

UNESP – Universidade Estadual Paulista
FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação



FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTU-SENSU EM DESIGN
LINHA DE PESQUISA EM ERGONOMIA

COMPORTAMENTO DO PEDESTRE E AMBIENTE TÉRMICO URBANO

Camila Mayumi Nakata

Bauru – SP

2010

Camila Mayumi Nakata

COMPORTAMENTO DO PEDESTRE E AMBIENTE TÉRMICO URBANO

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Design, linha de pesquisa em Ergonomia, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Bauru, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Design.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Léa Cristina Lucas de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria

Bauru – SP

2010

Nakata, Camila Mayumi.

O Comportamento do Pedestre e Ambiente Térmico Urbano / Camila Mayumi Nakata, 2010.
132 f.

Orientador: Léa Cristina Lucas de Souza

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2010

1. Design. 2. Ergonomia Urbana. 3. Conforto Térmico. 4. Simulação Computacional. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CAMILA MAYUMI NAKATA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DO(A) FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO DE BAURU.

Aos 26 dias do mês de outubro do ano de 2010, às 09:00 horas, no(a) Sala dos Órgãos Colegidos da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. LÉA CRISTINA LUCAS DE SOUZA do(a) Programa de Pós-graduação em Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru, Prof. Dr. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA do(a) Departamento de Desenho Industrial / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru, Profa. Dra. GIANNA MELO BARBIRATO do(a) Departamento de Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Alagoas, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CAMILA MAYUMI NAKATA, intitulada "Comportamento de pedestre e ambiente térmico urbano". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. LÉA CRISTINA LUCAS DE SOUZA

Prof. Dr. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA

Profa. Dra. GIANNA MELO BARBIRATO

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram e acreditaram muito em mim, o que me incentiva a seguir sempre em frente buscando ser alguém cada vez melhor.

Agradecimentos

De forma especial, agradeço à professora Léa, pela disposição ao me orientar e pela amizade. Por quem sempre terei enorme admiração pela sua determinação e competência como docente e pesquisadora, mantendo sempre o bom humor e o apreço pela família. Agradeço pela confiança depositada e amizade.

Ao professor João, pela paciência em auxiliar no aprendizado dos softwares e pela ajuda na instalação dos equipamentos de medição.

Ao Maurício, Karina, Thaís e Emerson que me auxiliaram nas entrevistas com os pedestres. Ao Maurício em especial, por sempre me apoiar e me incentivar na pesquisa.

À professora Silvana, pela ajuda nas entrevistas com pedestres e pela amizade.

À Rosana e ao Sr. Pontes, pelo apoio na fase de levantamento, e à Sr^a Geni, que colaborou com a pesquisa, oferecendo o espaço de sua casa para a permanência da estação nos dias de medição.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Design, com os quais aprendi que no caminhar da busca do conhecimento não se deve faltar a humildade e a amizade. E ao Sílvio e Helder, por sempre se mostrarem dispostos a ajudar com muita simpatia.

Ao IPMET, pelo fornecimento de dados que foram imprescindíveis para a realização desta pesquisa.

A CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado e ao CNPq, FAPESP e FUNDUNESP pelo apoio em várias etapas desse projeto, através das atividades conjuntas desenvolvidas no âmbito do Projeto Ambiente Térmico Urbano.

Aos familiares e amigos, que me incentivaram durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Resumo

Nakata, Camila Mayumi. **Comportamento do Pedestre e Ambiente Térmico Urbano, 2010**. 132p. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação Stricto-sensu em Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

Uma das características dos espaços urbanos externos que mais influencia o comportamento humano é o clima. As características climáticas das cidades geram o ambiente térmico sob o qual o ser humano desenvolve suas atividades, causando comportamentos específicos dos pedestres para as diferentes regiões e países. Abordando o campo da ergonomia ambiental, esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do ambiente térmico urbano no comportamento do pedestre. Para isso são realizadas medições microclimáticas e levantamentos com pedestres em áreas externas de um bairro residencial na cidade de Bauru. Paralelamente, são realizadas simulações do ambiente térmico da mesma área, através da aplicação do software ENVI-met, além de posterior simulação do comportamento do pedestre através do software BOT-World. O software ENVI-met se configura em uma ferramenta de análise tri-dimensional de microclima e o BOTworld em um sistema Multi-agent de simulação de sensações e comportamentos de pedestres. A metodologia proposta permite comparações entre os dados reais e simulados, validando-se e ajustando-se o modelo computacional de simulação microclimática para a área de estudo. É feita ainda uma avaliação de comportamento e sensação térmica de pedestres virtuais para a situação real e para um cenário hipotético de verticalização. Como resultados, as simulações permitiram identificar as diferentes características térmicas geradas pelo desenho urbano da área de estudo e o conseqüente comportamento do pedestre.

Palavras-chave: design, ergonomia urbana, conforto térmico, simulação computacional, pedestre, ergonomia no ambiente construído.

Abstract

Nakata, Camila Mayumi. **Pedestrian behavior and urban thermal environment**, 2010. 132p. Dissertation (MSC in Design) – Graduate Studies in Design, State University of São Paulo, Bauru, 2010.

Climate is one of the features of external urban areas, which has a large influence on human behavior. Climatic characteristics of cities generate the thermal environment under which human beings develop their activities, what produces specific pedestrian behaviors for different regions and countries. Approaching the field of the environment ergonomics, this research aims to evaluate the influence of the urban thermal environment in the pedestrian behavior. In order to do so, microclimatic measurements and pedestrian survey in open spaces are carried out for a residential neighborhood in the city of Bauru. Simultaneously, thermal environment simulations are performed by applying the ENVI-met software and afterwards the pedestrian behavior is simulated by the application of the BOTworld software. ENVI-met is a tri-dimensional tool for microclimate analysis, while BOTworld is a Multi-agent system for simulation of pedestrian thermal sensation and behavior. The proposed methodology allows the comparison of real and simulated data, validating and adjusting the computational model of microclimatic simulation for the study area. An evaluation of the virtual pedestrian behavior and thermal sensation is developed for the real situation and also for a hypothetical scenario of verticalization. The results identify different thermal characteristics generated by the urban design of the study area and their consequences on pedestrian behavior.

Key-words: design environment, urban ergonomics, thermal comfort, computational simulation, pedestrian, ergonomics in the constructed environment.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	10
Lista de Tabelas.....	13
Lista de Siglas.....	14
Glossário.....	15
 INTRODUÇÃO	 16
Objeto da pesquisa.....	18
Objetivo.....	18
Estrutura do trabalho.....	18
 1. DESIGN, ERGONOMIA E AMBIENTE TÉRMICO URBANO	 20
1.1. Design, Ambiente e Comportamento.....	22
1.2. O Clima Urbano.....	25
1.3. O Conforto Térmico do Pedestre.....	27
1.3.1. Índices de conforto em ambientes abertos.....	29
1.3.2. Alguns estudos em conforto térmico do pedestre.....	32
1.3.3. Comportamento e Sensação do Pedestre.....	33
1.4. Ergonomia Ambiental e Stress Térmico.....	35
 2. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO URBANO	 36
2.1. A ferramenta ENVI-met.....	36
2.2. A ferramenta BOTworld.....	41
 3. MATERIAIS E MÉTODOS	 47
3.1. Procedimentos.....	47
3.2. Área de estudo.....	51
3.3. Procedimentos adotados para as entrevistas e observações sobre os pedestres.....	54
3.3.1. Aplicação de questionários.....	55
3.4. Instrumentação.....	56

3.5.	Preparação para simulações computacionais.....	60
3.5.1.	<i>Análise de perfis de temperaturas para escolha dos dias estáveis.....</i>	<i>61</i>
3.5.2.	<i>Configuração de escalas e versões do ENVI-met.....</i>	<i>64</i>
3.5.3.	<i>Configuração do arquivo de área do ENVI-met.....</i>	<i>67</i>
3.5.4.	<i>Configuração do arquivo de dados de condições meteorológicas do ENVI-met</i> <i>.....</i>	<i>70</i>
3.5.5.	<i>Configuração para simulação com o BOTworld.....</i>	<i>72</i>
4.	RESULTADOS DOS LEVANTAMENTOS.....	75
4.1.	Levantamento de dados climáticos na área de estudo.....	75
4.2.	Avaliação dos pedestres no bairro.....	79
4.2.1.	<i>Observação de trajetos.....</i>	<i>83</i>
5.	RELAÇÃO ENTRE O DESIGN E O AMBIENTE TÉRMICO.....	85
5.1.	Verificação de ajuste do ENVI-met para a área de estudo.....	85
5.2.	Análise dos resultados para a área total – estações de inverno e verão.....	91
5.3.	Análise dos resultados para a área focalizada – situações real e hipotética.....	97
6.	RELAÇÃO ENTRE O DESIGN URBANO, O AMBIENTE TÉRMICO E O PEDESTRE.....	100
6.1.	Análise dos resultados para a área total – estações de inverno e verão.....	101
6.2.	Análise dos resultados para a área focalizada – situações real e hipotética.....	109
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES.....	112
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
	APÊNDICE.....	125

Lista de Figuras

Figura 1: O conceito do design ambiental.....	24
Figura 2: Comportamento médio da temperatura do ar e umidade relativa, na Praça Muniz Falcão, para áreas sombreadas pelas arbóreas e expostas ao sol.	32
Figura 3: Esquema sobre o sistema de simulação do ENVI-met	39
Figura 4: Área de trabalho para edição de área de entrada no ENVI-met.	40
Figura 5: Esquema sobre o sistema de simulação do BOTworld	43
Figura 6: Configurações do perfil da comunidade (BOTworld).	44
Figura 7: Configurações do Perfil do Impacto (BOTworld).	44
Figura 8: Mapa de localização da cidade de Bauru	53
Figura 9: Foto aérea de Bauru (foco na área de estudo)	53
Figura 10: área selecionada para estudo.....	53
Figura 11: Fotos do local de estudo no bairro Geisel.	54
Figura 12: Área de estudo delimitada com localização dos instrumentos de medição no inverno.....	58
Figura 13: Área de estudo delimitada com localização dos instrumentos de medição no verão.	58
Figura 14: Foto da estação montada em tripé, localização dos equipamentos e cotas das alturas.	60
Figura 15: Perfil de temperatura do ar de 0 a 2500m dos dias medidos na estação de inverno e dias 1 à 5 de agosto de 2009 selecionados como estáveis.....	62
Figura 16: Perfil de temperatura do ar de 0 a 2500m dos dias medidos na estação de verão e dias 2 a 5 de fevereiro de 2010 selecionados como estáveis.	63
Figura 17: Exemplo de versões e escalas do ENVI-met 3.1 necessárias para representação e simulação de área de 1.000 x 1.000 metros.....	65
Figura 18: Área de estudo inicial de 480x44m, perímetros dos recortes de 340x340m e 180x180m e localização dos instrumentos dos monitoramentos no inverno e verão.....	66
Figura 19: Área de estudo (340x340m) editada no ENVI-met v3.1 com os pontos de monitoramento das variáveis climáticas do período de verão.....	68
Figura 20: Janela de configuração de parâmetros básicos na edição de área do ENVI-met....	69
Figura 21: Visualização da edição de área no ENVI-met.	69

Figura 22: Quarteirão (40x220m) utilizado para o cálculo da área de fachada exposta aos ventos predominantes e área de estudo total.	71
Figura 23: Localização dos pontos de rota nas áreas de entrada para simulação com BOTworld.....	73
Figura 24: Janela com abas de configurações do programa BOTworld.	74
Figura 25: Temperatura do ar nos pontos monitorados entre 18 de julho e 10 de agosto de 2009. Retângulo de linha vermelha indica os dias escolhidos como estáveis (1 a 5 de agosto de 2009) para a simulação de inverno.....	75
Figura 26: Temperatura do ar nos pontos monitorados entre 27 de janeiro e 11 de fevereiro de 2010. Retângulo de linha vermelha indica os dias escolhidos como estáveis (2 a 5 de fevereiro de 2009) para a simulação de verão.....	76
Figura 27: Gráfico comparativo da temperatura do ar medida pela estação nos dias 4.8.2009 (inverno) e 3.2.2010 (verão) em um mesmo local.....	76
Figura 28: Gráfico comparativo da umidade relativa do ar medida pela estação nos dias 4.8.2009 (inverno) e 3.2.2010 (verão) em um mesmo local.	77
Figura 29: Dados de temperatura do ar para os pontos de medição do dia 04/08/2009 - inverno.....	78
Figura 30: Dados de temperatura do ar para os pontos de medição do dia 03/02/2010 - verão.	79
Figura 31: Gráfico de respostas da questão nº 7 - sensação térmica.	80
Figura 32: Gráfico de respostas da questão nº 8 - preferência térmica.....	81
Figura 33: Gráfico de respostas da questão nº 9 - nível de conforto térmico.....	82
Figura 34: Gráfico de respostas da questão nº 10 - lado da rua de preferência ao caminhar... ..	82
Figura 35: Mapa com referência dos trajetos para análise de comportamento dos pedestres..	83
Figura 36: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 1 – ponto estação (versão 180x180 - inverno).	86
Figura 37: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 2 - ponto estação (versão 180x180 - verão).....	86
Figura 38: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 2 - ponto T1 (versão 180x180 – verão).....	87
Figura 39: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 2 - ponto T2 (versão 180x180 - verão).....	87
Figura 40: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 3 - ponto estação (versão 100x100 - inverno)	87

Figura 41: Curvas real e simuladas de temperaturas do ar para a Simulação 4 - ponto estação (versão 100x100 - verão).....	88
Figura 42: Diferença horária absoluta média geral das quatro simulações e horário sinalizado escolhido para as simulações com o BOTworld.....	90
Figura 43: Mapa de temperatura do ar gerado para 10h de um dia de inverno.....	92
Figura 44: Mapa de temperatura do ar gerado para 10h de um dia de verão.	93
Figura 45: Mapa de ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar às 10h de inverno.....	94
Figura 46: Mapa de ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar às 10h de verão.....	95
Figura 47: Mapa de umidade relativa às 10h de inverno.	96
Figura 48: Mapa de umidade relativa às 10h de verão.	97
Figura 49: Área de entrada para as simulações 4 e 5.....	98
Figura 50: Imagem tridimensional ilustrativa da situação real e do cenário hipotético simulados no ENVI-met.....	98
Figura 51: Mapas de temperatura do ar gerados pela ferramenta Leonardo 3.75 do ENVI-met.	99
Figura 52: PMV às 10h para a área total de 340x340m.....	101
Figura 53: Avaliação da qualidade às 10h para a área total de 340x340m.	103
Figura 54: Trajetos D-E escolhidos por 'Mário' e 'Charles' na simulação de inverno.	103
Figura 55: Gráficos de cada <i>bot</i> quanto aos dados climáticos locais e temperaturas individuais apresentado pela simulação com BOTworld de inverno.....	104
Figura 56: Avaliação de estado interno e opinião de situação local de cada <i>bot</i> apresentado pela simulação com BOTworld de inverno.	105
Figura 57: Número de <i>bots</i> transitando em trajeto 'd - e, h' da simulação da estação de verão.	106
Figura 58: Pontos para análise de opiniões entre pedestres e <i>bots</i> para simulação de verão.	107
Figura 59: Simulação de temperatura de pele e PMV para <i>bots</i> específicos com trajeto sentido D-C.....	109
Figura 60: PMV às 10h para a simulação de verão da área de 180x180m.	110
Figura 61: Recorte de trajeto C-D para análise de <i>bots</i> /grid às 10h de verão.	111

Lista de Tabelas

Tabela 1: Organização em grupos de importância dos índices.	31
Tabela 2: Instrumentos utilizados no monitoramento de dados meteorológicos na área de estudo.	57
Tabela 3: As simulações realizadas com o ENVI-met para este estudo.	67
Tabela 4: Parâmetros de entrada do arquivo de configuração adotados para as simulações de inverno e verão a partir de dados fornecidos pelo IPMet.....	72
Tabela 5: Porcentagem de pedestres que caminharam pelos trajetos nomeados conforme a Figura 33.	83
Tabela 6: Curvas de iteração e horários de melhores ajustes de simulação em relação a dados reais.	88
Tabela 7: Diferenças horárias absolutas entre curvas real e simulada das quatro simulações e médias.	89
Tabela 8: Temperaturas do ar (°C) obtidas na simulação (versão 180x180) e medidas in loco.	91
Tabela 9: Respostas de pedestres em entrevista e de <i>bots</i> em simulação quanto à sensação térmica no período de verão.	107

Lista de Siglas

BOT: pedestres virtuais assistidos no programa BOTworld. São pedestres virtuais que simulam o comportamento de pedestres reais para tal cenário fornecido.

PET: Temperatura Equivalente Fisiológica. Temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em uma situação típica interna, o balanço térmico do corpo humano é mantido, com temperaturas do centro do corpo e da pele iguais às da situação em questão.

PMV: Predicted Mean Vote (Voto Médio Predito).

Glossário

Albedo: é uma medida relativa da quantidade de luz refletida, ou seja, uma medida de refletividade da superfície de um corpo.

Amplitude térmica: diferença entre as temperaturas mínima e máxima registradas em determinado local, num certo período de tempo.

Clo: do inglês ‘clothing’, unidade da resistência térmica da roupa. $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Grids: grades

Iteração: nome denominado na computação para uma repetição de ações.

Nesting grids: grades de assentamento. Elas servem para mover a borda do modelo para mais distante possível da área de interesse, pois todo modelo numérico não trabalha confiantemente nas bordas de seu modelo e nos grids próximos a ela.

PMV: Voto Médio Predito (do inglês: *Predicted Mean Vote*).

Porosidade: é representada pela maior ou menor permeabilidade de uma estrutura urbana à passagem dos ventos expressa por meio do espaçamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos, diversidade de altura das edificações e índice de fragmentação das áreas construídas.

Rugosidade: característica urbana que expressa a influência das diferentes alturas das edificações sobre o fluxo de ar. Segundo Brandão (2009), a rugosidade das superfícies é descrita na forma de um comprimento de rugosidade, definido como a altura em que a velocidade do vento é igual a zero.

Tempo de iteração: tempo necessário para as sucessivas simulações promovidas pelo modelo, no caso deste estudo, a técnica que o modelo interno do ENVI-met utiliza para calcular os resultados das simulações.

Introdução

A ergonomia, área amplamente explorada pelo Design, centraliza suas preocupações no ser humano. Ao mesmo tempo, as pesquisas sobre a influência das configurações do espaço urbano no ambiente térmico vêm se consolidando. No entanto, faz-se necessário maior enfoque nas preocupações com o pedestre, seu conforto, sensações e comportamento. Dessa forma, o planejamento do ambiente urbano e a ergonomia ambiental aprimoram-se no desenvolvimento de ambientes cada vez mais agradáveis, seguros e confortáveis.

O atendimento aos requisitos ergonômicos, segundo Moraes e Mont'Alvão (2000), possibilita maximizar o conforto, a satisfação e o bem-estar, garantir a segurança e minimizar constrangimentos, custos humanos e carga cognitiva, psíquica e física do trabalhador ou usuário. Segundo as mesmas autoras, a Ergonomia define, dentre os seus vários parâmetros, os parâmetros urbanos como: o planejamento e projeto da cidade, sinalização urbana e de transporte, terminais rodoviários, ferroviários e metroviários; áreas de circulação e integração; áreas de repouso e de lazer.

Nesse contexto, a cidade vista como um produto das atividades humanas e construída para o seu próprio benefício, torna-se um objeto de estudo importante para a criação de ambientes ergonômicos. Várias atividades humanas são desenvolvidas em espaços externos e por eles influenciadas.

Uma das características dos espaços urbanos externos que mais influencia o comportamento humano é o clima, determinando condições culturais e comportamentais específicas nas diferentes regiões e países do mundo. As características climáticas das cidades geram condições térmicas que determinam o ambiente térmico (microclima) ao qual o ser humano está submetido.

As respostas do ser humano ao microclima podem ser inconscientes, mas conduzem frequentemente a um uso diferente do espaço aberto em circunstâncias climáticas diferentes (NIKOLOPOULOU, 2001).

As condições climáticas urbanas são o resultado da substituição da paisagem natural pelo ambiente construído, o que ocasiona em escala urbana uma forte mudança no balanço de energia. A preocupação com as alterações introduzidas pelo processo de urbanização na qualidade do ar da cidade constituiu-se no principal alerta a despertar o interesse para a elaboração de estudos do mesmo (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003).

Alguns desses estudos utilizam índices para cálculos relacionados a balanços térmicos. Além desses índices, os programas computacionais também têm sido muito utilizados em pesquisas sobre o clima. Katzschner et. al. (2007) utiliza em seu estudo, a ferramenta ENVI-MET para a análise e simulação do espaço urbano. Trata-se de um modelo tri-dimensional de clima urbano que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente.

Com a finalidade de simular o conforto térmico dos pedestres em espaços urbanos abertos, o método Multi-Agent System também é utilizado (BRUSE, 2007). Trata-se de uma ferramenta que simula, em um determinado espaço definido, as sensações e comportamentos que pedestres teriam diante dessa área. O BOTworld é um sistema de simulação Multi-Agent que prevê o comportamento, sensações e o movimento dos pedestres em áreas urbanas sob a influência de diferentes fatores ambientais (disposição urbana, fontes de tráfego, qualidade do ar e microclima).

Dentro deste contexto, no âmbito da ergonomia ambiental, esta pesquisa compreende o estudo da relação do homem com o ambiente, buscando-se uma melhor compreensão de como o ser humano e o desempenho de suas atividades podem ser influenciados termicamente pelas características do espaço urbano.

A pesquisa está interligada ao Projeto de Pesquisa Ambiente Térmico Urbano, que envolve pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC.

Objeto da pesquisa

O objeto desta pesquisa é o comportamento do pedestre sob a influência do ambiente térmico urbano, considerando-se a influência da configuração urbana, ou seja, do design e da ergonomia ambiental.

Objetivos

Considerando a importância da ergonomia urbana para o ser humano, esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do ambiente térmico urbano no comportamento do pedestre. Assim, o estudo focaliza-se, no pedestre, sendo o ser humano inserido na malha urbana, utilizando-se dela, tanto a trabalho como a lazer, e sofrendo a mediação desse ambiente termicamente modificado pelas próprias características urbanas.

Nesse contexto, constituem-se ainda como objetivos secundários:

- relacionar diferentes configurações e características do desenho urbano e o ambiente térmico do pedestre;
- estudar diferentes comportamentos e sensações do pedestre diante desse ambiente;
- efetuar uma validação do software ENVI-met, através de medições, entrevistas com pedestres e observações, e simular as condições ambientais de determinada área selecionada em um bairro da cidade de Bauru-SP;
- explorar as potencialidades do software BOTworld, para simular as condições do pedestre em suas diferentes localizações, suas sensações e comportamentos.

Estrutura do trabalho

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos. A introdução faz um breve panorama do assunto a ser tratado na pesquisa, do objetivo e da estrutura do texto.

O capítulo 1 faz uma revisão sobre os assuntos Design, Ergonomia e Ambiente Térmico Urbano, que embasam a pesquisa.

O capítulo 2 traz informações sobre os software ENVI-met e BOTworld que são utilizados como parte da metodologia nesta pesquisa.

O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada, os procedimentos, área de estudo, instrumentação e forma de preparação para as simulações computacionais.

