARD, Luke. **The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis**, 2 vol., London, 1833.



IBAM – Instituto de Administração Municipal. Relatório: Estatuto das Cidades para compreender. Disponível em: [http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/estatuto\\_cidade.pdf](http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/estatuto_cidade.pdf) Acesso em Outubro de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em Novembro de 2010. Brasília, 2010.

INMET. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Fundamentos das Normas Climatológicas do Brasil, Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Meteorologia. ATLAS DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, 2009.

IRVING, A.D. Validation of Dynamic Thermal Models, Energy and Buildings 10, ISSN 0378-7788,. Lausanne, Switzerland. 213-220, 1988.

KÖPPEN, W. Climatologia. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 1948.

KUCHEN, Ernesto, FISCH; Manfred Norbert; GONZALO, Guillermo Enrique; NOZICA, Graciela Noemí. Predição do índice de conforto térmico em edifícios de escritório na Alemanha. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 39-53, 2011.

LAMAS, José M. Ressano Garcia. **Morfologia Urbana e Desenho da Cidade**. 5 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

LASUS. Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo. Projeto do Centro de Recuperação de Áreas Degradadas. Disponível em: [www.lasus.unb.br](http://www.lasus.unb.br) Brasília, 2010.

LEDO, Andrés Reudo. **Ciudad y Desarrollo Urbano**. Colección Espacios e Sociedades Madrid: Editora: Síntesis, 1996.

LINDEN, W. Van der, LOOMANS, M. G. L. C e HENSEN, J. L. M. Adaptive thermal comfort explained by PMV. 11<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate, p. 8. Copenhagen: International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, 2008

LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. Anais do ENCAC 2001 - VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Anais...São Pedro, 2001.

LOMBARDO, M. A. Ilha de Calor nas Metrôpoles. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

LYNCH, Kevin. **A boa forma da cidade**. (título original: *Good City Form*). Tradução: José Manuel Costa Almeida e Pinho. Lisboa: Edições 70, 1981.

LYNN, M. SIMBUILD Presentation. American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2010.

MARTINEZ, Cynthia Enchave. VER DES DE LA CIUDAD: Potencial de Habitabilidad Térmica en los Espacios Urbanos. Tese de doutorado na Escola Técnica Superior de Arquitetura da Universidade Politécnica de Barcelona. Director: Albert Cuchi Burgos. Barcelona, 2007.

MATZARAKIS, A., MAYER, H., and IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, Int. J. Biometeorol. 43: 76-84, 1999.

MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (orgs). Clima urbano. São Paulo, Editora Contexto, 2003.

MENEZES, A. M. de. O uso do Computador no Ensino de Desenho nas Escolas de Arquitetura. Anais do IV Congresso Ibero-Americano de Gráfica Digital – SIGRADI (p. 374-376), Rio de Janeiro, 2000.



- MINELLA, ROSSI ; TAMURA, DUMKE, KRÜGER . Conforto Térmico em Espaços Abertos: Resultados de um Estudo Piloto em Curitiba. (p. 218-227) In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009.
- MONTEIRO, Leonardo Marques e ALUCCI, Marcia Peinado. Conforto Térmico em Espaços Abertos: Simulação Computacional e calibração empírica, 2010. (Relatório de Pesquisa disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut>) Acessado em 10/10/12.
- \_\_\_\_\_. Comparação Empírica de Avaliações Preditivas de Estresse Termofisiológico em Espaços Urbanos. 3º PLURIS. 3º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável Santos, Anais..., Santos, 2008.
- \_\_\_\_\_. Proposição de Índice de Conforto Térmico em Espaços Abertos Baseado em Temperatura Equivalente. 3º PLURIS. 3º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável Santos, Anais... Santos, 2008.
- \_\_\_\_\_. Conforto Térmico em Espaços Abertos com Diferentes Abrangências Microclimáticas. Parte 1: Verificação Experimental de Tipos Preditivos, ENCAC 2007. Anais..., Ouro Preto, 2007.
- \_\_\_\_\_. Índices de Conforto Térmico em Espaços Abertos. Parte 1: Revisão Histórica. ENCAC 2005 Anais..., Maceió, 2005.
- MONTENEGRO, Gildo A. **Desenho Arquitetônico**. 4ª Edição. São Paulo: Blucher, 2001.
- MUELLER, C. C.; TORRES, M.; MORAIS, M. P. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. IPEA, Brasília, 1997.
- NAKATA, Camila e SOUZA, Léa Cristina. Simulação da Sensação Térmica do Pedestre no Ambiente Urbano. III Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - SIMPGEU. Anais..., São Carlos, 2012.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. *Energy and Buildings Journal*, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002.
- NICOLAU, Maiara e CHVATAL, Karin. Conforto ambiental e projeto arquitetônico: estudo de metodologias de apoio. Pesquisa do Programa Ensinar com Pesquisa, da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <http://arquitetura.eesc.usp.br/sap0649/index.html>
- NIKOLOPOULOU, Marialena. Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach. RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces Atenas: CRES, 2004.
- NIKOLOPOULOU, M; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, v. 35, n. 1, p. 95-101, 2003.
- OCHOA DE LA TORRE, José Manuel. Ciudad, Vegetación e impacto Climático. El confort en los Espacios Urbanos. Barcelona: Ediciones Erasmus 1 ed., 2009.
- \_\_\_\_\_. La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático (Tesis doctorado) UPC, Jose. Director: Rafael Serra, Barcelona, 1999.
- OKE, T.R., 1997: Urban environments. In *Surface Climates of Canada*, Bailey, W.G. Disponível em: [http://www.wmo.ch/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.ch/pages/index_en.html) acesso em 20/08/2007.
- OKE, T.R. *Boundary Layer Climates*. 435 p., London; New York: Routledge, 1987.
- OLGYAY, Victor. *Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas*. Editora Gustavo Gili.. 1ª Ed. Título original: DESIGN WITH CLIMATE. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Barcelona, 1998.