O capítulo 4 traz os primeiros resultados, obtidos através dos levantamentos. O capítulo 5 relata os resultados que relacionam design e ambiente térmico. E o capítulo 6 descreve os resultados que estabelecem a relação entre o design urbano, ambiente térmico e o pedestre.

No último capítulo são descritas as conclusões, limitações encontradas no uso dos software e sugestões. Ao final, são descritas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração desta dissertação.

Design, Ergonomia e Ambiente Térmico Urbano 1

O Design como atividade interdisciplinar busca fundamentos nos domínios filosofia, ciência e arte. Há diversas definições de design e uma análise comparativa entre elas permite concluir que esta atividade objetiva a configuração de objetos de uso e sistemas de informação. Segundo Bomfim (1994), o estudo da configuração abrange três áreas: a relação entre o objeto e designer (criação, planejamento, comunicação), a relação entre objeto e meios de produção (tecnologia, processos, materiais, etc.) e a relação entre objeto e usuário (aspectos objetivos, bio-fisiológicos, psicológicos e sociológicos do uso).

O design é referente ao processo, ao projeto, ao conceito, já o designer refere-se à pessoa, ao sujeito praticante do design. Segundo Fascioni (2007), um dos aspectos mais importantes para o designer é a forma de conceber soluções para os problemas, sendo o projeto, o seu trabalho essencial.

Niemeyer (2000) descreve que o projeto em design é o meio em que o profissional, equacionando de forma sistêmica, dados de natureza ergonômica, tecnológica, econômica, social, cultural e estética, responde concreta e racionalmente às necessidades humanas.

Considerando-se as definições de design referentes ao projeto, à configuração na relação objeto e usuário e às questões de natureza ergonômica, pode-se considerar que o design preocupa-se em atender as necessidades do homem no meio ambiente, focalizando o seu bem-estar e satisfação.

A ergonomia, segundo Iida (2005), é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, sendo que o trabalho aqui tem uma acepção abrangente, abarcando também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva.

A ergonomia, tendo uma visão ampla, abrange atividades de planejamento e projeto e parte do conhecimento do homem para fazer o projeto do trabalho, ajustando-o às suas capacidades e limitações.

No Brasil, a Associação Brasileira de Ergonomia adota a seguinte definição:

Entende-se por Ergonomia o estudo das intervenções das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando intervenções e projetos que visem melhorar, de forma integrada e não-dissociada, a segurança, o conforto, o bem-estar e a eficácia das atividades humanas. (www.abergo.org.br, apud IIDA, 2005)

A IEA (Associação Internacional de Ergonomia) adotou em agosto de 2000 a definição oficial apresentada a seguir:

A Ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos, a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema. Os ergonomistas contribuem para o planejamento, projeto e a avaliação de tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas de modo a torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas. (http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia, acessado em: 29/07/2009)

Outra explicação para a ergonomia:

A ergonomia estuda os diversos fatores que influem no desempenho do sistema produtivo e procura reduzir as suas conseqüências nocivas sobre o trabalhador. Assim, ela procura reduzir a fadiga, estresse, erros e acidentes, proporcionando segurança, satisfação e saúde aos trabalhadores, durante o seu relacionamento com esse sistema produtivo. (IIDA, 2005, p. 4)

A saúde do trabalhador é mantida quando as exigências do trabalho e do ambiente não ultrapassam as suas limitações energéticas e cognitivas, de modo a evitar as situações de estresse, riscos de acidentes e doenças ocupacionais. A satisfação é o resultado do atendimento das necessidades e expectativas do trabalhador. (IIDA, 2005, p. 5)

A fadiga provoca uma redução da capacidade do organismo e está relacionada com os fatores fisiológicos, psicológicos e, por fim, os fatores ambientais e sociais (iluminação, ruídos, temperaturas e o relacionamento social com a chefia e os colegas de trabalho). Uma pessoa fatigada tende a aceitar menores padrões de precisão e segurança e os erros tendem a aumentar.

Sabe-se que a contribuição da ergonomia não se restringe apenas às indústrias. Hoje, os estudos ergonômicos são muito amplos e podem contribuir para melhorar, as residências e a circulação de pedestres em locais públicos.

As condições de fadiga por stress térmico podem ser sofridas tanto pelo trabalhador em um ambiente fechado como no ambiente aberto. Deve-se lembrar que as condições térmicas em ambientes fechados são inteiramente influenciadas pelas condições térmicas externas, quando não ocorre o uso de climatização artificial.

Considerando a preocupação do design em atender as necessidades do homem no meio ambiente, focalizando o seu bem-estar e satisfação, e que a ergonomia pode contribuir para melhorar as condições de circulação de pedestres, compreende-se a importância dos estudos sobre ambiente térmico urbano para o planejamento da relação homem-ambiente e a necessidade do aprimoramento e desenvolvimento de pesquisas em design e ergonomia.

1.1. Design, Ambiente e Comportamento

Pela expansão do termo design e dos diferentes pontos de vista dos autores, o leitor se confronta com múltiplos conceitos. Löbach (2001) comenta cinco pontos que devem ser levados em consideração por qualquer pessoa que fale ou escreva sobre design: a visão do usuário, do fabricante, de um crítico marxista, do designer (colocando-se entre os interesses do empresário e dos usuários) e outra postura possível de advogado dos usuários do ambiente criado artificialmente. Nesta última postura, segundo aquele autor, o que seria a postura desejável do designer, o design poderia ser definido como o processo de adaptação do ambiente ‘artificial’ às necessidades físicas e psíquicas dos homens na sociedade.

O design, segundo Krucken (2009), está se transformando e observam-se grandes mudanças nos seus horizontes de atuação. Integrando transversalmente conhecimentos de

diversas disciplinas, a autora aborda um âmbito não convencional à área de design – o território, a biodiversidade, os produtos locais – conferindo ao design o papel potencial estratégico na definição de novas idéias de bem estar e de estratégias para atingi-lo. Segundo essa autora, o design encontra o tema da transição em direção à sustentabilidade, de modo potencialmente fértil e considera inseparável a esfera ambiental da social e, portanto, considera o território como entidade sociogeográfica.

Segundo Löbach (2001), se denominam design as fases do processo configurativo, tanto em nível parcial, como na totalidade do processo. Ampliando-se ainda mais o conceito, pode ser considerado que o design também é a produção de um produto ou sistema de produtos que satisfazem às exigências do ambiente humano.

O conceito de design é trazido como configuração e a configuração, como conceito geral mais amplo, pode ser o processo de “materialização” de uma idéia. Um bom exemplo disto seria o ‘design ambiental’, que significa a configuração do meio ambiente. O design ambiental é o conceito geral para as diversas especialidades do design, compreendidas na configuração do meio ambiente.

Como mostra a Figura 1, na configuração do ambiente existem seis tipos diferentes de designers ambientais que podem ser classificados em diversas especialidades. Os designers ambientais que atuam nas especialidades de planejamento regional e territorial, planejamento paisagístico e planejamento e configuração urbana são contratados pelos estados e municípios, podendo garantir a inclusão dos aspectos de interesse público nos projetos. As outras especialidades restantes da configuração do ambiente, arquitetura, design industrial e configuração dos meios de comunicação são contratados principalmente por investidores privados, cujos interesses são movidos por fatores econômicos.

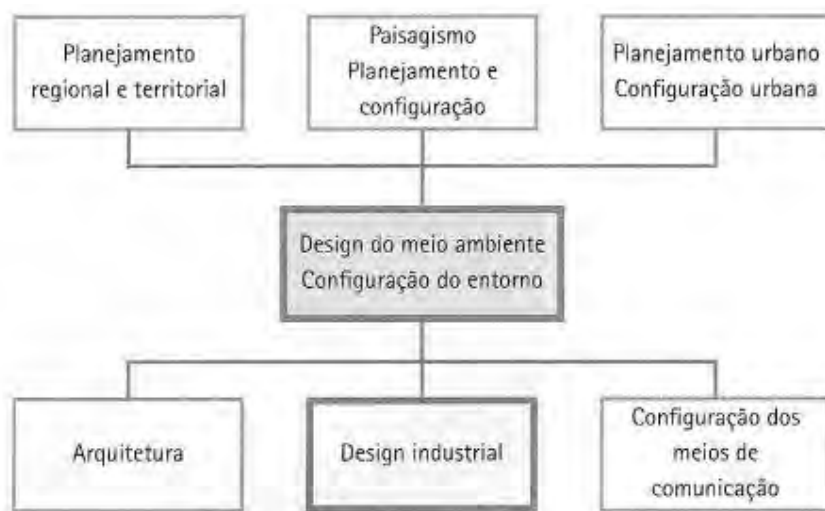


Figura 1: O conceito do design ambiental
Fonte: Löbach (2001).

O ambiente possui papel fundamental no processo perceptivo, o qual origina o comportamento humano. Segundo Okamoto (1996, p. 15) “... os estímulos que provocam as sensações passam pela emoção e pelo pensamento, que, utilizando os princípios normativos, chegam à ação e, novamente, pelo mesmo processo, retornam ao sentimento que a gerou”.

O homem tem sensações dos estímulos do meio ambiente sem ter consciência disto e, diante desses estímulos, são selecionados pela mente, os aspectos de interesse ou que tenham chamado atenção, ocorrendo assim, a percepção (imagem) e a consciência (pensamento, sentimento), resultando em uma resposta que conduz a um comportamento.

O campo de energia que rodeia o homem corresponde a fatores como cor, cheiro, vento, claridade, temperatura, dentre outros, que estimulam os sistemas de receptores sensoriais do corpo através dos cinco sentidos já conhecidos e dos sentidos interiores: vestibular, orgânico e cinestésico.

Apesar dos sentidos comuns (visão, olfato, paladar, audição e tato) serem largamente estudados em psicologia como importantes meios de compreensão e relacionamento com o meio ambiente, o caminho para se conhecer a realidade desse é a participação direta e intensa do corpo-mente como um todo, utilizando-se no processo cognitivo todos os sentidos, não somente os externos, como os internos.

Apesar do estudo do sentido térmico ser pouco mencionado nos livros sobre os sentidos sensoriais, Okamoto (1996, p. 102-103) diz que “existe uma relação estreita entre o sentido térmico e o funcionamento dos músculos, pois o próprio receptor mantém o homem informado sobre o que está acontecendo ao seu redor e permite que se movimente suavemente através da percepção cinestésica”. O controle da temperatura é essencial para a nossa sobrevivência e o excesso de frio ou calor prejudica o funcionamento do corpo. Observa-se também que o cérebro é mais ativo e trabalha melhor em temperaturas mais frias que quentes.

O ‘espaço cinestésico’, segundo Okamoto (1996), é o espaço mínimo em torno dos objetos ou para o uso dos equipamentos para efetuar as atividades necessárias de maneira descontraída, fluente e confortável. A não previsão desse espaço cinestésico, ao se projetar os espaços, pode ocasionar restrições aos movimentos do indivíduo que podem tornar-se cansativos e desgastantes.

Alguns estudiosos têm se dedicado a estudos sobre a forma de como uma pessoa decide situar-se fisicamente com referência às suas relações espaciais e interações sociais, nascendo assim o estudo do comportamento social e ambiental.

Para se uniformizarem os estudos da ciência proxêmica (observações e teorias relativas ao uso que o homem faz do espaço como elaboração especializada da cultura), quatro categorias se destacam: espaço íntimo, espaço pessoal, espaço social e espaço público. Existem também o espaço territorial e o conceito de espaço urbano, em que as pessoas selecionam os caminhos para o trabalho, recreação ou convívio social, no sentido de reunirem-se em grupos e separarem-se novamente, de acordo com suas respectivas atividades.

1.2. O Clima Urbano

Os estudos urbanos do clima, segundo Costa et. al. (2007), são relativamente novos, e os métodos da investigação e os procedimentos práticos neste tipo de estudo envolve: concepção, elaboração das teorias, estudos de campo, modelagem (estatístico ou numérico), validação dos modelos, aplicação no projeto urbano e planejamento, impactos dos estabelecimentos (posição-execução), da programação do desenvolvimento e da modificação.

Segundo Givoni (1998), os principais fatores da estrutura da cidade que influenciam no clima urbano são: o tamanho da cidade e sua localização na região, a densidade da área construída, uso do solo urbano, altura dos edifícios, orientação e largura das ruas, subdivisão dos lotes, os efeitos dos parques e outras áreas verdes e o desenho de detalhes dos edifícios.

Os fatores básicos que diferenciam o clima de uma cidade do clima de sua área circundante são:

- Os materiais urbanos: por possuírem uma capacidade térmica mais alta e serem melhores condutores;
- A superfície urbana é mais rugosa: resulta em maior fricção entre a superfície e os ventos locais;
- As superfícies externas das edificações atuam como refletoras e radiadoras, aumentando os efeitos da radiação incidente;
- A própria estrutura urbana e as diferentes formas do uso de solo exercem efeitos decisivos de reflexão, de absorção e de armazenamento térmico;
- A infra-estrutura de drenagem elimina rapidamente a água da chuva, impedindo a incorporação ao chão e o aumento da umidade;
- As atividades urbanas geram substâncias em suspensão no ar (fumaças, gases, poeiras) que reduzem a insolação e prejudicam a re-irradiação para o espaço;
- As indústrias, veículos de transporte e algumas infra-estruturas produzem calor local.

Mascaró e Mascaró (2005) relatam que a característica morfológica e ambiental são as que determinam o desempenho microclimático do recinto urbano. Quanto à morfologia do tecido urbano, os elementos que devem ser analisados, segundo Romero (2001, p. 149-150), são:

- A forma: aberta, fechada, dispersa, compacta, extensa, diferenças entre o ambiente interno e o externo, densidade, separação das construções, altura dos edifícios, barreiras/condução dos ventos, exposição à radiação solar, natureza dos elementos superficiais e a estabilidade do clima.
- As ruas: disposição ao vento: canalização, produção de fluxos ascendentes - descendentes, rotacionais - não rotacionais. Tamanho, variação, orientação Sol e sombra. Seus elementos: vegetação, pórticos, marquises, galerias, dimensão das

calçadas, porosidade dos obstáculos, alinhamento e uniformidade das edificações, materiais superficiais.

- Os lotes: orientação, dimensões, forma, fechamentos, ventilação, ocupação, reflexões, sombreamentos dos vizinhos, alinhamento.
- O tamanho dos espaços públicos: materiais superficiais (absorção e reflexão da radiação solar), compactidade, sombra, vegetação, ventilação, caminhos, presença da água, umidade, albedo, luminosidade.

Diversos trabalhos mostram que o conforto térmico em espaços urbanos abertos é influenciado por uma ampla gama de parâmetros, que incluem desde a velocidade do ar, a temperatura, a umidade relativa, a radiação solar, a atividade executada pelo indivíduo, a vestimenta, parâmetros pessoais, dentre outros.

Dos parâmetros que influenciam o conforto, a direção do vento é fundamental para verificar a influência das características urbanas, sabendo-se que a própria rugosidade urbana propicia uma maior fricção entre as superfícies e os ventos locais. Além de todos esses fatores, a presença de vegetação influencia no microclima urbano, trazendo muitas vezes benefícios ao conforto térmico de pedestres.

Em estudo de Costa Filho et. al. (2009), foi verificado que as áreas de maior altura das edificações apresentaram redução nas médias de temperatura do ar, sendo constatado que a verticalização que é tão condenada em algumas situações, se bem equilibrada e controlada pode reduzir as temperaturas do ar através de sombreamento dos espaços urbanos e possibilidade de maior permeabilidade à ventilação natural.

1.3. O Conforto Térmico do Pedestre

Segundo Frota e Schiffer (2003), o homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, incluindo-se o térmico. A própria intervenção humana no ato de construir as suas cidades, altera as condições climáticas.

As exigências humanas do conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, cujo mecanismo deve estar sempre produzindo calor para manter sua

temperatura interna na ordem de 37°C (homeotermia). O conforto térmico pode ser conseguido quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, ocasionando também uma máxima capacidade de trabalho. Caso ocorra o contrário, ou seja, a homeotermia ser conseguida com esforço adicional, isso representará uma sobrecarga e uma queda de rendimento de trabalho, podendo até em casos extremos causar problemas de saúde.

Para o estabelecimento de parâmetros relativos às condições de conforto térmico é necessária a incorporação das variáveis climáticas, humanas e construtivas. As principais variáveis climáticas do conforto térmico são temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação solar incidente; as variáveis humanas estão relacionadas com a atividade desempenhada pelas pessoas, vestimentas e parâmetros pessoais e; as variáveis construtivas configuram-se nos materiais e formas das superfícies presentes no ambiente, além do próprio planejamento. O conhecimento de todas essas variáveis e das exigências humanas de conforto térmico levam a condições de projetos de edifícios e espaços urbanos cuja resposta térmica atenda às exigências de conforto térmico.

Nos climas quentes é recomendado que o pedestre possa caminhar em espaços protegidos da insolação solar direta. Isso pode ser conseguido através do uso de vegetação, de modo a criar caminhos sombreados, ou até mesmo pela própria existência de elementos construtivos como marquises, toldos, etc.

Segundo Lois e Labaki (2001), estudos sobre conforto térmico em espaços externos geralmente levam em consideração a taxa de metabolismo, a vestimenta e a radiação solar. Também apontam para as respostas fisiológicas aos efeitos combinados dos fatores climáticos e da atividade e, particularmente, a reação às taxas de sudação. O fator psicológico também tem sido amplamente pesquisado por alguns autores, como Valques et. al. (2007) e Nikolopoulou e Steemers (2003).

Brusantin e Fontes (2009) analisam comparativamente em sua pesquisa as condições de conforto térmico real, pela aplicação de questionário, e calculado, através dos índices PMV (Voto Médio Predito) e PET (Temperatura equivalente fisiológica) em uma área de bosque. Essas pesquisadoras observam que uma maior vitalidade dos espaços públicos abertos

depende das oportunidades que os mesmos possam oferecer aos seus usuários, como o acesso ao Sol e a sombra, aos ventos ou proteção dos mesmos, entre outros.

1.3.1. Índices de conforto em ambientes abertos

Em estudos sobre conforto térmico, verifica-se a impossibilidade de se expressar em um único fator as reações humanas ao ambiente térmico, tornando-se necessário a análise do efeito da combinação de vários fatores, como variáveis ambientais (temperatura, umidade, temperatura radiante média e velocidade do ar) e fatores pessoais para um único parâmetro, denominando-se assim o índice térmico.

Geralmente, esses índices de conforto térmico são desenvolvidos fixando-se um tipo de atividade e vestimenta utilizada pelo indivíduo para relacionar as variáveis do ambiente e reunir as diversas condições ambientais que proporcionam respostas similares em pessoas diferentes.

Segundo Sorano (2009), para se fazer um estudo quantitativo da influência das condições térmicas de um ambiente sobre a percepção térmica do homem, é preciso medir as variáveis do ambiente, a reação humana diante destas variáveis e expressar a relação entre causa e efeito com o emprego de um único valor numérico.

Com o objetivo de se conhecer o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes com condições diferentes daquelas de conforto térmico, Fanger (1972) definiu um critério para avaliar o grau de desconforto, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica, o chamado *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Estimado. O PMV consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. A escala do voto médio é simétrica, representando o valor '0' (zero) como neutralidade térmica ou conforto térmico, e variando de '1' (um) a '3' (três), sendo os valores positivos correspondentes às sensações de calor e os negativos às sensações de frio.

Atualmente, a avaliação de conforto térmico tem frequentemente se baseado nos trabalhos de Fanger (1972), que estabeleceu o método do Voto Médio Estimado (PMV), adotados pelas normas internacionais (ISO 7730, 1994). Associado ao PMV está o índice

PPD (*Predicted Percentage of dissatisfied*), o índice de porcentagem de pessoas insatisfeitas, em que quanto mais extremos são os valores da escala do PPD, maior é a porcentagem de pessoas insatisfeitas.

Segundo Voltani e Labaki (2009) o uso do PMV e PPD pode não ser suficiente para a obtenção de resultados confiáveis na prática, podendo gerar erros consideráveis nos resultados da avaliação térmica. Esses autores investigaram em seu estudo as prováveis fontes de desvios nos resultados da correlação entre os valores calculados do PMV e votos da sensação térmica da população pesquisada em ambientes reais.

O PET (Temperatura equivalente fisiológica ou *Physiological Equivalent Temperature*) de uma dada situação é definido por Höpfe (1999) como sendo a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em uma situação típica interna, o balanço térmico do corpo humano é mantido, com temperaturas do centro do corpo e da pele iguais às da situação em questão.

Em outras palavras, o PET se configura no índice para cálculo de conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera: temperatura, umidade do ar e velocidade do vento, temperatura radiante média, baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade, metabolismo de trabalho e vestimenta.

Os resultados da pesquisa de Brusantin e Fontes (2009) demonstraram diferenças entre os índices PMV e PET. Os parâmetros qualitativos locais, caracterizados pela forte presença de arborização de grande porte, presença de bancos, entre outros, contribuíram para a avaliação positiva na sensação e satisfação térmica dos usuários, reforçando-se a importância dos aspectos qualificadores dos espaços públicos abertos para melhorias de condições de conforto térmico.

A Tabela 1 descreve, de forma resumida, a importância dos índices apresentados por Monteiro e Alucci (2005a).

Tabela 1: Organização em grupos de importância dos índices.

Índices	Importância
Temperatura Efetiva (ET), Nova Temperatura Efetiva (ET*) e Temperatura Resultante (RT)	Primeiras tentativas de estabelecer índice genérico para predição de conforto através de uma escala de sensação térmica
Índice de taxa de suor prevista para quatro horas (P4SR)	Tentativa de prever o estresse térmico em situações de trabalho mais extremas
Temperatura de globo e de bulbo úmido (WBGT)	Até hoje é utilizada devido à simplicidade de obtenção de dados
Índice de temperatura resfriada pelo vento (WCT), Índice equatorial de conforto (EC) e Humidex.	Consideram apenas algumas variáveis visando responder a determinadas situações específicas
Índice de estresse térmico por calor (HSI) e Índice de estresse térmico (ITS)	Primeiros índices embasados em modelos analíticos que consideram separadamente os diversos processos de trocas térmicas
Nova Temperatura Efetiva Padrão (SET*)	Obtida através de modelo analítico, sendo o cálculo das trocas feito principalmente a partir de modelo teórico
Modelo Climático de Michel (KMM)	Também baseado em balanço térmico, contudo seu modelo é mais simples
Critérios para níveis de sudação em espaços externos da Expo de Sevilha	São estabelecidos a partir de modelo analítico teórico
Fórmula de Conforto (COMFA)	Modelo analítico de balanço térmico
Temperatura Neutra Exterior (Tne)	Foco em adaptação dos indivíduos a um determinado clima, sendo uma abordagem bastante recente nos estudos de espaços externos

Monteiro e Alucci (2005b) consideram as seguintes pesquisas como as mais recentes e significativas publicadas nos últimos dez anos:

- Modelo MENEX e os cinco índices de Blazejczyk (1996);
- Modelo MEMI e o índice PET de Höpe (1999);
- OUT-SET* de Pickup & Dear (1999);
- TS de Givoni & Noguchi (2000);
- NWCT de Bluestein & Osczevski (2002);
- KMM e o PT* de Jendritzky (2003);
- Trabalhos em desenvolvimento da Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia, em busca de um índice termo-climático universal (ISB, 2004).

Ainda segundo Monteiro e Alucci (2005b), os índices empíricos respondem significativamente às situações específicas em que foram determinados e que a tendência é a utilização de modelos analíticos quando há intenção de se obter respostas universais. Presumem, além disso, que a tendência nas pesquisas é o desenvolvimento, por um lado, modelos analíticos universais representativos dos processos termo-fisiológicos e, por outro,

calibrações particulares que satisfaçam os processos de adaptação e aclimação, que na realidade é o que vem sendo feito com os modelos disponíveis.

1.3.2. Alguns estudos em conforto térmico do pedestre

Pezzuto e Labaki (2007) realizaram um estudo de caso na região central da cidade de Campinas (SP). Utilizaram formulários e realizaram medições em pontos de características diferenciadas e de alto fluxo de pedestres. Neste estudo constatou-se que a sensação térmica do usuário no verão, em espaços urbanos abertos com diferentes configurações, não mostrou grandes variações. Ao contrário, no período de inverno os pedestres apresentaram sensação térmica diferente nos diversos pontos de coleta. Em ambos os casos, o ponto localizado próximo ao parque foi o que apresentou maior índice de conforto.

Cavalcante et. al. (2005) estudaram o comportamento de variáveis microclimáticas em recintos urbanos em Maceió (AL), na forma de praças, quantificando o efeito microclimático benéfico da presença de vegetação nesses recintos. Nos pontos dos transectos longitudinais e transversais definidos em duas praças, foram medidos temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar. A Figura 2 compara dados medidos sob a sombra das arbóreas e sob sol. Diante dos resultados apresentados, pôde-se comprovar que a utilização de árvores em praças e áreas públicas reduz a temperatura no ar embaixo da copa, quer seja ela densa ou não.

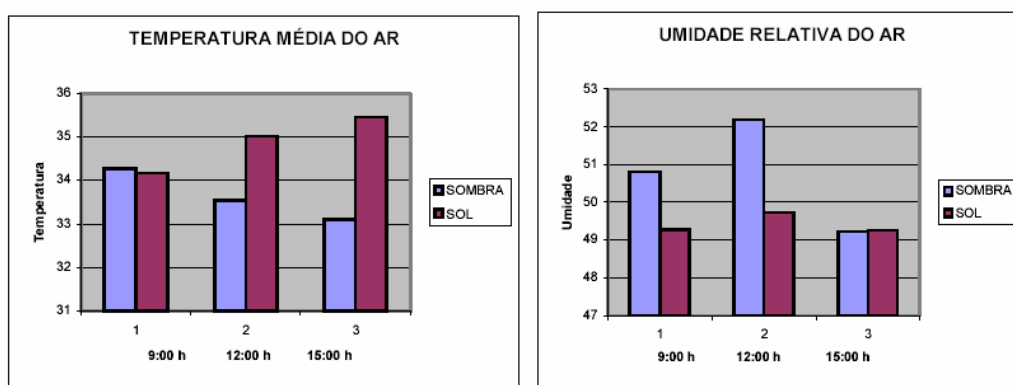


Figura 2: Comportamento médio da temperatura do ar e umidade relativa, na Praça Muniz Falcão, para áreas sombreadas pelas arbóreas e expostas ao sol.

Fonte: Cavalcante et. al. (2005).

Duarte et. al. (2007) utilizaram-se de método empírico (levantamento de campo de variáveis ambientais) auxiliado por método analítico (simulação de modelos preditivos) para

análise na região da Barra Funda, zona Oeste de São Paulo (SP). Nesse estudo, verificou-se que soluções de adensamento construtivo possivelmente permitiriam maiores períodos de conforto em situações quentes, pela diminuição do fator de visão de céu e consequente sombreamento da área, e que a utilização de áreas verdes densas apresenta resultados ainda mais significativos, pelo impacto do sombreamento e da evapotranspiração na sensação de conforto térmico.

Takenaka e Faria (2003) selecionaram trechos de três vias públicas na cidade de Bauru com morfologias particulares, possuindo em comum escoamento do trânsito de veículos e um fluxo muito intenso de pedestres. Foram realizados os seguintes levantamentos: temperaturas de bulbos seco e úmido, de globo, velocidade do vento, observação dos pedestres em relação a tipo de vestimenta usada e comportamento (procura de sombra). A partir da observação de comportamento (registrada por fotos), foi determinada a proporção de pessoas ao sol e na sombra, confrontando-a com a sensação térmica observada. Com os dados medidos, foram calculados dois índices de conforto térmico: o PMV (índice de voto estimado) e o PET (temperatura equivalente fisiológica). A pesquisa demonstrou a importância do sombreamento das áreas de pedestres nas vias públicas como um dos fatores de melhoria da qualidade do espaço.

Katzchner et. al. (2007) estudam também a relação entre o clima urbano, o conforto térmico e a saúde na Europa Central. Utilizam dados empíricos, entrevistas com os habitantes e simulações de conforto térmico aplicando os modelos ENVI-met e BOTworld. O estudo conclui que a sensação térmica na medida em que há aproximação de “blocos” (materiais) tende a mudar e que a diferença no PET em lugares perto de edificações chega a ter um acréscimo de 5°C.

1.3.3. Comportamento e Sensação do Pedestre

O comportamento do pedestre diante de um ambiente térmico urbano tem sido alvo de estudos mais recentes em relação ao estudo da sensação térmica. Muitos estudos têm demonstrado a importância do sombreamento, promovido tanto pelas edificações quanto pela existência de arbóreas, nesse assunto. No entanto, existe a possibilidade de se ampliar cada vez mais a investigação desse assunto, incorporando tanto parâmetros ligados ao sombreamento, quanto aos de diferentes configurações urbanas (verticalização, taxa de

ocupação, usos de solo, etc.), e de que forma esses parâmetros influenciam na sensação e comportamento dos pedestres.

A probabilidade de duas pessoas perceberem igualmente o mesmo ambiente é grande, porém a vivacidade dos sentidos ou o legado sensorial podem alterar essa percepção, comprometendo o conceito avaliativo do lócus. Existe também a possibilidade de duas pessoas não sentirem ou perceberem os mesmos indicadores relativos do lugar e, conseqüentemente, terem opiniões opostas sobre a qualidade do mesmo.

Valques et. al. (2007) tentaram demonstrar em pesquisa as condições do ambiente urbano aferindo, em lugares específicos, os indicadores físicos do conforto ambiental (temperatura, umidade, etc.) e os confrontando com a percepção dos usuários dos locais. Correlacionando-se tais dados, estabeleceram uma grandeza escalar denominada Índice de Desempenho Lócus-perceptivo como um indicador avaliativo da percepção do lugar pelo usuário. Os indicadores relativos, sensoriais e emocionais, após aferidos, foram tabulados e tiveram um intervalo de valores atribuídos a eles a fim de quantificá-los e qualificá-los para a elaboração de uma equação.

Segundo Nikolopoulou e Steemers (2003), diferentes pessoas percebem um ambiente de diferentes maneiras, e a resposta humana para o estímulo físico depende da ‘informação’ que a pessoa tem para uma situação particular. Fatores psicológicos são influenciados pela percepção térmica do espaço e das mudanças ocorridas no mesmo. Esses autores estudam a questão da adaptação psicológica: de forma natural, por expectativas, experiência, tempo de exposição, controle percebido e estímulo do ambiente; e entendem que a inter-relação entre diferentes parâmetros da adaptação psicológica pode ser interessante para comparar suas relativas significâncias e avaliar o papel do projeto.

Sorano (2009), verificando o comportamento térmico em um bairro na cidade de Bauru (SP), estabeleceu relações entre tendências térmicas da área e o conforto térmico do pedestre. Esse estudo demonstrou que quando o pedestre desenvolve atividades no bairro em condições de altas temperaturas do ar, ocorre o desconforto do pedestre. Além disso, foi apontada uma relação entre a sensação do pedestre e a temperatura radiante das superfícies.

O desconforto térmico de trabalhadores com uniformes e condições excedentes de temperatura do ar foi também verificado por Camargo (2007). Ambas as pesquisas demonstram a necessidade de serem abordadas de forma mais aprofundada a relação entre o ambiente térmico urbano e as sensações térmicas vivenciadas pelos pedestres.

1.4. Ergonomia Ambiental e Stress Térmico

Nos últimos anos, várias pesquisas têm dado importância ao conforto térmico em ambientes externos. Os estudos voltados à avaliação do conforto térmico em espaços externos possibilitam um aprimoramento do design ergonômico ambiental.

Segundo Valques et. al. (2007), o meio urbano pode ser um ambiente gerador de elementos que deflagram o estresse, podendo ser esse interpretado como a utilização dos sentidos de forma exagerada, causando complicações fisiológicas e psicológicas. Alguns exemplos de indicadores de conforto ambiental como situações de ruído elevado, temperaturas extremas e aclaramento excessivo podem gerar estresse. Ainda, a percepção do usuário pode ficar comprometida por causa do estresse a ponto de negar um ambiente confortável, comprometendo a sua apreensão.

O stress térmico pode ser considerado como o estado psicofisiológico a que está submetida uma pessoa, quando exposta a situações ambientais extremas de frio ou calor. O ser humano, no desempenho de suas atividades, quando submetido a condições de stress térmico, tem entre outros sintomas, a debilitação do estado geral de saúde, alterações das reações psicossensoriais e a queda da capacidade de produção. Em vista disso, é fundamental o conhecimento a respeito das condições ambientais que possam levar a esse estado, bem como se observar o tipo de trabalho e o tempo de exposição do homem a tal situação (LAMBERTS, 2002).

Vários estudos e pesquisas têm sido feitas para estudar essas condições, bem como para fixar um índice aceitável que caracterize esses ambientes. Além dos índices, o estado de stress ou de tensão térmica também pode ser determinado por medições fisiológicas do corpo humano.

Ferramentas computacionais de análise e simulação do ambiente térmico urbano

2

Nos estudos de planejamento urbano e conforto térmico é comum o uso de ferramentas computacionais para armazenamento e simulações de informações climáticas e ambientais. Nesse contexto, o desenvolvimento da ferramenta ENVI-met como um *freeware* e a sua aplicação em diversos estudos, que vêm considerando-a como uma ferramenta eficiente em simulações de desempenho ambiental térmico, conferem-lhe uma indicação como instrumento potencial para pesquisa. Associado a esta ferramenta, o *freeware* denominado BOTworld tem como função analisar o comportamento do pedestre.

Essas duas ferramentas específicas são abordadas neste capítulo, não só através da apresentação de resultados alcançados por outros autores, mas também através da abordagem de algumas questões técnicas e requisitos necessários para as suas aplicações.

2.1. A ferramenta ENVI-met

O ENVI-met é um *freeware* (disponível em <http://www.envi-met.com/>) desenvolvido por Michael Bruse na Alemanha e configura-se como um modelo tri-dimensional de clima urbano, que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente. A ferramenta oferece várias possibilidades de aplicação e associações.

Katzschner et. al. (2007) utilizaram em sua pesquisa, a ferramenta ENVI-met para a análise e simulação do espaço urbano. Nesse estudo, os parâmetros meteorológicos obtidos são temperatura, vento e umidade do ar, com isso, sendo calculados a temperatura radiante média e o PET (temperatura equivalente fisiológica).

Bruse (1999) ao aplicar o programa ENVI-met para simular o comportamento dos ventos em uma tipologia de organização de lotes em clima temperado, concluiu que no

inverno a disposição dos edifícios obstrui os ventos frios e no verão possibilita a fusão das brisas, possibilitando ventilar as ruas e edifícios.

Lahme e Bruse (2003) realizaram medições locais do clima e dados da qualidade do ar, além de simulações das condições climáticas nas posições selecionadas, também aplicando o modelo numérico ENVI-met. Os autores investigaram os efeitos quanto ao microclima e qualidade do ar de um pequeno parque urbano cercado por uma área densamente ocupada. Concluíram que o ENVI-met reproduz os dados observados com suficiente precisão. Entretanto, alguns fenômenos, tais como os ventos catabáticos (ventos que fluem das elevações das montanhas para os planos abaixo), que foram observados nas medições, não puderam ser reproduzidos devido ao modelo físico utilizado. Este problema não é de natureza física, mas de recursos limitados do computador que não resolvem estes tipos de fluxos, ou seja, o programa age de forma mais generalizada não conseguindo prever determinados fenômenos climáticos a que a área pode estar sujeita.

Outro exemplo de utilização do ENVI-met é a pesquisa de Han et. al. (2007), que investigaram as mudanças do microclima e a redução na escala urbana da carga de refrigeração resultantes do córrego Cheonggye, que foi recentemente restaurado. Esse programa ajudou na comparação da mudança microclimática no centro de Seoul entre antes e depois da restauração do córrego de Cheonggye. O estudo concluiu que embora o córrego de Cheonggye seja estreito, contribui na diminuição da temperatura média diária em 0,31 °C e no aumento da média de umidade relativa diária em 0,89% nos seus arredores.

Além disso, esse mesmo estudo comparou dados simulados com os medidos. Os resultados apontaram uma diferença entre eles, indicando que a simulação prevê que a temperatura é mais elevada do que a maioria dos dados medidos. Essa diferença foi considerada por Han et. al. (2007) ser atribuível a velocidade do vento. Os autores consideram que a alta temperatura da superfície do asfalto influenciou a área de estudo, tendo por resultado uma alta temperatura, porque a velocidade do vento foi suposta estar a nordeste a 0,5 m/s. Embora o resultado da simulação seja um resultado espacial e temporal ordinário baseado no método numérico usando processo físico, a própria medição reflete a situação em que ela mesma foi realizada e é difícil ser considerado como um caso representativo. O erro foi considerado vir dessa diferença.

Santos et. al. (2004) fazem a aplicação do ENVI-met para verificarem o efeito da vegetação sob três situações distintas: as observadas no dia de estudo e as situações hipotéticas de ausência de vegetação e de presença de vegetação densa. Suas simulações permitiram observar que a vegetação, em particular a existente junto a vias de tráfego, influencia na qualidade do ar urbana, ou seja, contribui no aumento da velocidade do vento nas faixas de circulação, conduzindo a um aumento da dispersão de monóxido de carbono (CO). O modelo numérico ENVI-met foi aplicado na estimativa dos campos de vento e de concentração de CO com origem nas emissões do tráfego de automóvel.

Brandão (2009) utilizou em sua pesquisa o ENVI-met e aplicativos de CFD (CFX). Sua pesquisa indica que o aplicativo ENVI-met apresentou uma interface amigável e parametrização, possibilitando verificar potencialidades e limitações do programa. Nesse estudo, notou-se que a opção de malhas com 3m, 5m, 10m, ou 20m alterou fortemente o resultado. Foi observado também que, como o aplicativo não apresenta a opção de utilização da condição de limite cíclico, as simulações são bastante influenciadas pelo tamanho da área de modelagem, já que o perfil do vento inicial sempre se refere a uma área desobstruída. Além disso, o programa apresentou dificuldade em considerar o efeito da massa térmica urbana devido à modelagem simplificada das edificações.

O estudo de Silva e Romero (2009) com o auxílio do ENVI-met concluiu que a ferramenta se mostrou adequada para simulação de áreas urbanas, sendo que as limitações encontradas foram consideradas irrelevantes diante do estudo de caráter pioneiro no desenvolvimento de simulações de desempenho ambiental térmico.

Diversos autores apontam para as possibilidades apresentadas pelo programa, porém, pelos próprios resultados alcançados, sua aplicação não deve ser indiscriminada. Como cada local tem características térmicas específicas, acredita-se que uma validação do modelo para cada região de estudo deve sempre preceder à simulação. Nesse sentido tornam-se necessários estudos e testes específicos para esse fim.

Para melhor compreensão dessa interface computacional e dos requisitos necessários para a sua aplicação, cabe aqui destacar alguns pontos técnicos sobre o ENVI-met. A figura 3 mostra um esquema sobre o sistema de simulação do ENVI-met.

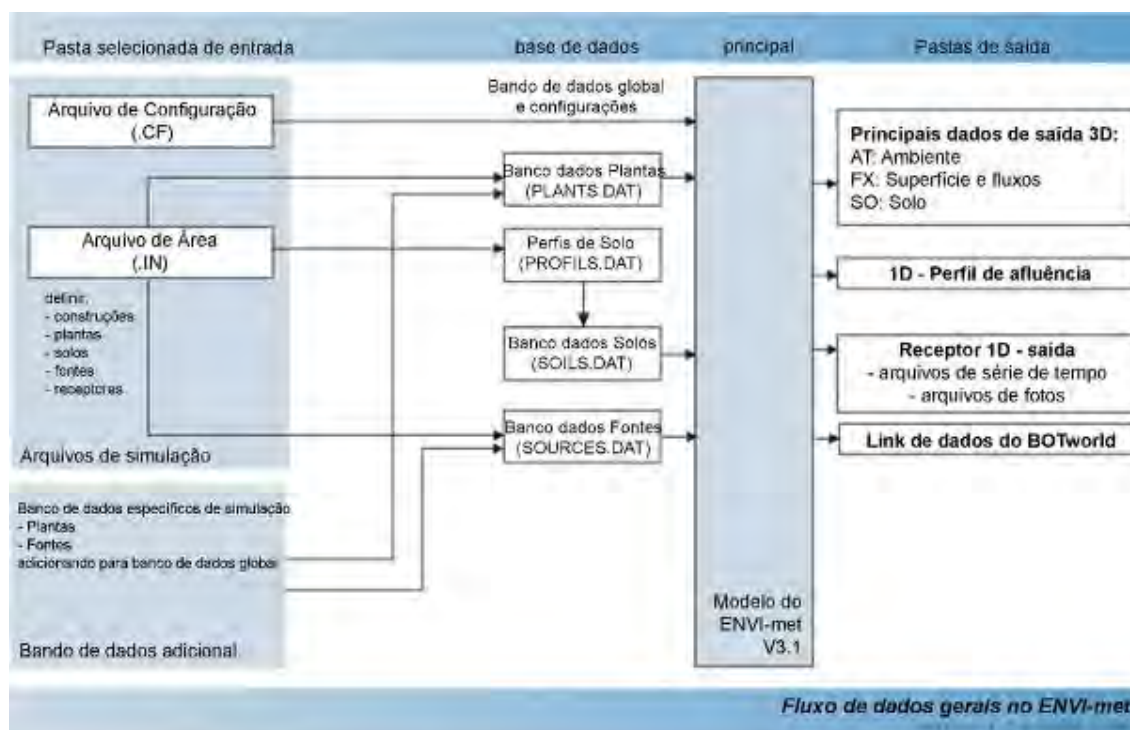


Figura 3: Esquema sobre o sistema de simulação do ENVI-met
 Fonte: adaptado de www.envi-met.com (acesso em 15 ago. 2010)

Para que o programa possa simular as condições ambientais de um dado local de estudo necessita-se da elaboração e inserção de dois arquivos de entrada: o arquivo de área e o arquivo de dados de configuração.

No arquivo de área (Figura 4) deve-se definir: a configuração da área construída (dimensões de largura e altura), a existência e tipo de vegetação, o tipo de superfície (asfalto, calçada, arenoso, argiloso, etc.), o ângulo de rotação do Norte, a localização (latitude e longitude), o número de *grids* (eixos *x*, *y* e *z*) e a escala dos *grids*.

No arquivo de dados de configuração, são solicitados os dados mínimos exigidos para a simulação:

- Velocidade do vento a 10 m (m/s)
- Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W.)
- Rugosidade
- Temperatura Inicial Atmosférica (K)
- Umidade Específica a 2500 m (g água / kg ar)
- Umidade Relativa a 2 m (%)

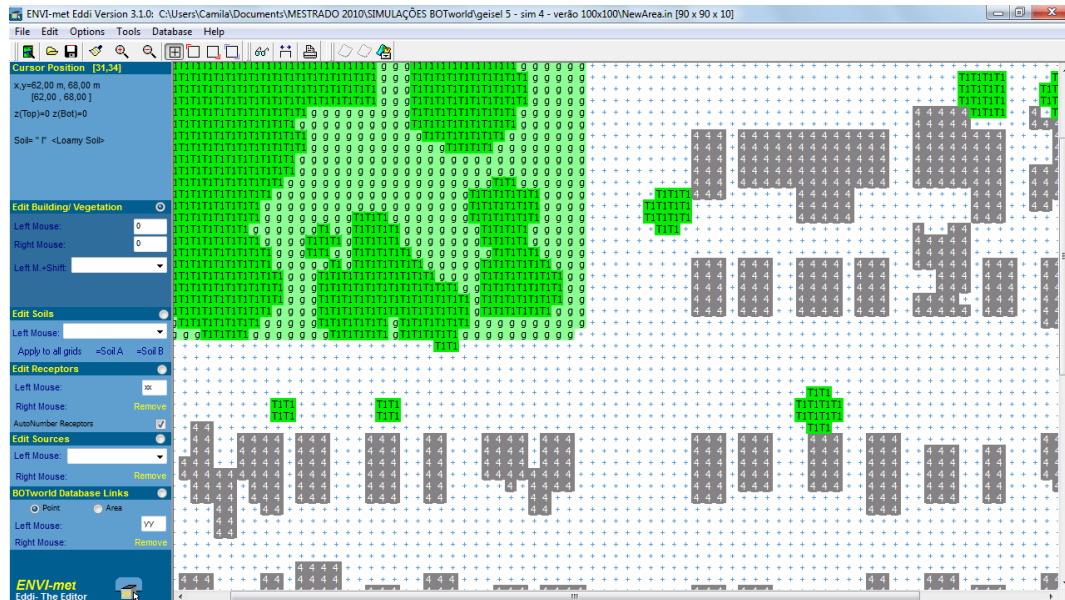


Figura 4: Área de trabalho para edição de área de entrada no ENVI-met.

Dentre os diversos parâmetros ambientais, o ENVI-met fornece, a partir de sua simulação, os seguintes:

- Velocidade do vento (m/s)
- Mudança de velocidade do vento (%)
- Direção do vento (deg)
- Perturbação de pressão (Diff)
- Temperatura Potencial (K)
- Mudança de Temperatura Potencial (K/h)
- Umidade específica (g/kg)
- Direta Sw Radiação (W/m^2)
- Difusa Sw Radiação (W/m^2)
- Lw Radiação do ambiente (W/m^2)
- Fator de visão do céu (somente construções)
- Fator de visão do céu (construções e vegetações)
- Temperatura de Parede (K)
- PPD
- PMV
- Temperatura radiante média (K)
- CO₂

Uma característica do modelo ENVI-met é que a curva de temperatura diária é gerada a partir de um impulso inicial, através de um processo de iteração. Nesse processo, é necessário um tempo inicial de iteração até que os resultados possam se estabilizar e sejam gerados dados mais precisos. Em outras palavras, é necessário que o programa simule repetidas vezes o mesmo dia sem interrupção.

Para que se possa ter certeza de qual das curvas simuladas é a de melhor desempenho, é necessário fazer várias simulações em diferentes pontos. Ressalta-se, no entanto, que o maior problema encontrado no modelo reside no longo tempo requerido para a simulação e na capacidade necessária ao computador para o armazenamento dos arquivos, em função do tamanho que esses assumem durante o processo.