OLIVEIRA, Rodrigo Porto. Utilização de um aplicativo de simulação computacional na avaliação de desempenho térmico de protótipos de habitação de interesse social. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

ONU – Organização das Nações Unidas, Relatório Anual da Organização das Nações Unidas, Brasília, 2012.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Relatório Desenvolvimento Humano 1998. Disponível em: [www.pnud.org.br](http://www.pnud.org.br). Acesso em 10/10/2008.

RAUBER, D. L., VAN BELLEN, II. M., SCHUCH, L.M.S., NARCISO FILHO, P.A.L. e LAMBERTS, R. Comparação de softwares de análise térmica de edificações: resultados para um projeto padrão e interface programa-usuário. ENTAC/SOBRAC/ABERGO. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais..., Florianópolis, 1993.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight performance metrics for sustainable building design**. NRCC-48669, 2006

RIBEIRO, Rômulo José da Costa. “Análise da Configuração Urbana, por meio de Índices de Qualidade de Vida e Qualidade Ambiental em Apoio à Gestão de Cidades.” Tese de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 2008.

ROCHA, ASSIS, E. e GONÇALVES. Revisão do Zoneamento Climático para o Estado de Minas Gerais. ENCAC, Anais... Natal, 2009.

ROGERS, R. e GUMUCHDJIAN, P. **Cidades para um Pequeno Planeta**. Editora: Gustavo Gili, Lisboa, 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura do Lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**, 164p., São Paulo: Editora Nova Técnica, 2011,.

\_\_\_\_\_. Notas de Aula. Disciplina: Urbanismo Sustentável. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2010.

\_\_\_\_\_. Correlação entre o Microclima Urbano e a Configuração do Espaço Residencial de Brasília. ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais...Natal, 2009.

\_\_\_\_\_. Frentes do Urbano para a Construção de Indicadores de Sustentabilidade da Escala Intra-urbana, pags. 47 a 62. Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Volume IV, Brasília, 2007.

\_\_\_\_\_. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília. Editora da UnB, 2001.

\_\_\_\_\_. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 128 p. I. 2ª ed. São Paulo, ProEditores, 2000.

\_\_\_\_\_. Desempenho das Constantes Morfológicas. Índice de Adequação Ambiental da periferia do DF in: Brasília - Gestão urbana: conflitos e cidadania, org. Aldo Paviani, Ed. UnB, Brasília, 1999.

\_\_\_\_\_. Arquitetura Bioclimática dos Espaços Públicos. ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais...Gramado, 1995.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2012. Relatório Interno, disponível em: [www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos](http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos).

RORIZ, M.; BASSO, A. Arqutrop, versão 3.0, Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/software/arqutrop.html>, São Carlos, 1990.

ROSENAU, Helen. **La Ciudad Ideal**. Su revolución Arquitectônica en Europa. 1986. Madrid, 1999.

RUEDA, S P. Barcelona, **Ciutat Mediterrania, Compacta i Complexa. Una visió de futur més sostenible**. City Council of Barcelona. Ayuntamiento de Barcelona, Barcelona, 2002.