2.2. A ferramenta BOTworld

Associado à análise do ambiente térmico urbano, a técnica das simulações *Multi-Agent System* pode colaborar na investigação do impacto das condições do microclima no conforto térmico do ser humano no nível do pedestre, conforme aponta Bruse (2007). Esta ferramenta é capaz de simular as sensações e comportamentos que os pedestres teriam diante de uma área definida. Para calcular o conforto térmico do pedestre, esse método utiliza vários fatores de entrada, incluindo dentre eles parâmetros meteorológicos, tais como: temperatura do ar, velocidade e direção do vento, temperatura radiante média e a umidade do ar.

O BOTworld é um dos sistemas de simulação que aplica a técnica *Multi-Agent* e que prevê o comportamento e o movimento dos pedestres em áreas urbanas sob a influência de diferentes fatores ambientais (disposição urbana, fontes de tráfego, qualidade do ar e microclima). Com o BOTworld é possível saber quais rotas os pedestres preferem, como se sentem em determinadas posições e como as mudanças na estrutura urbana modificam o fluxo dos pedestres e suas opiniões.

Exemplificando a dinâmica desse *software*, sob o ponto de vista do pedestre virtual, Bruse (2005b) escolheu um exemplo do gênero masculino (com 48 anos e 75 kg) e um do gênero feminino (com 17 anos e 56 kg) para demonstrar como os processos térmicos ocorreram na escala do pedestre. Os resultados revelaram que o pedestre masculino, para o

qual é estabelecida uma preferência de percursos sombreados, a temperatura da pele decai de 36,61°C para 35,54°C quando este passa para o lado sombreado da rua, no entanto, a temperatura do corpo mostra somente uma pequena reação nos diferentes microclimas. Quando este cruza o espaço aberto, o balanço de energia muda positivamente e o corpo se aquece. Para o pedestre feminino, a situação observada é diferente. Como este agente anda constantemente sob o sol, há somente uma pequena variação na temperatura da pele e quase nenhuma mudança na temperatura do corpo. Quando este agente se encontra no cânion da rua, permanece a impressão de que seu corpo está ligeiramente mais quente que as condições iniciais, devido à velocidade do vento reduzida. Ao contrário, o espaço aberto parece ser um pouco mais fresco do que a média, devido à velocidade de vento mais elevada, tornando-se mais eficiente, quando existe uma quantidade relativamente elevada de suor na pele.

Segundo Dostal et. al. (2009), o BOTworld oferece diferentes cenários para os agentes quando eles passam ou se movem por dentro do modelo. Podem ser vistos no modelo a velocidade de caminhar, tempo de conversa com outros BOTs e a escolha de rotas alternativa em ambientes de condições não confortáveis. Além disso, os BOTs são habilitados para avaliar a distância de cobertura com a abordagem de lógica Fuzzy. Assim os pedestres virtuais podem avaliar sua rota de caminho, considerando calor previsto por estimativa de sua temperatura de pele com a velocidade de vento, ou, de uma forma mais geral, as condições humanas internas com as condições externas.

Esses estudos levantam idéias sobre as diversas possibilidades de pesquisa que podem ser direcionadas para a obtenção de um ambiente térmico mais ergonômico ao pedestre.

Para melhor entendimento do funcionamento dessa ferramenta, encontra-se na figura 5 um esquema sobre o sistema de simulação do BOTworld. Em termos técnicos, para a simulação no BOTworld são necessários dois arquivos de entrada: o da área editada no ENVI-met e o arquivo da pasta '*BOTworld*' (.BWD) originado por simulação no ENVI-met e referente ao horário para o qual se deseja simular no BOTworld.

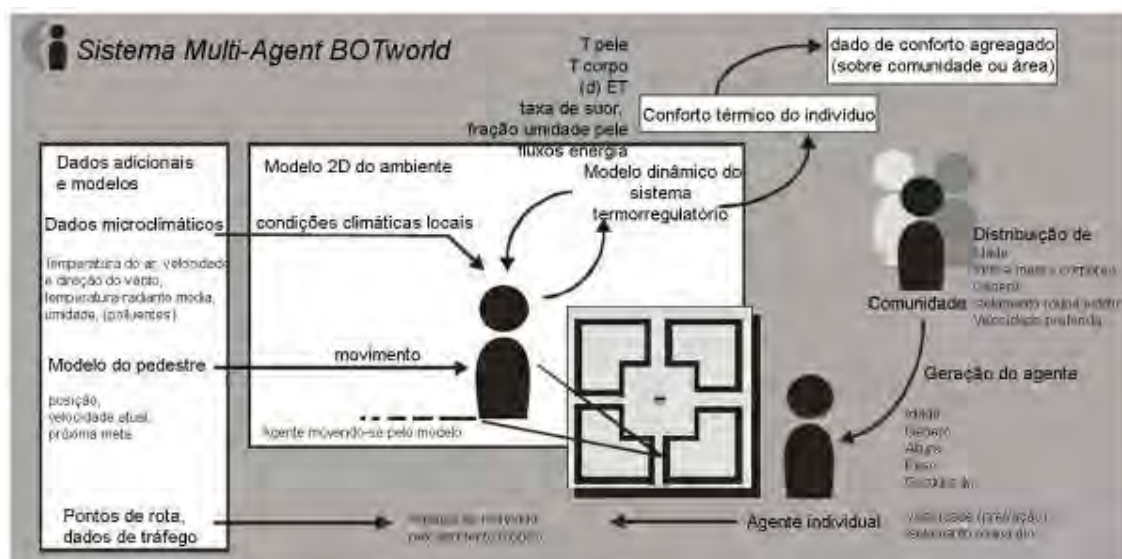


Figura 5: Esquema sobre o sistema de simulação do BOTworld
Fonte: adaptado de Bruse (2005a)

A edição de área pode ser feita na versão 3.0 do ENVI-met, pois essa é a versão compatível com o programa BOTworld para a utilização do arquivo de área ('Area Input File'). Depois de editada a área na versão 3.0, sugere-se que o arquivo seja atualizado para a versão ENVI-met 3.1 para o uso da ferramenta 'Leonardo 3.75' no momento de análise em forma de mapas no ENVI-met.

No momento da edição da área é necessário determinar os 'routingpoints', ou seja, os pontos de onde os 'bots' (pedestres virtuais do BOTworld) irão entrar e sair do ambiente. Planejar adequadamente esses pontos influenciará no trajeto dos pedestres (mas não nas decisões individuais durante o percurso dos mesmos).

Além dos dois arquivos do ENVI-met, O BOTworld necessita a definição de alguns parâmetros como, por exemplo, o perfil da comunidade com valores máximos, médios e mínimos de velocidade, idade, BMI e clo, ou criando-se uma comunidade padrão com pedestres de dados iguais (35 anos, 1,80m, 75 Kg, BMI = 23,1), mas de ambos os gêneros. Além disso, pode ser selecionado o tipo dos pedestres como: tolerante, normal e sensível (Figura 6).

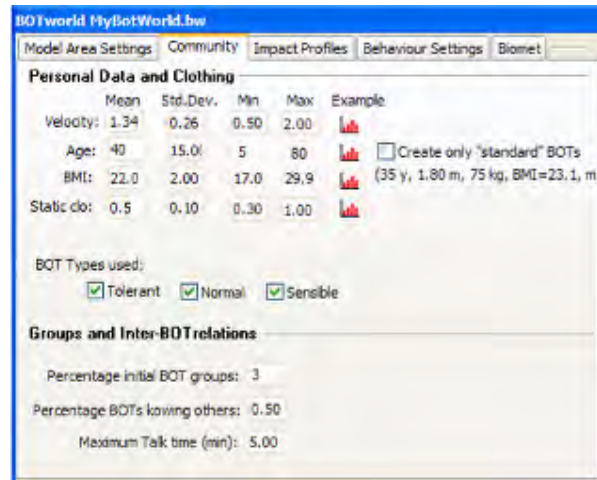


Figura 6: Configurações do perfil da comunidade (BOTworld).

Na aba do programa 'Impact Profiles' (Perfis do Impacto), pode-se configurar a porcentagem de importância de determinados parâmetros para os pedestres (Figura 7):

- Andar com a velocidade preferida;
- Respeitar o território privado;
- Manter a direção;
- Preferir o movimento de mão-direita;
- Formação de grupo e;
- Qual a importância da avaliação ambiental.

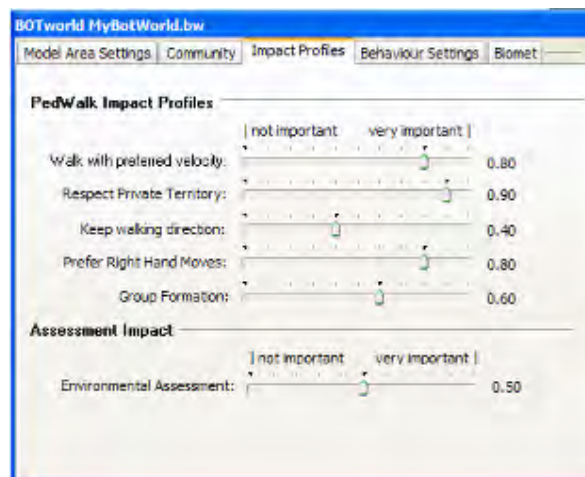


Figura 7: Configurações do Perfil do Impacto (BOTworld).

Além dessas configurações existem os parâmetros avançados de pedestres e a alternativa de se manter as condições iniciais dos dados climáticos como provenientes do

arquivo de dados de ENVI-met ou alterá-las (temperatura do ar, temperatura média radiante e velocidade do vento), dentre outros parâmetros.

O BOTworld ainda oferece a opção de escolha do tipo de simulação: interativa ou direta. Na simulação interativa, pode-se controlar o tempo de simulação (pausando, prosseguindo ou acelerando) e analisar o trajeto e condições térmicas de cada bot (por gráficos), além da malha toda (por mapas). Já na simulação direta, o programa simula considerando que os pedestres já tenham caminhado, mas possibilita apenas a análise da malha urbana como um todo em forma de mapas.

Os dados que o programa fornece para análise são:

Dados climáticos:

- Temperatura do ar
- Temperatura radiante
- Velocidade do vento
- Direção do vento
- Pressão de vapor
- Poluentes

Meio ambiente:

- Número de bots que passaram/transitaram
- Última direção de bot
- Superfície caminhada
- Bot ID (Debug)
- PMV (média)

Estado do BOT (avaliação de um único pedestre selecionado):

- Temperatura da pele
- Temperatura das roupas
- Temperatura do corpo
- Umidade da pele (%)
- Balanço de energia
- Poluentes respirados
- Direção do pedestre

- Velocidade do pedestre

A análise mais aprofundada de cada *bot* pode ser feita das seguintes maneiras:

- Mapa: a opinião do *bot* clicado na tela em relação ao *grid* todo sobre um determinado parâmetro selecionado
- Gráfico: nome, características pessoais, gráficos de temperaturas, dados de condições térmicas individuais, o tipo de pedestre, se está caminhando sozinho ou em grupo, etc.

Além de todos esses dados de saída a serem analisados, o BOTworld calcula o PMV para todo o *grid* para qualquer momento da simulação interativa, levando-se em consideração o número de *bots* no modelo, a média do *clo* e a média do metabolismo dos *bots* presentes no modelo para esse determinado momento.

Materiais e Métodos 3

Neste capítulo são apresentados a metodologia e procedimentos adotados para avaliar a influência do ambiente térmico urbano no comportamento do pedestre. A metodologia aplicada na área de estudo engloba etapas de: observações e entrevistas, levantamentos de dados climáticos, simulação com os software ENVI-met e o BOTworld, comparação de dados reais e simulados e análise de resultados. Algumas destas etapas exigem considerações específicas, que são detalhadamente abordadas em sub-itens deste capítulo.

A metodologia foi desenvolvida de forma a permitir não só a verificação do ajuste do modelo para a área de estudo, bem como a simulação do ambiente térmico para a situação real da área de estudo e para uma situação hipotética de verticalização para a mesma área.

3.1. Procedimentos

Para a metodologia adotada, os seguintes procedimentos metodológicos foram realizados:

1. Escolha da área de estudo e caracterização de acordo com a dimensão e características compatíveis com o software a ser empregado (ENVI-Met);
2. Levantamentos: entrevistas e observações com pedestres na área de estudo, simultaneamente ao monitoramento de dados climáticos locais por instrumentos e obtenção de dados climáticos gerais através do Instituto de Pesquisas Meteorológicas – IPMet-UNESP-Bauru;
3. Testes prévios de simulação computacional com os software ENVI-met e BOTworld para aprendizado, verificação dos dados de entrada e formatos de resultados obtidos;
4. Organização e preparação dos dados de entrada para as simulações com o software ENVI-met através da: seleção dos dias estáveis dentre os dias monitorados para utilização em análises e simulações; escolha de escalas e versões a serem utilizadas

- para a simulação; configuração dos arquivos de entrada de representação da área de estudo e de condições meteorológicas;
5. Simulações de situação real e cenário hipotético com o software ENVI-met para análise do microclima;
 6. Simulações de situação real e cenário hipotético com o software BOTworld para análise das sensações e comportamento dos pedestres virtuais;
 7. Análise de resultados obtidos no levantamento: condições meteorológicas gerais, condições meteorológicas locais e opiniões de pedestres pelas entrevistas;
 8. Análise dos resultados obtidos pelas simulações com o ENVI-met;
 9. Análise dos resultados obtidos pelas simulações com o BOTworld;
 10. Análise geral dos resultados

A área de estudo foi selecionada conforme suas características de compatibilidade com o estudo proposto e simulações com os software, dentro de uma fração urbana da cidade de Bauru. As características da área são apresentadas no item ‘3.2. Área de Estudo’.

As entrevistas com os pedestres foram realizadas em períodos da tarde e da manhã, utilizando-se a aplicação de questionário de sensação térmica (ver modelo de questionário em ‘Apêndice 1’), cujas questões foram elaboradas com base em estudos de Lamberts e Xavier (2002), Ornstein (1992) e Pezzuto (2007). Além das entrevistas, foram feitas, nos mesmos horários, a observação da movimentação e trajetos dos pedestres pelo bairro. Ambos os levantamentos foram realizados dentro do mesmo intervalo para o qual foi realizado o levantamento climático. Os detalhes metodológicos dessa etapa são apresentados no item ‘3.3. Procedimentos adotados para as entrevistas e observações sobre os pedestres’ e os resultados desse levantamento com pedestres estão descritos em ‘4.2. Avaliação dos pedestres no bairro’.

O monitoramento dos dados climáticos consta de medições *in loco* (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade e direção do vento), realizadas nos períodos de 17/jul/2009 a 11/ago/2009 para o inverno e de 26/jan/2010 a 9/fev/2010 para o verão. A instrumentação utilizada é descrita no sub-item ‘3.4 Instrumentação’. Foram realizadas medições climáticas ininterruptas para a estabilização dos equipamentos e para possibilitar a seleção de dias estáveis e típicos da estação para análise. A análise de estabilidade dos dias medidos para a seleção de dias estáveis a serem estudados foi feita através do traçado do gradiente vertical de temperatura com os dados de temperaturas previstas entre 0 e 2.500 metros, dados esses que

foram fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas de Bauru (IPMet – UNESP - Bauru). Como alguns dos dias no intervalo de coleta de dados apresentaram precipitação, esses foram descartados da análise. Toda a preparação de dados para a simulação é descrita no sub-item ‘3.5. Preparação para simulações computacionais’, enquanto a descrição específica da forma de seleção dos dias estáveis encontra-se no sub-item deste capítulo ‘3.5.1. Análise de perfis de temperaturas para escolha dos dias estáveis’.

Além da análise de gradiente vertical para escolha dos dias estáveis a serem estudados, outros procedimentos tiveram que ser realizados para o preparo dos dados solicitados pelos software para as simulações. Os sub-itens ‘3.5.2. Configuração de escalas e versões do ENVI-met’ e ‘3.5.3. Configuração do arquivo de área do ENVI-met’ abordam algumas dessas questões.

As simulações das condições climáticas foram realizadas através da aplicação do software ENVI-met, enquanto a posterior simulação do comportamento do pedestre foi feita através do software BOTworld. Foram feitas simulações para a situação real da área de estudo e para uma situação hipotética de verticalização dessa mesma área. Para isso foram inseridos como valores de condições ambientais de entrada do programa, os valores médios de um intervalo de dias estáveis também fornecidos pelo IPMet – UNESP - Bauru. Os dados obtidos estão especificados no capítulo ‘3.5.4 Configuração do arquivo de dados de condições meteorológicas’. Esses dados foram solicitados para o mesmo período correspondente ao de monitoramento de dados reais com os instrumentos na área de estudo, no inverno e no verão, e considerados os valores dos dias julgados como estáveis para valores de configuração de entrada do programa. Os dados climáticos foram organizados em tabelas e utilizados como dados de entrada no programa ENVI-met.

Os dados monitorados em campo através dos instrumentos foram destinados à verificação do microclima da área estudada e avaliação de fidelidade dos dados de saída do software ENVI-met. Os resultados do monitoramento em campo encontram-se descritos em ‘4.1. Levantamento de dados climáticos na área de estudo’.

Para que a simulação com os software fosse possível, houve uma fase de treinamento com o software ENVI-met e BOTworld e aplicação dos mesmos em testes prévios, com a finalidade de maior reconhecimento de suas potencialidades e fragilidades, auxiliando na

previsão dos tipos de resultados a serem obtidos nessa pesquisa. Naquela fase, as simulações testes visaram também identificar o comportamento de cada um dos software diante de diferentes configurações de computadores, resultando em diferentes desempenhos e tempo necessário de simulação. Aqueles testes foram realizados com base nos dados da pesquisa de Nakata e Souza (2007), sendo feita assim uma primeira verificação da possibilidade de calibração do modelo para a cidade de Bauru (SP). Os resultados daqueles testes podem ser constatados em Nakata et al (2009a) e revelaram que há necessidade de ser realizado um ajuste do modelo para cada área de estudo.

Os resultados do teste revelaram ainda que o ENVI-met necessita de grande intervalo de tempo para suas simulações (cerca de 1 dia real para cada dia de iteração do modelo), pois a quantidade de dados de entrada é grande e exige tempo para que o programa se estabilize e forneça resultados mais ajustados. O ajuste realizado para a área de estudo dessa pesquisa é apresentado no capítulo ‘5.1. Verificação de ajuste do ENVI-met para a área de estudo’.

Como o programa ENVI-met solicita alguns dados gerais de condições térmicas e os simula para o ambiente dado, fornecendo dados de condições térmicas pontuais em forma de malha sobre o mesmo, é necessário previamente definir quais dos diversos parâmetros de saída analisar. Os dados de saída do programa a serem comparados deverão ser comparados com os dados medidos no local por uma ‘estação meteorológica’ e por outros termômetros *data loggers*, que foram alocados na área de estudo nas mesmas alturas da localização dos sensores de medição, sendo eles:

- Temperatura do ar a 1,5m para ponto da estação e 1,80m para *data loggers*
- Umidade relativa a 1,5m
- Velocidade do vento a 3m

O BOTworld, por ser uma extensão do ENVI-met e utilizar como dados de entrada os dados de saída daquele, necessita de um tempo de simulação mais reduzido. Os testes com essa extensão indicaram que são necessários apenas alguns minutos para simular as sensações e comportamentos dos pedestres virtuais nas condições ambientais já simuladas no ENVI-met.

Para o desenvolvimento das simulações com o BOTworld foram selecionados os arquivos correspondentes aos horários mais ajustados, determinados pelos resultados da simulação com o ENVI-met. O preparo dos arquivos para essas simulações estão descritas em ‘3.5.5. Configuração para simulação com o BOTworld’. O BOTworld apresenta resultados, tanto para a malha toda em forma de mapas, quanto para cada ‘bot’ específico em forma numérica e gráfica. Dentre os diversos dados de saída que podem ser gerados pelo BOTworld, esse estudo se atém a alguns dados específicos, sendo eles: o PMV; (Voto Médio Predito), a avaliação da qualidade (*quality assessment*) e número de bots que transitaram/passaram pelos *grids* (*Nr BOTs passed*). As simulações com o BOTworld são apresentadas no capítulo ‘6. Relações entre o design urbano, o ambiente térmico e o pedestre’.

Para análise dos dados de saída comparando-se com os dados medidos, pôde ser feito o uso da extensão Leonardo 3.75 do ENVI-met 3.1. Tanto para os dados de saída das simulações, quanto para o armazenamento de dados da estação meteorológica, foi adotado o intervalo de tempo de uma hora. O software Leonardo 3.75 permite visualizar o valor de temperatura do ar simulado para cada célula do *grid* representativo da área de estudo e em específico para a célula que corresponde ao local em que a estação meteorológica foi montada na área.

Para a análise dos resultados foram adotadas as seguintes etapas:

1. Análise das condições térmicas reais do fragmento urbano selecionado pelos resultados obtidos dos monitoramentos;
2. Análise das sensações térmicas e comportamentos dos pedestres pelos resultados obtidos da aplicação de questionários e observações;
3. Análise do ambiente térmico da área simulada pelo ENVI-met;
4. Análise das sensações térmicas e comportamentos dos ‘bots’ (pedestres virtuais) simulados pelo BOTworld;
5. Análise geral, comparando-se resultados reais com simulados.

3.2. Área de estudo

A área de estudo encontra-se na cidade de Bauru (SP), localizada no centro-oeste do estado de São Paulo, distante 352 km da capital (Figura 8 e 9). Bauru (SP) tem como coordenadas geográficas a latitude compreendida entre 21°30’S e 23°S e longitude entre 48°W

e 50°W. Sua altitude varia entre 490 a 615m, sendo predominantemente planáltica e topograficamente pouco acidentada (disponível em: www.bauru.sp.gov.br, acesso em: 15 jan. 2010). De acordo com FARIA (2000), baseando-se em dados de vento medidos na UNESP e comparando-se com os obtidos nas estações de referência TASA e IPMet, os ventos predominantes em Bauru correspondem à direção ESE, na faixa de 4 a 7 m/s.

Na seleção de um fragmento da área de estudo os critérios foram adotados conforme previsto no Projeto ATU, ao qual esta pesquisa está vinculada, sendo eles:

- ser plana;
- ter residências térreas ou de poucos pavimentos;
- apresentar uma área verde significativa para fins de análise.

Os dois primeiros critérios visam facilitar a entrada de dados no programa ENVI-met, levando intuitivamente a resultados mais fidedignos, sendo que, para o primeiro critério é considerado que o programa ainda não oferece possibilidade de inserção de área com diferenças topográficas em sua extensão e para o segundo critério optou-se pela predominância de edificações baixas para maior padronização entre as áreas de estudo do Projeto ATU. E o último critério destina-se a uma análise mais precisa sobre a diferença da sensação térmica nos arredores de uma área arborizada e em pontos sem essa característica, rodeados apenas de edificações e asfalto.

Para a área de estudo, foi selecionado um fragmento urbano do bairro Núcleo Habitacional Presidente Ernesto Geisel, que abrange essas características pré-determinadas. O bairro é residencial e possui uma rua de pequenos comércios (Rua Alziro Zarur) onde se localizam também os pontos de ônibus ocorrendo, assim, maior circulação de pedestres. A ampla área verde (ver Figura 10) representa uma quadra que engloba um bosque, duas quadras esportivas e uma horta no lado voltado à rua de comércios.



Figura 8: Mapa de localização da cidade de Bauru
Fonte: http://www.bauru.sp.gov.br/cidade/dados_geograficos.aspx (acessado em: 29 jul. 2010).



Figura 9: Foto aérea de Bauru (foco na área de estudo)
Fonte: Google Earth (acessado em: 10 abr. 2010)



Figura 10: área selecionada para estudo
Fonte: Google Earth (acessado em: 10 abr. 2010)

O bairro, sendo um núcleo habitacional, possui moradores em sua maioria idosos e aposentados e apresenta-se como um bairro tranquilo de vizinhança amigável. A Figura 11 apresenta seis imagens referentes à área de estudo. Nas três primeiras imagens é possível visualizar parte do bosque inserida na área de estudo.



Figura 11: Fotos do local de estudo no bairro Geisel.

3.3. Procedimentos adotados para as entrevistas e observações sobre os pedestres

As entrevistas com os pedestres foram realizadas em dias estáveis dos períodos monitorados nas estações de inverno e verão. Tanto no inverno quanto no verão foram entrevistados cerca 60 pedestres, sendo que esse número representa aproximadamente 5% da população do fragmento urbano, se considerado a média de três moradores por casa/lote.

As entrevistas de inverno foram realizadas em três diferentes manhãs e três tardes, enquanto que as de verão foram realizadas em duas manhãs e duas tardes, o que totalizaram

128 pedestres entrevistados e a observação de trajetos adotados pelos pedestres transeuntes do bairro. As entrevistas e observações foram realizados nos seguintes dias e horários:

Inverno:

- 28/07/2009 – das 14h30 às 16h45
- 31/07/2009 – das 15h10 às 16h10
- 03/08/2009 – das 11h20 às 11h45
- 04/08/2009 – das 10h30 às 12h00
- 07/08/2009 – das 15h30 às 16h30
- 08/08/2009 – das 9h35 às 10h30

Verão:

- 03/02/2010 – das 10h00 às 11h25
- 03/02/2010 – das 16h00 às 17h00
- 05/02/2010 – das 10h00 às 11h10
- 05/02/2010 – das 15h40 às 16h40

Em paralelo às entrevistas, foram realizadas observações dos trajetos optados pelos pedestres, classificando-se em uma planilha o número de pedestres que tiveram preferência em caminhar em determinadas calçadas, para identificação de preferências de rotas para cada período do dia (manhã e tarde) e do ano (inverno e verão).

3.3.1. Aplicação de questionários

Os questionários aplicados em entrevistas com os pedestres (ver modelo no Apêndice 1) contam com dados de registro, dados pessoais e perguntas em relação às sensações térmicas. Os dados de registro são: local, horário em que foi realizada a entrevista, data da realização da entrevista. Os dados pessoais iniciam o questionário com as numerações 1, 2, e 3: idade, gênero (sexo) e peso respectivamente.

As perguntas relacionadas às sensações térmicas identificam:

4. Realização da entrevista sob condições de: sombra, meia sombra ou pleno sol;
5. A atividade realizada pelo pedestre antes da entrevista. Para essa questão foram considerados os seguintes valores de metabolismo em W/m^2 para as atividades

- correspondentes: 58 para ‘sentado’, 70 para ‘em pé parado’, 110 para andando e 200 para correndo, de acordo com a ISO 7730;
6. As vestimentas utilizadas pelo pedestre, observando-se que com as peças de vestimentas foi feito o cálculo do ‘clo’ (unidade de resistência térmica da roupa) através do software ‘Analysis CST’ (disponível em: www.labeee.ufsc.br. Acesso em: 10 mar. 2010) como forma de quantificar esse dado e possibilitar análise comparativa;
 7. A sensação térmica com uma escala de sete opções: com muito calor (+3), com calor (+2), levemente com calor (+1), neutro (0), levemente com frio (-1), com frio (-2) e com muito frio (-3);
 8. A preferência térmica do pedestre para o momento da entrevista com as opções: bem mais aquecido, mais aquecido, um pouco mais aquecido, assim mesmo, um pouco mais refrescado, mais refrescado e bem mais refrescado;
 9. A maneira em que o pedestre se encontrava no momento (satisfação térmica): confortável, razoavelmente confortável e desconfortável;
 10. Preferência para aquele período em andar do lado sombreado ou ensolarado da rua;
 11. Grupos de alimentos de consumo com maior frequência: pães e massas, grãos, vegetais, frutas, leite e derivados, carne vermelha, aves peixes e ovos, doces ou gorduras e óleos.

Dos 128 questionários respondidos, cerca de 53% corresponderam à época de inverno e 48% à época de verão; 47% no período da manhã e 53% no período da tarde.

3.4. Instrumentação

As medições foram realizadas por instrumentos em quatro diferentes pontos selecionados na área de estudo, registrando dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento.

Foram utilizados dois tipos de instrumentos: uma estação meteorológica e três medidores de temperatura *data-loggers* da marca HOBO Pro Series (ver **Tabela 2**)

Tabela 2: Instrumentos utilizados no monitoramento de dados meteorológicos na área de estudo.

Instrumento	Dados medidos	Referência em legenda	Imagem
Estação	Temperatura do ar e umidade relativa	E	
Estação	Velocidade e direção dos ventos	E	
Data-logger	Temperatura do ar	T1 / T2 / T3	

Os quatro instrumentos foram instalados na área de estudo de forma a ficarem distanciados entre si para uma melhor análise comparativa dos dados medidos e simulados entre esses diferentes pontos selecionados dessa área de estudo. A Figura 12 mostra a localização dos instrumentos na coleta de dados de inverno e a Figura 13 da coleta de dados de verão.

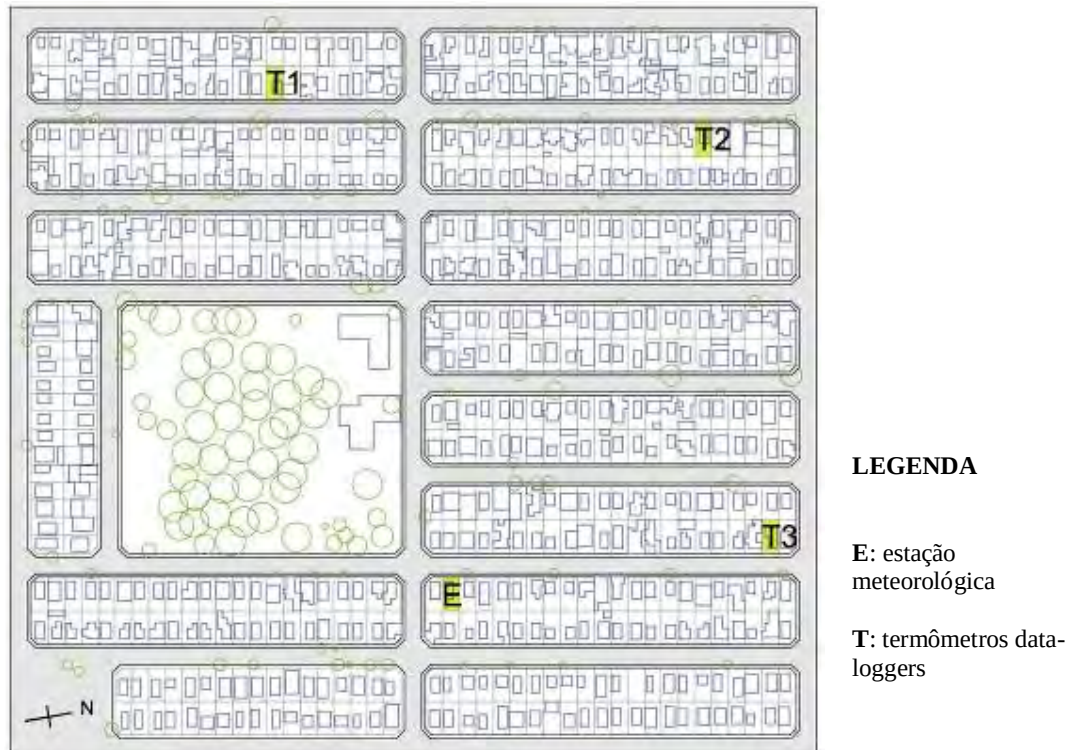


Figura 12: Área de estudo delimitada com localização dos instrumentos de medição no inverno.

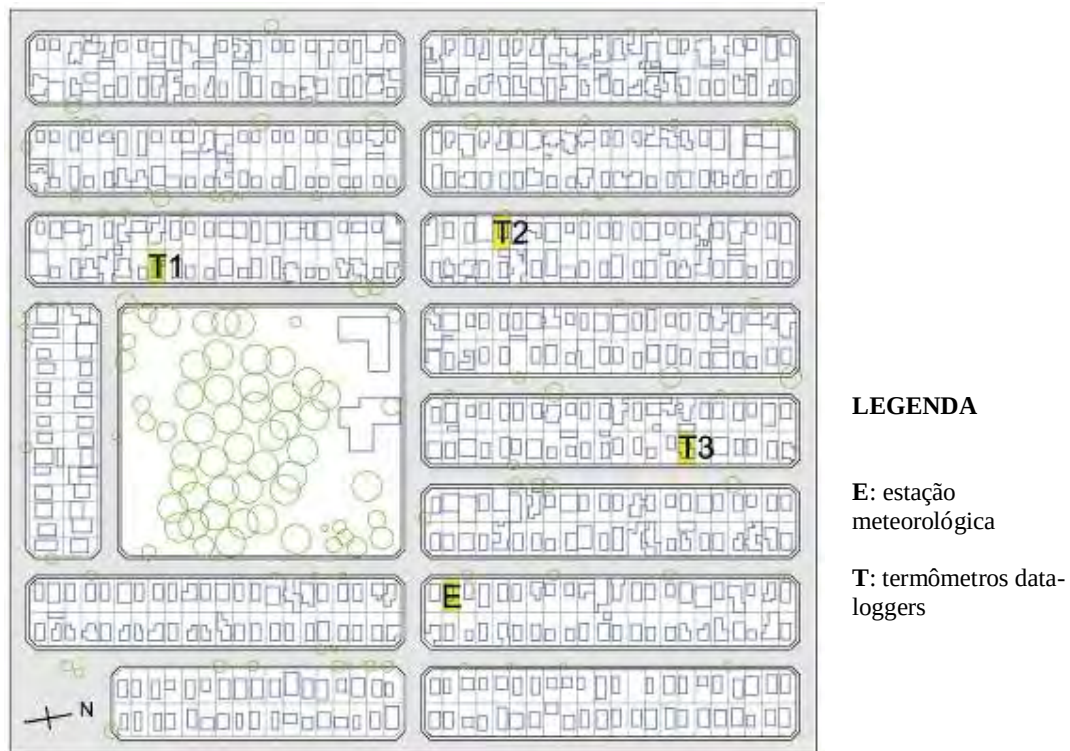


Figura 13: Área de estudo delimitada com localização dos instrumentos de medição no verão.

Tanto a estação, quanto os *data-loggers*, foram programados para salvar os dados coletados de hora em hora. Os três *data-loggers* foram instalados nos postes de energia localizados no interior dos lotes, na face interna dos muros dos quintais frontais das residências, fixados na altura aproximada de 1,80 metros e devidamente protegidos da radiação solar por um dispositivo em PVC revestido por superfície reflexiva em alumínio.

Os *data-loggers* serviram para armazenar dados de temperatura do ar, enquanto a estação armazenou dados de velocidade e direção do vento, temperatura do ar e umidade relativa. Esses dados foram armazenados para posterior comparação com os dados de saída do ENVI-met.

A estação foi instalada no quintal dos fundos de uma casa térrea. Para a estação foi confeccionado um tripé que se constitui em três partes de um metro de altura cada, fazendo com que esse, montado, tenha uma altura total de 3 metros. Assim, a parte do equipamento que mede a temperatura do ar e a umidade relativa do ar foi fixada a uma altura aproximada de 1,5 metros e o equipamento que faz a medição da velocidade e direção do vento foi fixado em uma altura de 3 metros do piso. Providenciou-se uma caixa de plástico para proteger a estação (armazenamento de dados) e a bateria, conforme mostra a Figura 14.



Figura 14: Foto da estação montada em tripé, localização dos equipamentos e cotas das alturas.

Para as simulações com o ENVI-met, foi utilizado um computador com a seguinte configuração: Intel Core 2 Duo, 2.53GHz, 3.23Gb de RAM e HD de 232Gb.

3.5. Preparação para simulações computacionais

Simulações computacionais exigem dados de entrada, os quais devem ser cuidadosamente preparados para a obtenção de resultados mais fidedignos possíveis. Essa preparação é uma fase importante da pesquisa, pois determina vários parâmetros que serão trabalhados pelos programas computacionais.

Para serem identificados os melhores dias para a simulação com o ENVI-met e os valores dos parâmetros climáticos correspondentes, primeiramente realizou-se uma análise dos perfis de temperatura para a escolha dos dias estáveis.

Os próximos passos se dedicam à edição dos dois arquivos necessários para a simulação no ENVI-met: edição de área e de configuração de dados climáticos (condições meteorológicas).

Por último, são apresentadas as configurações necessárias para simulações com o BOTworld.

3.5.1. Análise de perfis de temperaturas para escolha dos dias estáveis

Foram fornecidos pelo IPMet dados de temperatura do ar obtidos por previsão para as alturas entre 0m e 2.500m do nível do solo. Esses dados foram utilizados para o traçado de gradiente vertical de temperatura e análise da estabilidade dos dias medidos para a seleção de dias estáveis a serem estudados (Figuras 15 e 16).

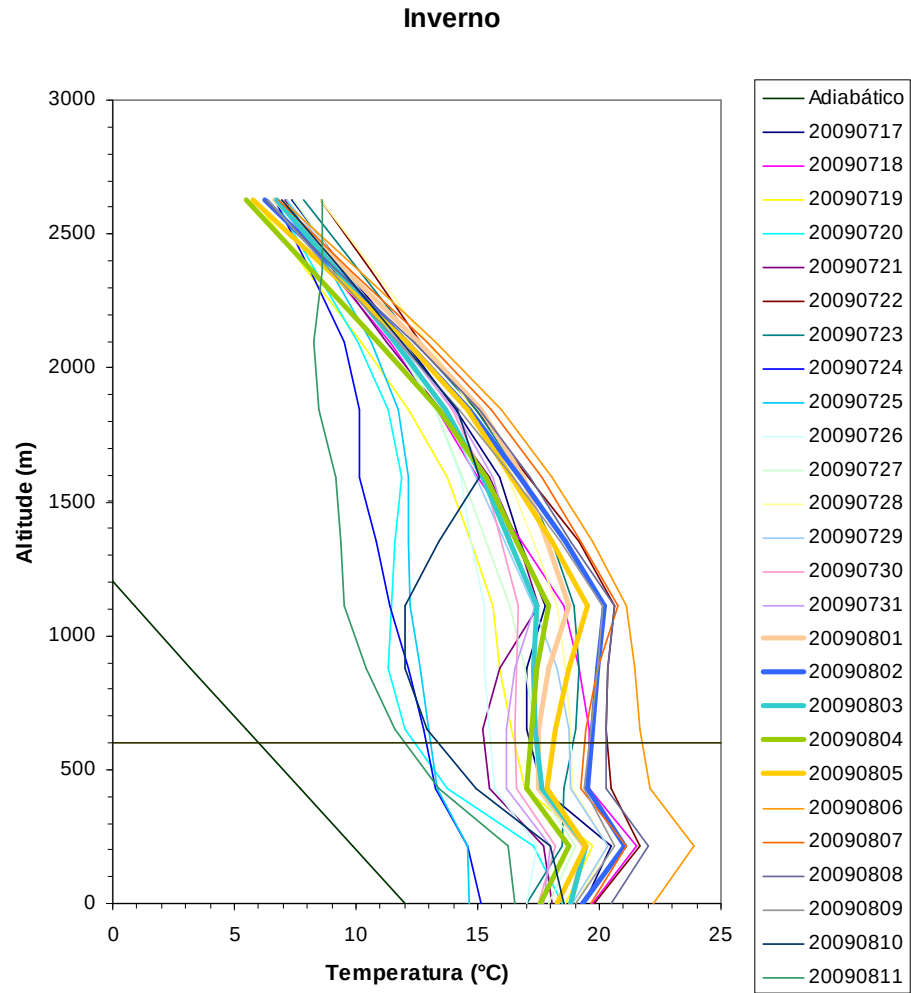


Figura 15: Perfil de temperatura do ar de 0 a 2500m dos dias medidos na estação de inverno e dias 1 à 5 de agosto de 2009 selecionados como estáveis.

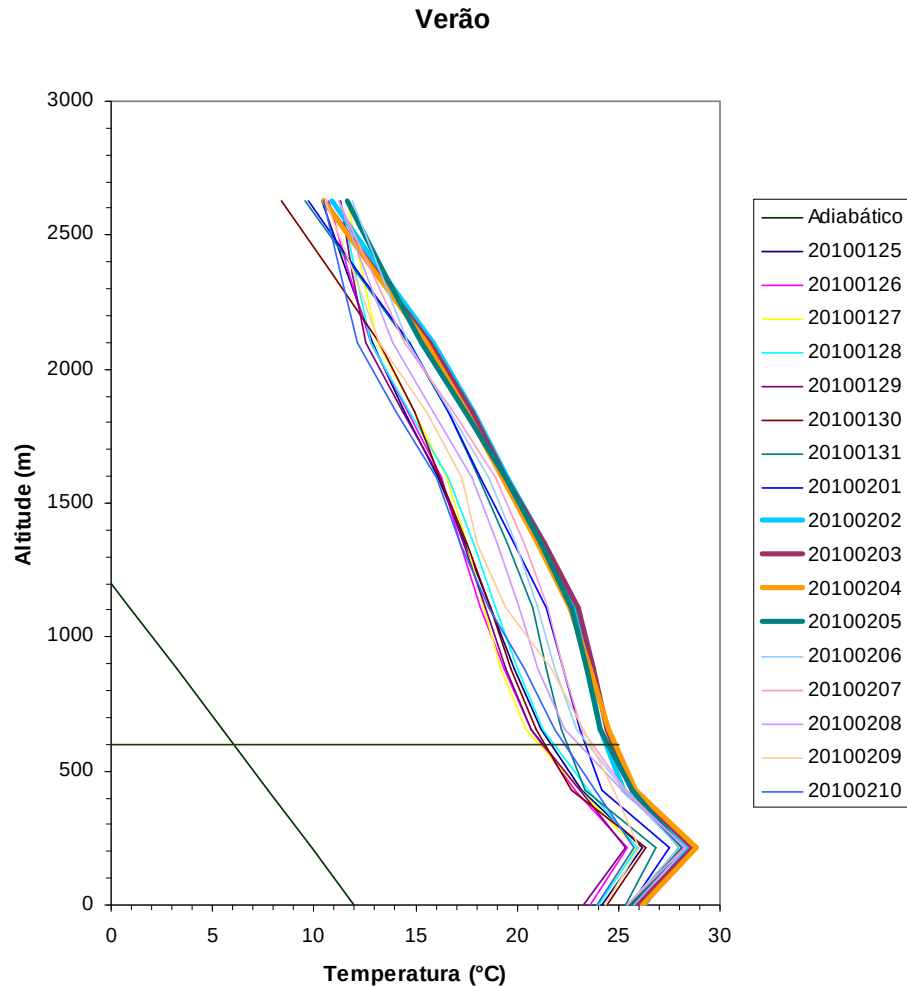


Figura 16: Perfil de temperatura do ar de 0 a 2500m dos dias medidos na estação de verão e dias 2 a 5 de fevereiro de 2010 selecionados como estáveis.

Nessa análise, observou-se que apesar dos perfis se apresentarem aparentemente todos estáveis no período de medição de verão, as linhas que mais coincidiam e poderiam definir o período estável seriam as dos dias de 2 a 5 de fevereiro de 2010 (Figura 16). Esse período foi, portanto o adotado para os valores médios de entrada do programa.

Já no período de medição de inverno, as linhas de perfil de temperatura apresentam menor estabilidade em relação às de verão e menor homogeneidade entre si. Foram selecionados os dias estáveis consecutivos de 1 a 5 de agosto de 2009 (Figura 15).

3.5.2. Configuração de escalas e versões do ENVI-met

Existem várias versões do software ENVI-met, sendo que a versão utilizada neste estudo para simulação do ambiente térmico é o ENVI-met 3.1. A versão anterior, a 3.0, é a que possibilita edição de área compatível com a extensão BOTworld. Encontra-se disponível no site <http://www.envi-met.com/> uma versão mais nova, o ENVI-met 3.1. beta 4, que por seu recente desenvolvimento e disponibilidade não está sendo utilizado neste estudo.

Além disso, o ENVI-met simula em diferentes escalas e versões de *grid*. Mudanças de escalas implicam em maior ou menor resolução do desenho e, além disso, influencia no número de *grids* a ser utilizado (quando se tem o perímetro de área já definido), alterando por consequência a versão de *grid* que deve ser utilizada.

O ENVI-met 3.1, versão do software utilizada nessa pesquisa, possibilita simulações em três diferentes versões de *grid*: 100x100x30, 180x180x30 e 250x250x30, valores esses que correspondem a largura x comprimento x altura do modelo em número de *grids*. Quanto maior a versão, maior é a capacidade em *grids*, no entanto, maior também é o tempo de simulação despendido, em função do incremento de dados.

Observa-se na Figura 17 um exemplo de opções de escolha de versões de *grids* e escalas do ENVI-met 3.1 de simulação para uma mesma área, nesse caso se exemplificado uma área de 1.000 x 1.000 metros.

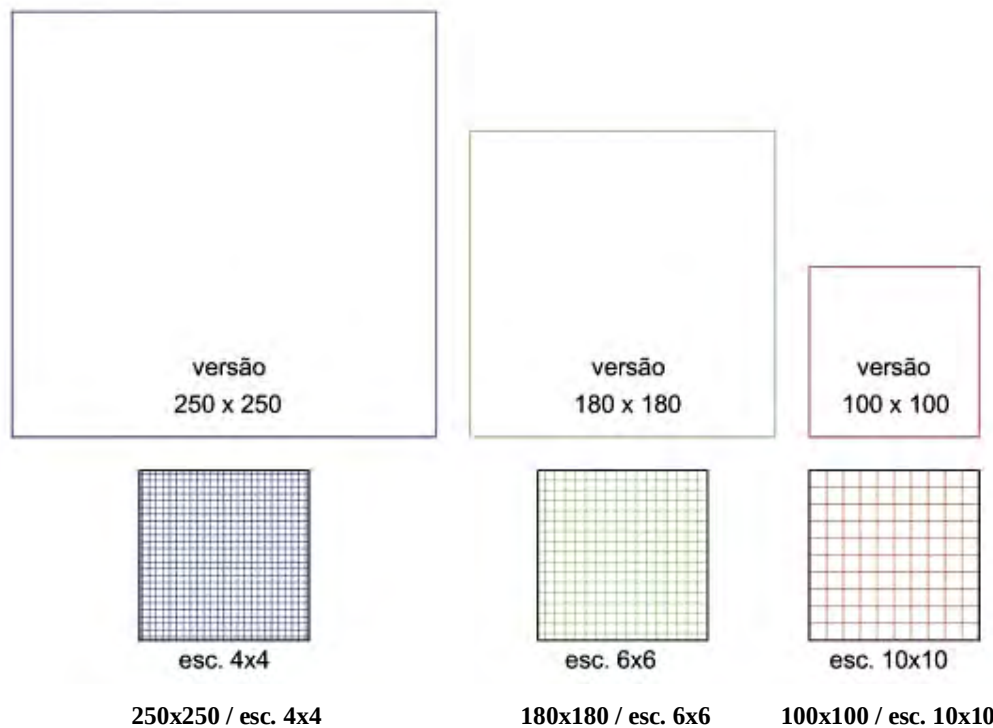


Figura 17: Exemplo de versões e escalas do ENVI-met 3.1 necessárias para representação e simulação de área de 1.000 x 1.000 metros.