\_\_\_\_\_. Tipos e Indicadores para ciudades más sostenibles: Taller sobre Indicadores de Huella e Calidad Ambiental Urbana. Fundación Forum. Barcelona, 1999.

\_\_\_\_\_. Ecologia Urbana Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents. Editorial Beta. Barcelona, 1995.

RUEDA, Salvador P. e MARTINEZ, Cynthia Enchave. Plan General de Sostenibilidad de Vitoria. Instituto de Ecologia Urbana de Barcelona, 2010. Disponível em: <http://www.europeangreencapital.eu/> Acessado em 10/10/2011.

SALVO, A. E. & GARCIA-VERDURO, J. C. Natureza Urbanizada. Estudos sobre o verde na cidade. Málaga: Editores Universidade de Málaga, 2010.

SANTAMOURIS, M. "Energy and Climate in the Urban Built Environment". James & James. Reino Unido, 2001.

\_\_\_\_\_. Energy and indoor climate in urban environments – recent trends. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais... Salvador: Antac, 1997.

SANTOS, Claudio de Jesus. Post Oil City. (Trabalho de Conclusão de Curso) Departamento de Urbanismo, Máster en Gestión y Valoración Urbana da ETSAB, UPC, Barcelona, 2010.

SANTOS, M. A questão do meio ambiente: desafios para a construção de uma perspectiva transdisciplinar. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**. N. 15. Servicios de Publicaciones. Universidad Complutense. Madrid, 1995.

SCHILLER, Silvia. Impacto de la forma edilicia en el confort de espacios urbanos. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais... Natal, 2009.

SCHNEIDER, Paulo Smith. Técnicas de Validação de Programas de Simulação do Comportamento Térmico de Edificações. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais..., Gramado, 1995.

SERRA FLORENZA, Rafael. Clima e Energia. Editora Gustavo Gili. Barcelona, 1999.

\_\_\_\_\_. **Clima, Lugar y Arquitectura**. Madrid, 1989.

SERRA FLORENZA, Rafael; COCH ROURA, Helena. **Arquitectura y energía natural**. Barcelona: UPC. Politext 40, 1995.

SERRA, Geraldo. **Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação**. São Paulo: Edusp: Mandarim, 2006.

SILVA, A. C. S. B.; SATTTLER, M. A. LAMBERTS, R. Zoneamento Bioclimático Brasileiro para fins de edificação, p. 161-166., In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Anais... Gramado, 1995.

SILVA, Caio F., ROMERO, Marta. CINTRA, Milena. FERNANDES, Júlia. Simulação Computacional à Análise Urbana. Caso do Distrito Federal. ELECS, Anais... Recife, 2010.

SILVA, Caio F. e, ROMERO, Marta Adriana Bustos . O Desempenho Térmico de Vias Públicas. . In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO . Anais.... Natal, 2009.

SILVA, Caio Frederico e. O Desempenho Térmico de Vias Públicas. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

---

SILVEIRA, Simone. Manual de Uso do *ENVI-met*. (Apostila do Curso de Extensão). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SHINZATO, Paula. DUARTE, Denise, BOSCO, Lara Del. Impacto da vegetação no microclima urbano. Área da Luz, São Paulo. ENCAC 2007.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; TENTE, Cezar Mecozzi; GIUNTA, Mariene Benutti; NAKATA, Camila Mayumi. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. Ambiente Construído, 2010.

SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. Sky view factor estimatin using a 3D-GIS extension. Proceedings of Eighth International IBPSA Conference. Eindhoven, Netherlands. P. 1227-1234, 2003.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Identificação de Ilhas Urbanas de Calor Através da Interpretação de Imagem de Satélite. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais...Florianópolis, 1993.

SPERLING, David Moreno. O Projeto Arquitetônico, Novas Tecnologias de Informação e o Museu Guggenheim de Bilbao. Artigo Acadêmico da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/sap/projetar/files/A038.pdf>, Acessado em 04/04/2012.

TIBONI, Conceição Gentil Rebelo. **Estatística Básica**. Editora Atlas: São Paulo, 2010.

WALDHEIM, Charles. Weak Work: Andrea Branzi's "Weak Metropolis" and the projective potential of na "Ecological Urbanism" in **Ecological Urbanism**. Editec by Mohsen Mostafavi with Gareth Doherty. Harvard University, 2012.

WEF (WORLD ECONOMIC FORUM). Relatório do Fórum Mundial de Economia. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalRisks\\_Report\\_2012.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalRisks_Report_2012.pdf) Acessado em 10/12/12. 2012.