Existe uma relação direta entre a dimensão total de área com a escala e versão utilizadas para a simulação. A escolha das escalas e versões para este estudo devem então considerar o tamanho inicial do fragmento selecionado que possui 480x444 metros.

Como o bairro do fragmento selecionado possui quadras padronizadas de lotes de 10x20 metros, calçadas de 2m de largura e vias de 10m, esse traçado torna-se compatível com o *grid* de 2x2, ou seja, cada *grid* ocupando o espaço de 2m de largura por 2m de comprimento. O *grid* de 3x3m simplificaria demais o desenho e o *grid* de 1x1m limitaria em muito as dimensões da área total de entrada.

Em função do elevado tempo de simulação exigido e de erros apresentados pelo programa nos testes com outra versão, optou-se pela aplicação da versão 180x180x30, que na escala 2x2 possibilita simulação de área máxima de 360x360 metros, já inclusos os *nesting grids*. Assim sendo, foi necessário fazer mais um recorte de 340x340 metros dentro da área de estudo inicialmente definida. As versões de *grid* 180x180x30 e 100x100x30 foram então adotadas para as simulações também em função do bom desempenho dessas nos testes prévios.

Os novos recortes necessários à simulação nas versões mais factíveis de aplicação implicaram na redução da abrangência da área e na consequente exclusão de alguns pontos para os quais já haviam sido instalados instrumentos e realizada a coleta de dados. Assim, a determinação do novo recorte priorizou a existência do ponto da estação meteorológica, já que essa monitorou quatro dados climáticos (temperatura e umidade do ar, velocidade e sentido do vento), enquanto que os *data-loggers* monitoraram somente a temperatura do ar.

Foram realizadas cinco simulações finais para a análise da pesquisa: quatro destinadas ao ajuste do programa e uma destinada à análise de um ambiente hipotético para a mesma área. A simulação 5 do ambiente hipotético é destinada à predição da diferença de sensações e comportamentos dos pedestres (virtuais – *bots*) neste novo ambiente, em relação ao ambiente encontrado para a situação real.

A Figura 18 ilustra os recortes de 340x340m (para a versão 180x180x30) e 180x180m (para a versão 100x100x30) da área de estudo e a Tabela 3 as simulações realizadas para o estudo com as versões, escalas e instrumentos incluídos na área simulada.



Figura 18: Área de estudo inicial de 480x44m, perímetros dos recortes de 340x340m e 180x180m e localização dos instrumentos dos monitoramentos no inverno e verão.

Tabela 3: As simulações realizadas com o ENVI-met para este estudo.

Simulação	Versão	Estação	Cenário	Área	Escala	Instrumentos
1	180x180x30	Inverno	Real	340x340m	2x2	E
2	180x180x30	Verão	Real	340x340m	2x2	E / T1 / T2
3	100x100x30	Inverno	Real	180x180m	2x2	E
4	100x100x30	Verão	Real	180x180m	2x2	E
5	100x100x30	Verão	Hipotético	180x180m	2x2	-

3.5.3. Configuração do arquivo de área do ENVI-met

A área de estudo inicialmente selecionada foi representada em arquivo, através da sobreposição de plantas das quadras adquiridas na Prefeitura Municipal de Bauru e de imagens aéreas do programa Google Earth (disponível para download em: <http://earth.google.com/> acessada em 15 jul. 2009). Comparando-se essas duas fontes, foram traçados os perímetros das edificações, alinhamento de lotes, calçadas e ruas e presença de massa arbórea. Isso facilitou a análise e importação da mesma para a plataforma de edição de área de entrada do ENVI-met. O desenho-base é o representado anteriormente na Figura 18.

A Figura 19 apresenta o recorte da área de estudo (340x340m), editada no ENVI-met com os pontos dos receptores, os quais coincidem com os pontos fixos de coleta de dados para a Simulação 2 (verão).

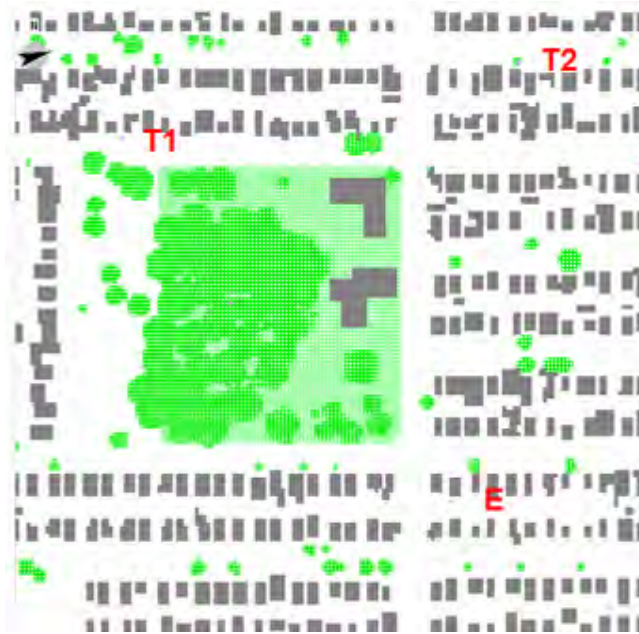


Figura 19: Área de estudo (340x340m) editada no ENVI-met v3.1 com os pontos de monitoramento das variáveis climáticas do período de verão.

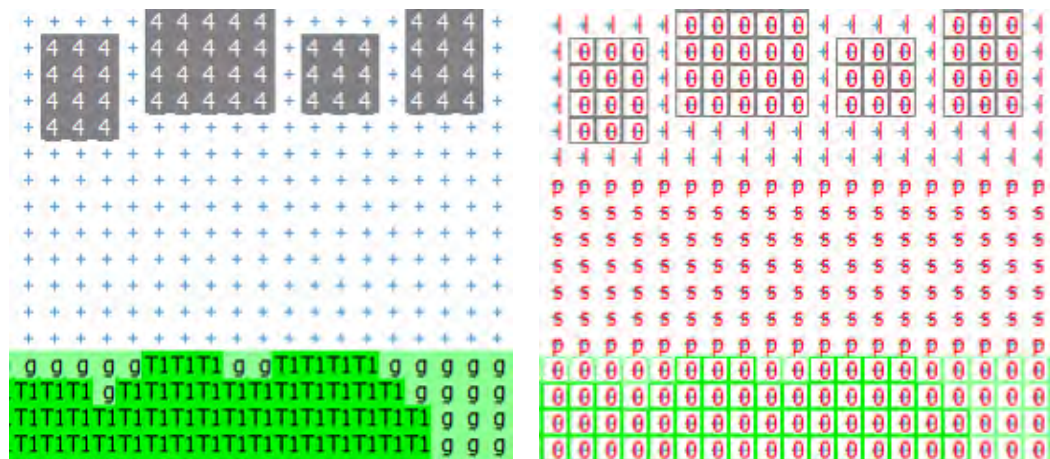
Na edição de área, configuram-se primeiramente alguns parâmetros na janela visualizada na Figura 20:

- Número de *grids* do modelo nos eixos 'x', 'y' e 'z';
- Número de '*nesting grids*';
- Tamanho da célula do *grid* em metros;
- Método de geração de *grid* vertical (eqüidistante e telescópico);
- Rotação do modelo em relação ao norte;
- Localização (cidade, país, latitude e longitude);
- Referência no fuso horário.

Number of grids and nesting properties		Geographic Properties	
Main model area:		Model rotation out of grid north: 285.00	
x-Grids: 170	y-Grids: 170	z-Grids: 20	
Nesting grids around main area		Location on earth	
Nr of nesting grids: 3		Name of location: Sao Paulo/Brazil	
Soil profile ID for nesting grids		Position on earth:	
Soil A:		Latitude (deg. +N, -S): -22.20	
Soil B:		Longitude (deg. -W, +E): -49.00	
Grid size and structure in main area		Reference time zone:	
Size of grid cell in meter:		Name: GMT-3	
dx= 2.00	dy= 2.00	Reference longitude: -45.00	
dz= 2.00 (base height)			
Method of vertical grid generation:		Georeference	
☒ equidistant (all dz are equal except lowest grid box)		Co-ordinate of lower right grid:	
☐ telescoping (dz increases with height)		x-value: 0.00	
Telescoping factor (%): 0		y-value: 0.00	
Start telescoping after height (m): 0.00		Reference system: <plane>	

Figura 20: Janela de configuração de parâmetros básicos na edição de área do ENVI-met.

Depois de feita essa configuração, realiza-se a representação da área de estudo em si trabalhando-se em forma de camadas: edição de construção e vegetação, edição de solo, edição de receptores, edição de fontes de partículas ou gás, banco de dados de conexão com o BOTworld. A forma de representação das duas primeiras camadas encontra-se na Figura 21.



Edição de construção e vegetação

Edição de solo

Figura 21: Visualização da edição de área no ENVI-met.

Nos exemplos de edição das camadas da Figura 21, na edição de construção e vegetação:

- '4' representa a altura em metros da edificação;
- 'g' grama e;
- 'T1' árvore de 10 metros de altura densa.

E na edição de solo:

- 's' significa asfalto;
- 'p' pavimentação/calçamento;
- 'l' solo argiloso e;
- 'sd' solo arenoso.

3.5.4. Configuração do arquivo de dados de condições meteorológicas do ENVI-met

O ENVI-met necessita de alguns dados de condições meteorológicas mínimos para simular as condições térmicas de determinada área, que são:

- Velocidade do vento a 10 m (m/s)
- Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W.)
- Rugosidade
- Temperatura Inicial Atmosférica (K)
- Umidade Específica a 2500 m (g água / kg ar)
- Umidade Relativa a 2 m (%)

A fonte e formato de todos esses dados solicitados pelo programa foram previamente analisados caso a caso para maior confiabilidade da metodologia adotada. A inserção dos dados do IPMET – UNESP - Bauru no ENVI-met como dados de entrada permite que a mesma metodologia possa ser utilizada em outros estudos e em outros fragmentos urbanos da cidade de Bauru.

Os dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET – Unesp) para a pesquisa foram: dia, horário, temperatura (°C), pressão atmosférica (mB), velocidade do vento (m/s), umidade relativa (%), radiação solar global (W/m²) e precipitação acumulada em 5 minutos (mm). Além desses dados, foram fornecidos os dados de temperatura do ar (°C) e umidade específica do ar (g/kg) previstos para a altitude de 2.500 metros. Esses últimos dados foram disponibilizados através das saídas de rodadas das 00Z e 12Z diárias para o período solicitado. Os valores de umidade específica em 2.500m foram selecionados na rodada 12Z que, segundo o IPMet, refere-se à tomada de dados às 9 horas. Esse é o motivo pelo qual as simulações são programadas para serem iniciadas às 9 horas.

O valor de rugosidade foi obtido pela fórmula adotada por Mortensen et al. (1993), sendo ela:

$$z_0 = 0.5 \times [(h \times S)/AH] \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde “h” corresponde à altura dos obstáculos, “S” corresponde à área da fachada exposta ao vento e “AH” corresponde à área total de construção,

Para cálculo de rugosidade, foi selecionado um quarteirão padrão da área, medindo 40 x 220 m, conforme mostra a Figura 22, que resultou em valor de $z_0 = 0,50$.



Figura 22: Quarteirão (40x220m) utilizado para o cálculo da área de fachada exposta aos ventos predominantes e área de estudo total.

- **S:** Área das fachadas expostas ao vento: 240 m X 3,5 m = 840 m²
- **AH:** Área de construção: 2.900 m²
- **h:** Altura média das edificações: 3,5 m

Assim,

$$\begin{aligned} z_0 &= 0.5 \times [(h \times S)/AH] \\ z_0 &= 0.5 \times [(3,5 \times 840)/2900] \\ \mathbf{z_0} &= \mathbf{0.50} \end{aligned}$$

Quando considerado o cenário hipotético de verticalização os dados de configuração de entrada, foram mantidos iguais, porém alterando-se o valor de índice de rugosidade de 0,5 para mais de 1,5.

A Tabela 4 indica os valores médios de condições meteorológicas (a partir dos dados fornecidos pelo IPMet) adotados para as simulações de inverno e verão.

Tabela 4: Parâmetros de entrada do arquivo de configuração adotados para as simulações de inverno e verão a partir de dados fornecidos pelo IPMet

	Inverno	Verão
Início de simulação no dia	01.08.2009	02.02.2010
Início de simulação no horário	09:00:00	09:00:00
Salvar o modelo a cada _ minutos	60	60
Velocidade de vento média em 10m	2,00 m/s	1,58 m/s
Direção de vento	184°	220°
Rugosidade z0	0,5	0,5
Temperatura média do ar local	19,82°C ou 292,82 K	26,87°C ou 299,87 K
Umidade relativa em 2m	79%	71,15%
Umidade específica em 2.500m	6,8 g/kg	10 g/kg

3.5.5. Configuração para simulação com o BOTworld

O programa BOTworld requisita dois arquivos para efetuar simulações: o arquivo da área editada no ENVI-met e o arquivo de saída do ENVI-met que é criado durante a simulação na pasta *Atmosphere* (resultante da simulação da mesma área importada). No entanto, foi verificado através dos testes prévios, que o BOTworld não aceita os arquivos de área editados pela versão do ENVI-met 3.1, versão utilizada para este estudo, mas somente o arquivo de área editada pela versão anterior, a 3.0. Então, para cada simulação efetuada, a área teve que ser primeiramente editada na versão 3.0 (para ser utilizada no BOTworld) e, posteriormente, esse arquivo foi atualizado para a versão 3.1 para compatibilidade com as simulações com o ENVI-met 3.1.

Ao configurar a área no ENVI-met 3.0 já foram pontuados os ‘*routingpoints*’, ou seja, os pontos de rota ou pontos de entrada e saída dos *bots* no modelo. A localização desses pontos pode ser verificada na Figura 23.

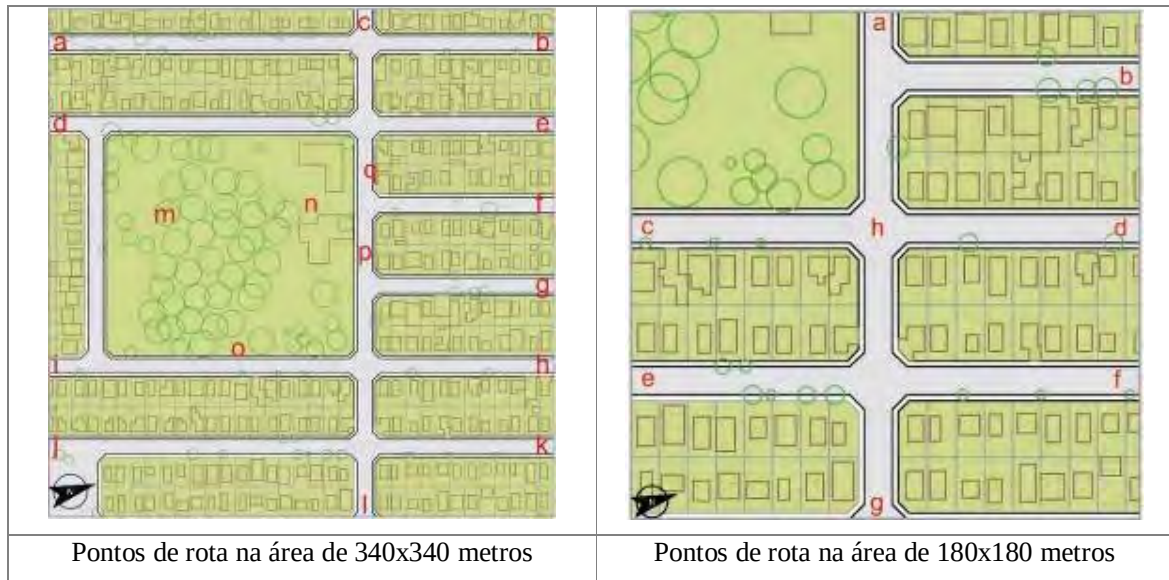


Figura 23: Localização dos pontos de rota nas áreas de entrada para simulação com BOTworld.

Na janela de configurações do BOTworld existem cinco abas: ajustes do modelo da área, comunidade, perfis de impacto, ajustes de comportamento, e ‘Biomet’ (ajustes de condições climáticas). Na primeira aba são importados os dois arquivos e configurados os pontos de entrada e saída dos *bots* no modelo, ou seja, o programa possibilita ao usuário definir a função de cada ponto de rota ‘BOTworld database links’, que foi inicialmente estabelecido na edição da área. Na segunda aba (comunidade), optou-se por serem criados apenas BOTs padrões (35 anos, 1,80m, 75 kg, BMI=23.1m), para que fossem obtidas respostas do programa mais homogêneas e gerais. Já nas demais abas de ajustes foram mantidas as configurações do programa. A Figura 24 representa essas abas de ajustes.

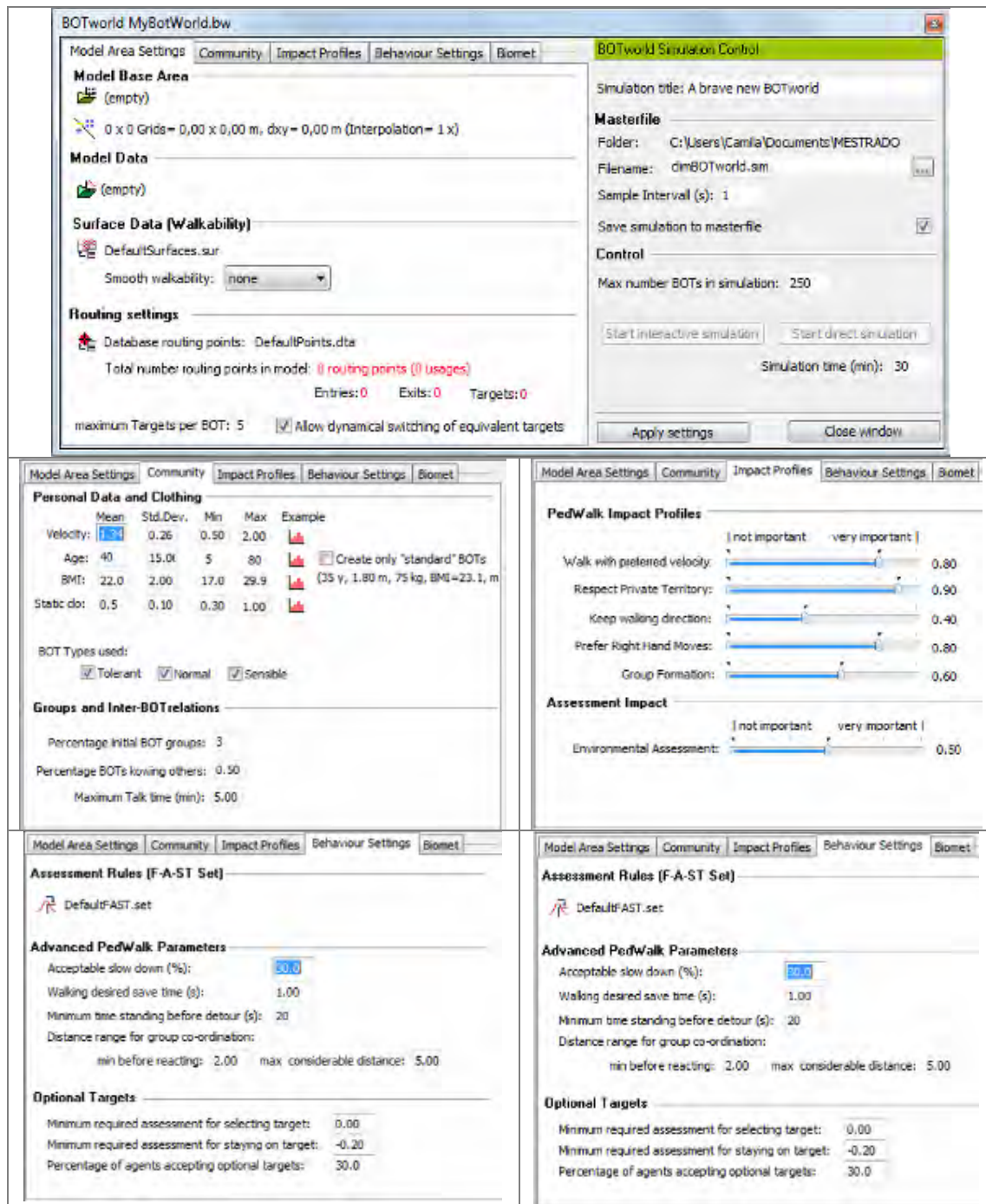


Figura 24: Janela com abas de configurações do programa BOTworld.

Resultados dos levantamentos 4

4.1. Levantamento de dados climáticos na área de estudo

Conforme descrito na metodologia, os dados coletados na área de estudo foram medidos por quatro instrumentos, sendo uma estação e três *data-loggers*. As figuras 25 e 26 representam as coletas de temperaturas de ar por esses instrumentos, no inverno e verão, e as curvas dos dias estáveis selecionados para o estudo (retângulo em linha vermelha).

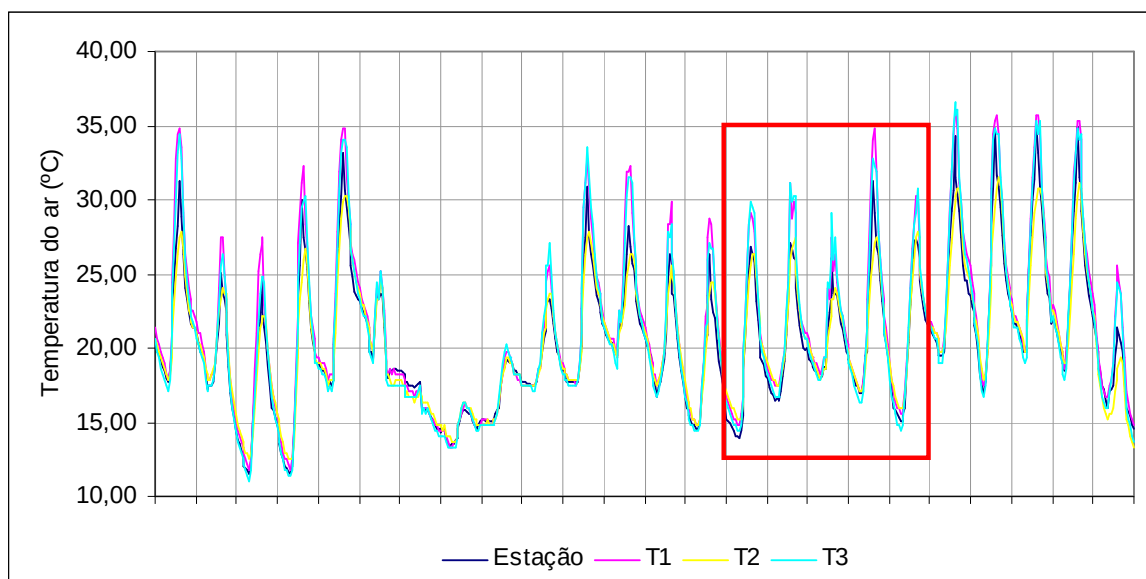


Figura 25: Temperatura do ar nos pontos monitorados entre 18 de julho e 10 de agosto de 2009. Retângulo de linha vermelha indica os dias escolhidos como estáveis (1 a 5 de agosto de 2009) para a simulação de inverno.

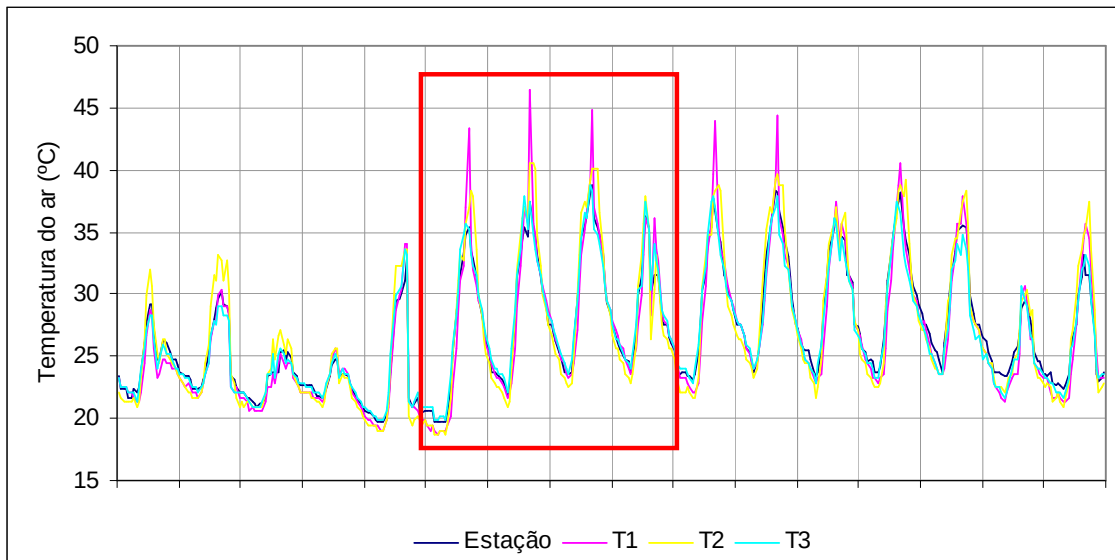


Figura 26: Temperatura do ar nos pontos monitorados entre 27 de janeiro e 11 de fevereiro de 2010. Retângulo de linha vermelha indica os dias escolhidos como estáveis (2 a 5 de fevereiro de 2009) para a simulação de verão.

As figuras 27 e 28 representam diferenças entre os valores das medições de temperatura e umidade relativa do ar no inverno e verão, para um dia estável selecionado.

Temperatura do ar de um dia estável no inverno e verão

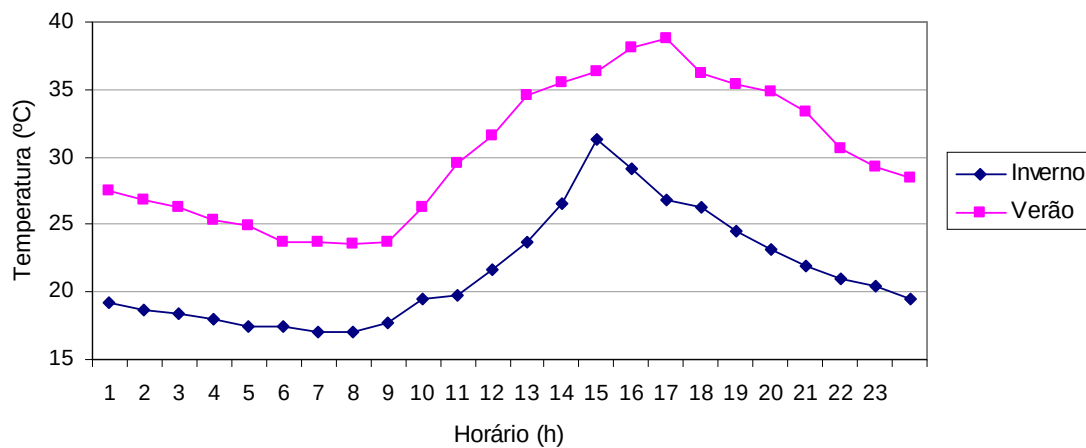


Figura 27: Gráfico comparativo da temperatura do ar medida pela estação nos dias 4.8.2009 (inverno) e 3.2.2010 (verão) em um mesmo local.

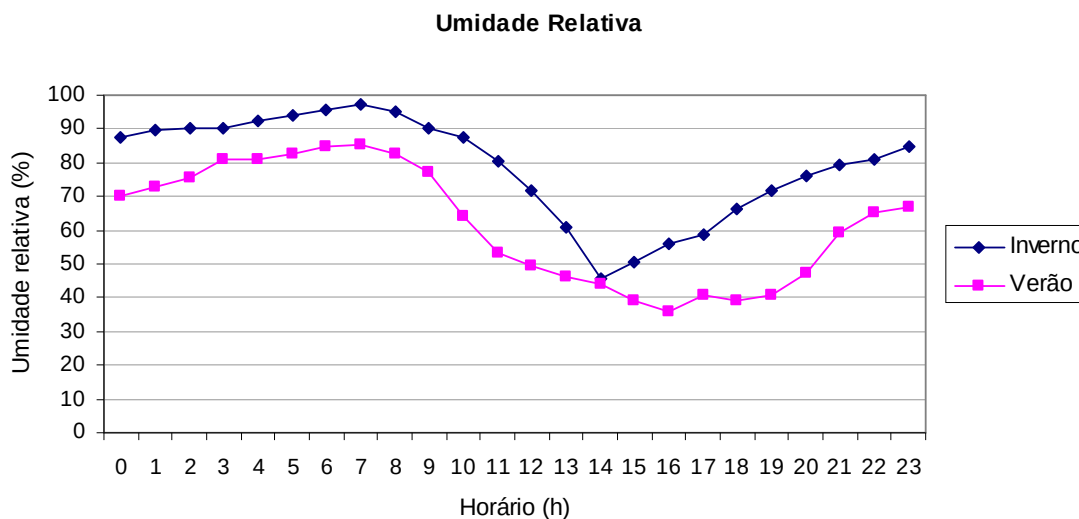


Figura 28: Gráfico comparativo da umidade relativa do ar medida pela estação nos dias 4.8.2009 (inverno) e 3.2.2010 (verão) em um mesmo local.

Nota-se que na medição de verão os valores de temperatura do ar são mais elevados que no inverno e os valores de umidade relativa do ar apresentam-se menores. O gráfico da figura 28 demonstra situação diferenciada de análise comparativa da umidade relativa do ar entre dias de verão e inverno, considerando-se que a região apresenta geralmente estação de inverno seco e verão úmido. No entanto, isso pode ser explicado pela ocorrência de inverno atípico, apresentando vários dias de chuva, próximo às datas de monitoramento desse período.

As figuras 29 e 30 demonstram os resultados de medição de temperatura do ar para os pontos de estudo, em um dia estável escolhido (04/08/2009 e 03/02/2010), nas medições de inverno e verão.

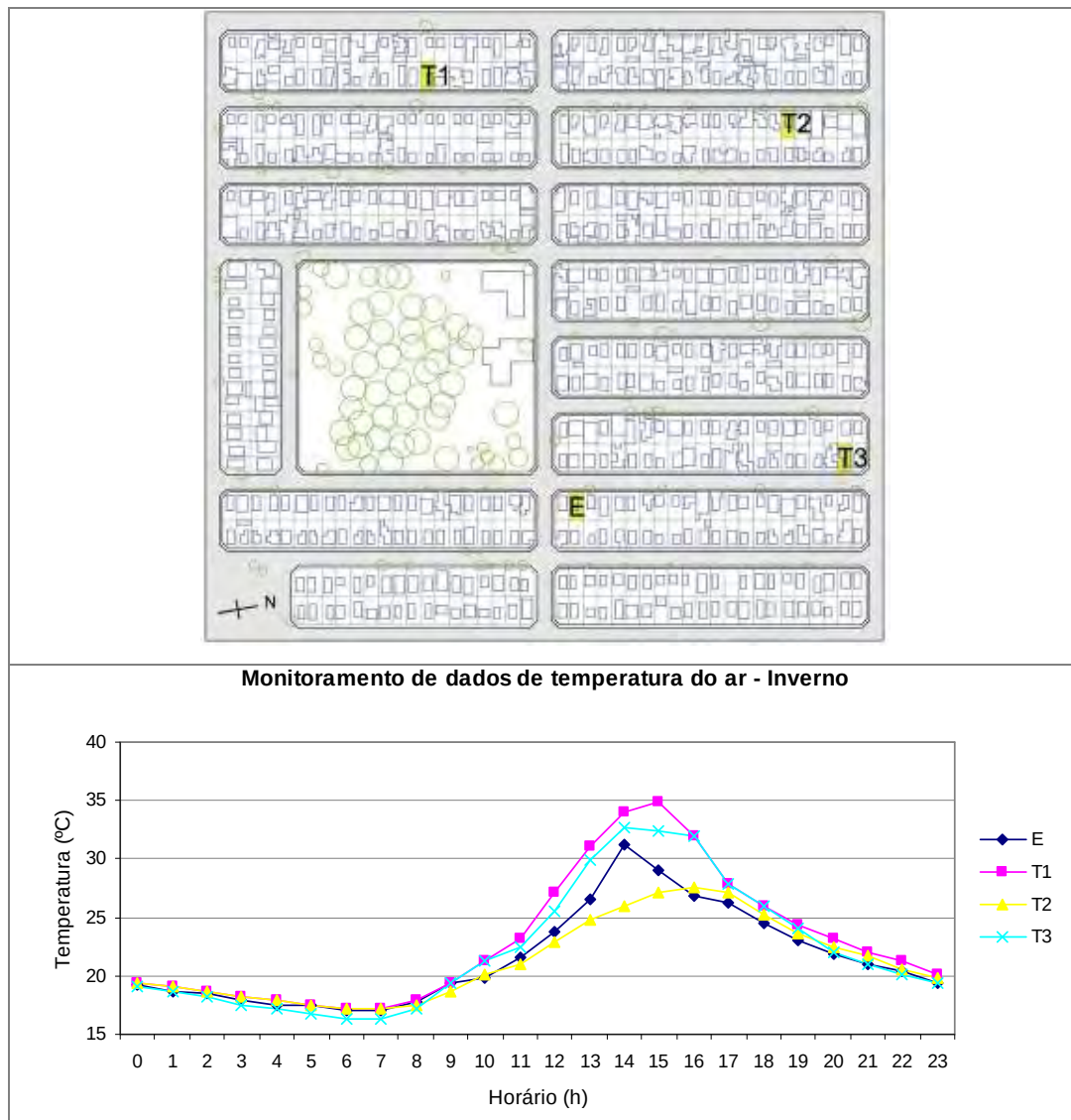


Figura 29: Dados de temperatura do ar para os pontos de medição do dia 04/08/2009 - inverno.

Na Figura 29, verifica-se que no inverno os sensores que registraram os valores mais elevados de temperatura do ar, principalmente entre as 11h e 16h, são os T1 e T3 que foram instalados nos lotes voltados para leste. O sensor T2, que apresentou menores valores, com a elevação da curva deslocada mais para o final da tarde, foi instalado em um lote voltado para oeste. Dessa forma, sendo verificadas as diferenças térmicas na malha do fragmento urbano selecionado, comparando-se dados de um mesmo dia.

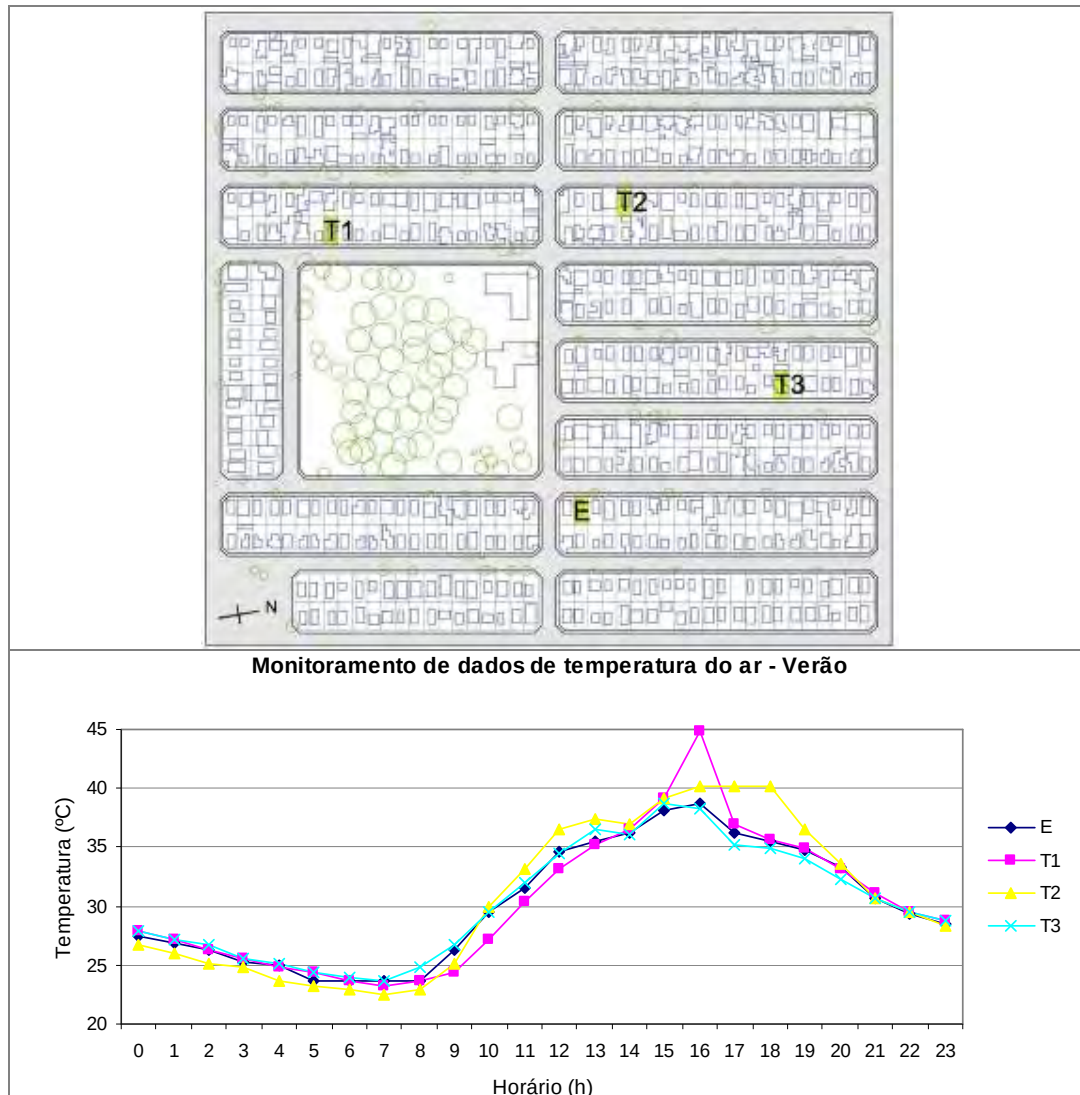


Figura 30: Dados de temperatura do ar para os pontos de medição do dia 03/02/2010 - verão.

No verão (Figura 30), as diferenças térmicas entre os sensores são menos perceptíveis que no inverno. Nota-se, no entanto, que existem diferenças entre algumas curvas que variam de aproximadamente 2°C até 5°C. No geral, os pontos T1 e T3 se alternam, apresentando as temperaturas mais baixas, e o ponto T2 as mais altas.

4.2. Avaliação dos pedestres no bairro

A amostra total de pedestres entrevistados correspondeu a 128, representando cerca de 5% da população total do bairro de estudo. Desses 128, 67 foram entrevistados no inverno e 61 no verão.

A idade média entre os entrevistados é de 49 anos, sendo 69 entrevistados do gênero feminino e 59 do gênero masculino. Quanto à vestimenta, a média dos 'clo' no inverno foi de 0,44 clo e no verão de 0,32 clo. As respostas de todas as entrevistas podem ser conferidas no Apêndice 3.

Seguem alguns gráficos correspondentes às respostas das questões sobre as sensações térmicas. Nesses gráficos, as porcentagens foram contabilizadas separadamente para as situações de inverno e verão. A Figura 31 refere-se ao gráfico de respostas da questão 7 sobre sensação térmica. Nota-se no verão um maior número de respostas à sensação de muito calor (58,8%), ou o valor +3 na escala. Já no inverno, o maior número de respostas (43,3%) se enquadrou na classificação de sensação de neutralidade, ou o valor '0' na escala. As sensações de frio (-2) e muito frio (-3) não receberam nenhum voto em entrevistas para ambas as estações.

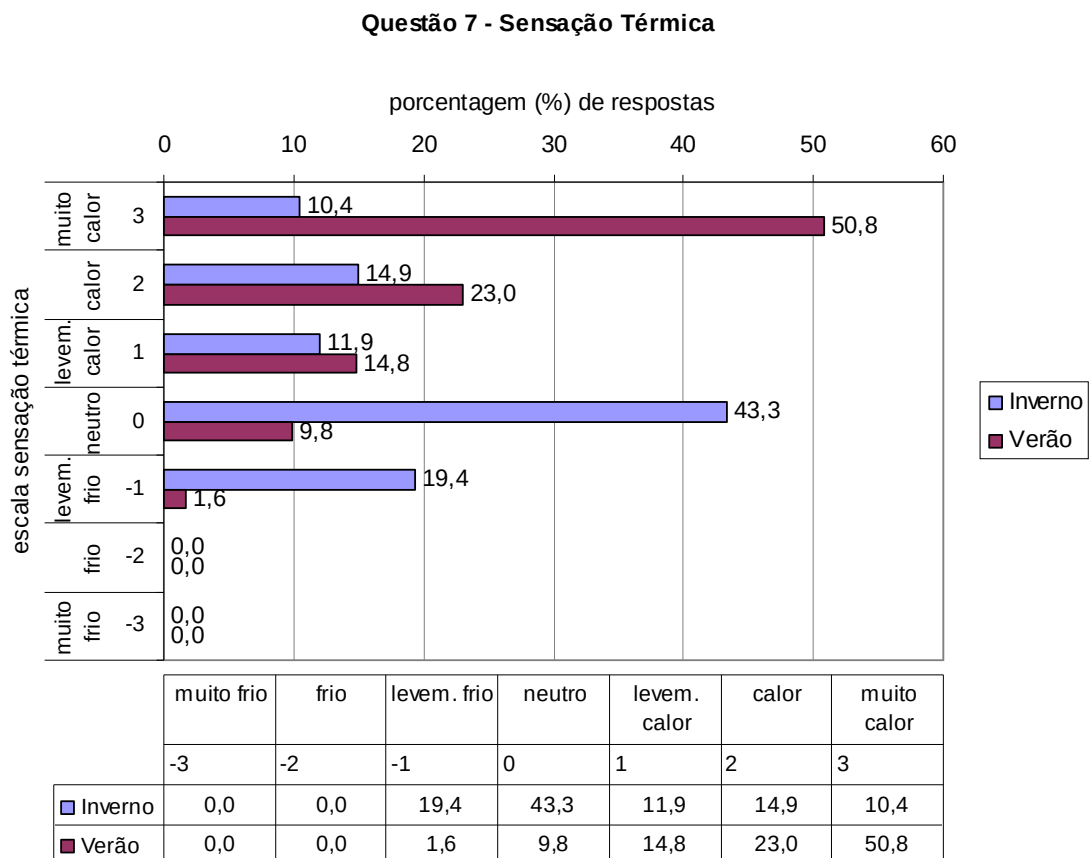


Figura 31: Gráfico de respostas da questão nº 7 - sensação térmica.

Na Figura 32, que demonstra o gráfico de respostas para a questão 8 sobre preferência térmica, fica claro que no inverno houve um maior número de pessoas (46,3%) que aceitaram a sensação térmica da forma em que estavam se sentindo no momento e já no verão, a maioria das pessoas responderam preferir estar se sentindo um pouco mais refrescado (37,7%), bem mais refrescado (31,1%) e mais refrescado (19,7%), respectivamente. Observa-se que no inverno o segundo maior índice nas respostas foi da preferência por se sentir um pouco mais refrescado (28,4%), ficando em terceiro a preferência por se sentir um pouco mais aquecido (11,9%), mostrando que apesar da entrevista ser feita no período de inverno, o perfil dos dias estáveis e ensolarados não ofereciam rigorosamente uma sensação de frio.

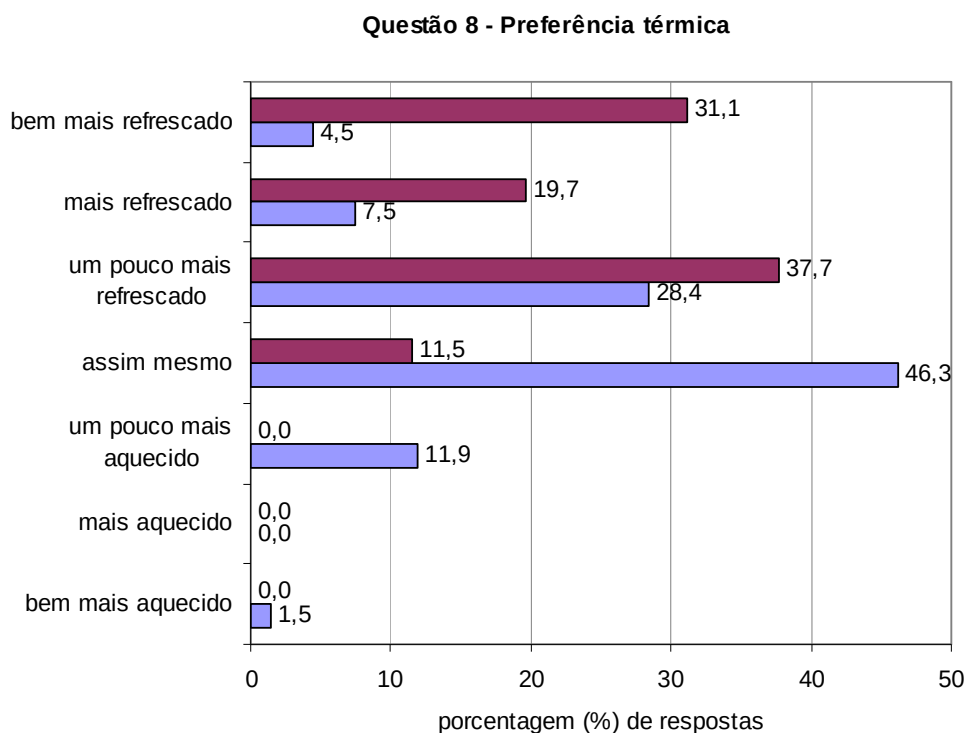


Figura 32: Gráfico de respostas da questão nº 8 - preferência térmica.

Na Figura 33 é pode ser verificado que a maior porcentagem das pessoas opinou estar, em relação à sensação térmica, desconfortáveis (45,9%) no verão e confortáveis (65,7%) no inverno.

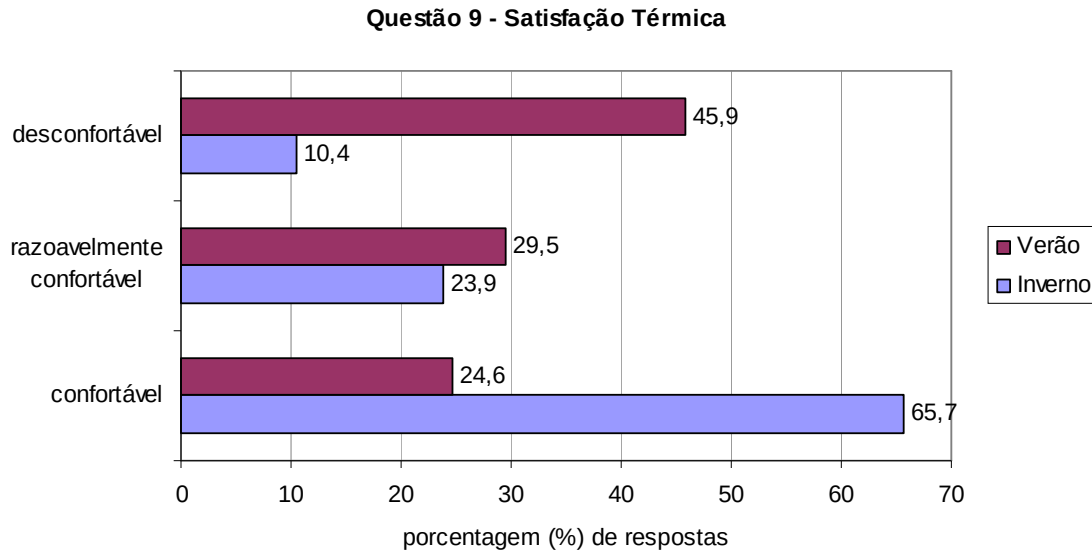


Figura 33: Gráfico de respostas da questão nº 9 - nível de conforto térmico.

Por fim, na Figura 34 é demonstrado que os pedestres responderam de forma equilibrada à questão de preferência por caminhar pelo lado da rua ensolarado (46,3%) e sombreado (53,7%) na estação de inverno. Já no verão, as respostas foram quase unânimes com 98,4% na preferência pelo andar do lado sombreado da rua. Este fato se deve às alterações microclimáticas entre manhã e tarde no inverno, que não se expressam com a mesma intensidade no verão.

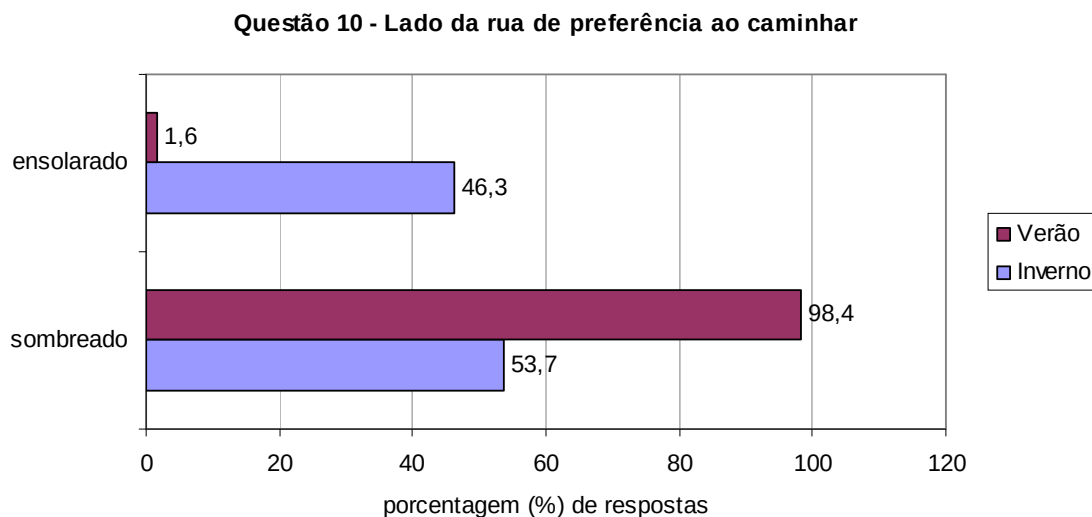


Figura 34: Gráfico de respostas da questão nº 10 - lado da rua de preferência ao caminhar.

Nota-se que os maiores índices de pedestres caminhando encontram-se na calçada F (respectivamente 36, 12, 32 e 47%), seguido das segundas ou terceiras maiores porcentagens para a calçada E. Isto ocorre porque são as calçadas da Rua Alziro Zarur, onde se localizam pontos de ônibus. Na estação de inverno, a maioria dos pedestres optou por caminhar nas calçadas de orientação leste, tanto nos períodos de manhã (com 17% contra 12%), quanto da tarde (37% contra 21%). No verão, não houve diferença perceptível de preferência de caminhar do lado leste e oeste da quadra, tanto para o período da manhã (21% para leste e 24% para oeste), como da tarde (11% para leste e 10% para oeste).

No entanto, como a característica do bairro é ter pouco trânsito de pessoas e veículos, sendo somente mais intenso na rua comercial Rua Alziro Zarur, o número de pedestres transeuntes observados não tem proporção suficiente para qualquer afirmação de relação com a configuração urbana. Outro fator para os resultados mais homogêneos é a existência de arborização no bairro espalhada em ambos os lados da rua.

Relação entre o Design e o Ambiente Térmico Urbano

5

Neste capítulo são apresentados os resultados, tanto para a situação real da área de estudo, quanto para uma situação hipotética de verticalização, evidenciando-se as relações entre o desenho urbano e o ambiente térmico urbano.

Os resultados obtidos das simulações com o software ENVI-met são apresentados respeitando-se as seguintes etapas:

- Verificação do ajuste do modelo para a área de estudo;
- Análise dos resultados da área toda para os períodos de monitoramento de inverno e verão, analisando-se a temperatura do ar, a ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar e a umidade relativa;
- Análise dos resultados da área focalizada, analisando-se as diferenças dos dados térmicos entre as situações real e hipotética (verticalização da situação real);

5.1. Verificação de ajuste do ENVI-met para a área de estudo

O programa utiliza o método de iteração para calcular os resultados, ou seja, faz simulações sucessivas sobre um mesmo dia, apresentando a cada repetição uma modelagem atualizada em relação à anterior. Essas repetições são aqui denominadas “curvas de iteração”. As simulações realizadas com o ENVI-met contaram com sete curvas de iteração para o inverno e de quatro curvas de iteração para a simulação de verão. A redução no número de curvas de verão deve-se ao fato de interrupção promovida pelo próprio programa de simulação, que acusou erro aqui associados à quantidade de radiação. A primeira curva não se encontra representada nos gráficos, pois ela não se apresenta completa uma vez que as simulações tiveram início programado às 9h.

São demonstrados nas figuras 36, 37, 38, 39, 40 e 41 os gráficos correspondentes às curvas de temperaturas do ar real e simuladas (Simulações 1, 2, 3 e 4) dos pontos da estação e pontos T1/T2 (somente para a Simulação 2), a fim de verificar o ajuste do programa quanto às

condições reais. Em cada gráfico são sinalizados por um círculo vermelho os horários e curvas simuladas que melhor aderem à curva de temperatura real. Dessa forma foi possível identificar em quais horários o programa apresentou melhor desempenho para predição. Um dos horários dos arquivos de melhor ajuste é depois selecionado para as simulações no BOTworld.

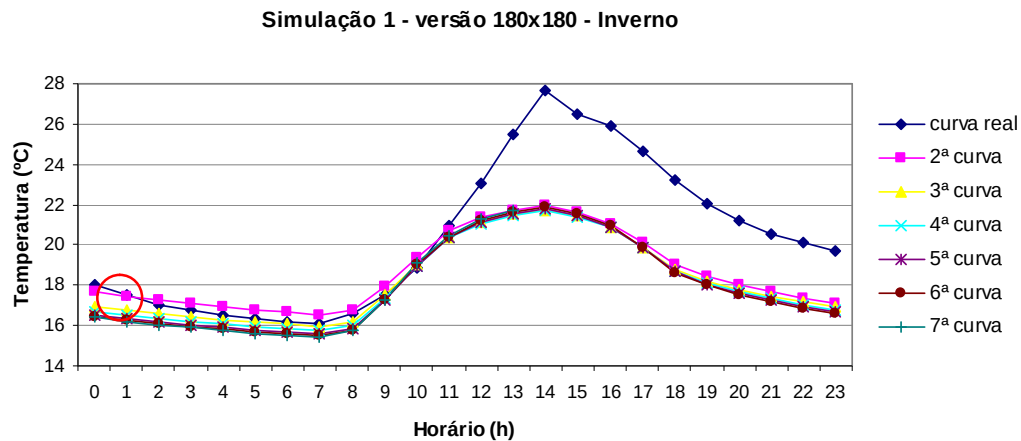


Figura 36: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 1 – ponto estação (versão 180x180 - inverno).

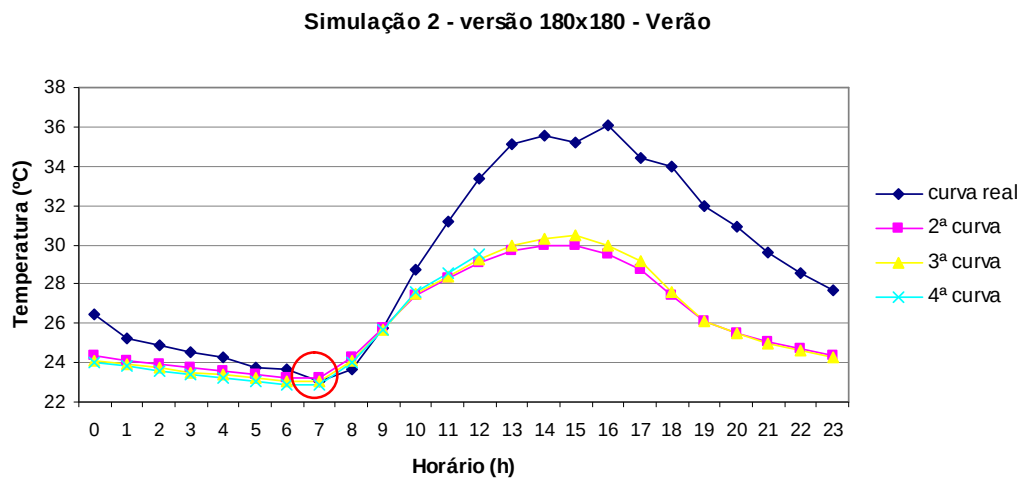


Figura 37: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 2 - ponto estação (versão 180x180 - verão)

Simulação 2 - versão 180x180 - Verão - ponto T1

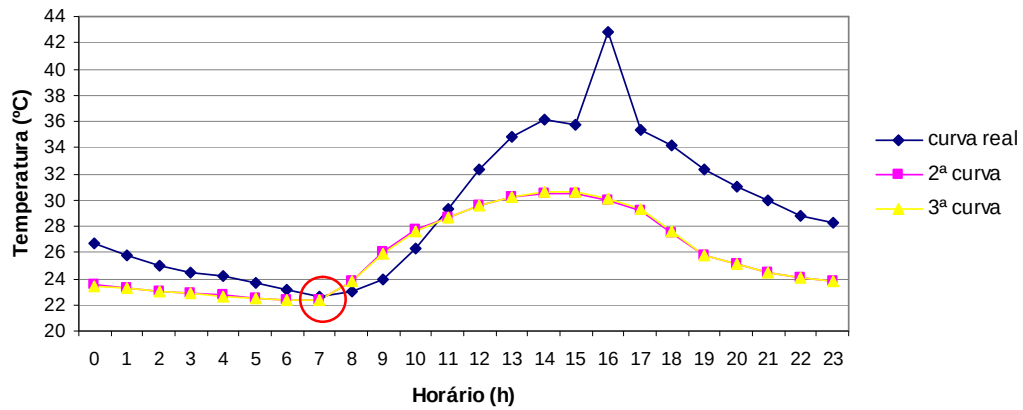


Figura 38: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 2 - ponto T1 (versão 180x180 – verão)

Simulação 2 - versão 180x180 - Verão - ponto T2

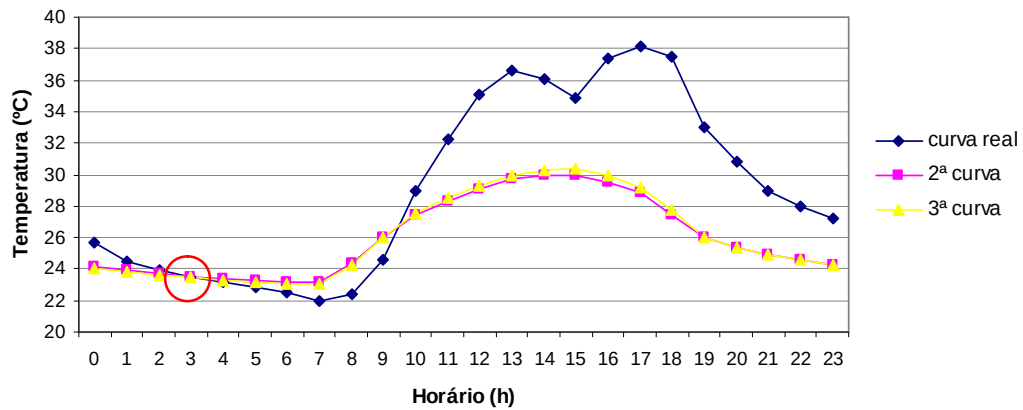


Figura 39: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 2 - ponto T2 (versão 180x180 - verão)

Simulação 3 - versão 100x100 - Inverno

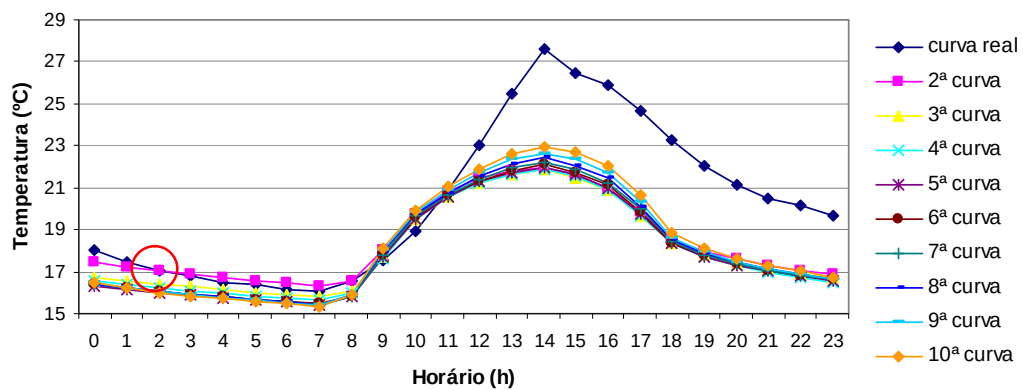


Figura 40: Curvas real e simuladas de temperatura do ar para a Simulação 3 - ponto estação (versão 100x100 - inverno)

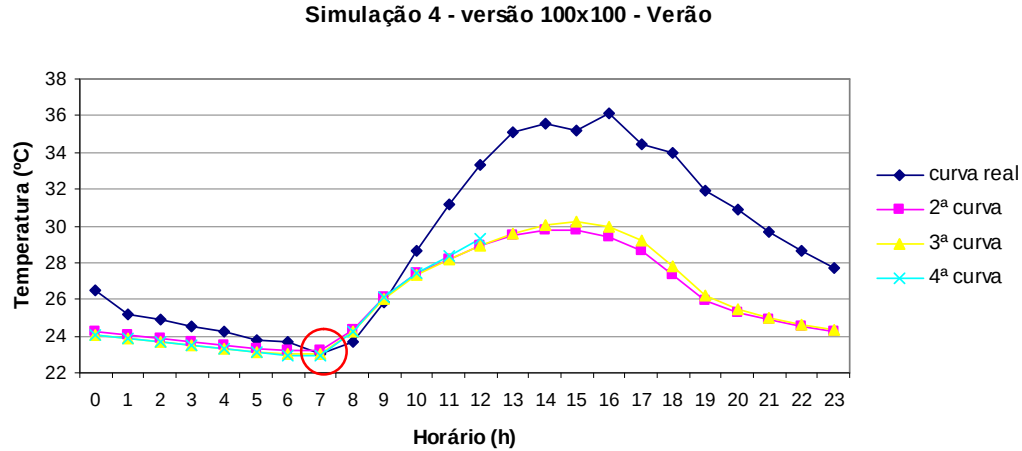


Figura 41: Curvas real e simuladas de temperaturas do ar para a Simulação 4 - ponto estação (versão 100x100 - verão)

A interpretação dos gráficos e dos valores tabelados que geraram os mesmos possibilitaram a identificação das curvas de iteração do modelo que obtiveram melhor ajuste às condições de temperatura do ar medidas em cada um dos casos (quatro diferentes simulações). Além disso, foram também identificados os horários de maior aproximação dos valores simulados com os reais, resultando na análise demonstrada pela Tabela 6.

Tabela 6: Curvas de iteração e horários de melhores ajustes de simulação em relação a dados reais.

Simulação	Estação	Curva de menor diferença média geral	Horário de melhor aderência/ajuste	Valor de diferença absoluta do horário
1 – E	Inverno	2ª curva	1 hora (2ª curva)	0,02
2 – E	Verão	3ª curva	7 horas (3ª curva)	0,01
2 – T1	Verão	3ª curva	7 horas (2ª curva)	0,26
2 – T2	Verão	3ª curva	3 horas (2ª curva)	0,01
3 – E	Inverno	2ª curva	2 horas (2ª curva)	0,03
4 – E	Verão	3ª curva	7 horas (3ª curva)	0,05

Pode-se verificar que as simulações que representam o período medido de inverno, tanto na versão de 180x180x30, quanto de 100x100x30 (simulações 1 e 3), apresentaram melhores resultados médios logo no início da simulação, ou seja, na segunda curva de iteração.

Para as simulações do período de verão, as simulações 2 e 4 (versão 180x180x30 e 100x100x30) apresentaram melhor desempenho, ou melhor ajuste do modelo, na terceira curva simulada.

A Tabela 7 demonstra as diferenças horárias, em valores absolutos, das curvas mais ajustadas com a situação real, para as quatro simulações e a média de cada horário. Dessa forma, consegue-se verificar, tanto na última coluna dessa tabela como na Figura 42, os horários em que o programa ENVI-met demonstrou maior fidelidade em seus resultados.

Tabela 7: Diferenças horárias absolutas entre curvas real e simulada das quatro simulações e médias.

Horário	2ª curva Sim. 1	3ª curva Sim. 2	2ª curva Sim. 3	3ª curva Sim. 4	Média
0	0,32	2,33	0,57	2,41	1,41
1	0,02	1,31	0,26	1,36	0,74
2	0,27	1,19	0,03	1,25	0,69
3	0,31	1,04	0,09	1,10	0,63
4	0,46	0,90	0,24	0,96	0,64
5	0,41	0,54	0,19	0,60	0,44
6	0,49	0,60	0,27	0,66	0,51
7	0,43	0,01	0,22	0,05	0,18
8	0,15	0,45	0,03	0,56	0,30
9	0,40	0,09	0,51	0,28	0,32
10	0,46	1,21	0,84	1,35	0,96
11	0,24	2,78	0,11	3,03	1,54
12	1,66	4,09	1,60	4,39	2,93
13	3,71	5,15	3,63	5,50	4,50
14	5,70	5,26	5,67	5,54	5,54
15	4,89	4,68	4,87	4,92	4,84
16	4,78	6,16	4,85	6,13	5,48
17	4,55	5,32	4,80	5,23	4,98
18	4,25	6,36	4,70	6,11	5,35
19	3,62	5,81	4,08	5,75	4,81
20	3,18	5,43	3,59	5,40	4,40
21	2,86	4,66	3,22	4,63	3,84
22	2,76	3,99	3,05	3,96	3,44
23	2,56	3,40	2,81	3,37	3,04

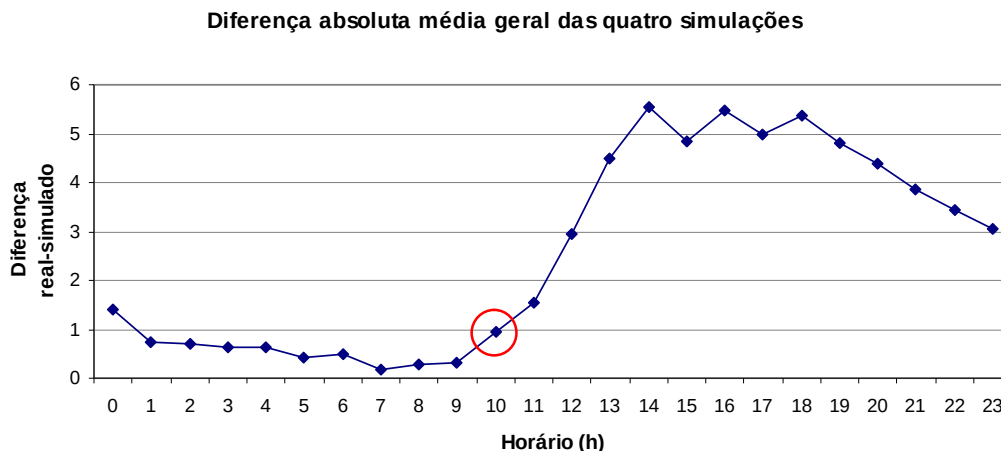


Figura 42: Diferença horária absoluta média geral das quatro simulações e horário sinalizado escolhido para as simulações com o BOTworld.

Na Figura 42 observa-se que os horários entre 11h e 23h apresentaram médias de diferenças térmicas real-simulada muito elevadas, entre 2 e 5,5°C. Isso pode ter algumas explicações, como: o fato dos sensores estarem do lado de dentro dos lotes, podendo ter ocorrido maior acúmulo de calor nesse período do dia, o que acaba não sendo simulado pelo modelo devido ao desenho simplificado das edificações e sem a presença dos muros e outras barreiras; a influência de materiais do próprio entorno como presença de muros que podem ter irradiado calor, o que o modelo não leva em conta, pois não há possibilidade de representação detalhada; ao tipo de solo considerado na edição do arquivo de área; etc. Ou seja, são limitações apresentadas pelo próprio método.

O intervalo de horas em que o programa oferece resultados mais fidedignos é das 1h às 10h, tendo diferenças entre valores simulados e reais menores que 1°C, sendo, portanto os horários de melhor ajuste do programa. Estes são horários para os quais a radiação solar varia de inexistente a menos intensa.

Assim, o ajuste serviu para a seleção de melhores arquivos para simulação com o BOTworld. Foi escolhido o horário das 10h (como sinalizado na Figura 42) por ser um dentre os de melhor ajuste do programa ENVI-met e por ser o mais condizente com os horários em que foram realizadas as entrevistas com os pedestres do bairro no período da manhã. Para a análise do horário das 10h no software BOTworld, a 2ª curva de iteração para o período de inverno e 3ª curva para o período de verão foram selecionadas.

5.2. Análise dos resultados para a área total – estações de inverno e verão

Como a interface Leonardo 3.75 possibilita a representação de mapas a partir de várias alturas de seção, para melhor correspondência à escala do pedestre, os mapas de temperatura do ar, ação dos fluxos de vento e umidade relativa gerados foram analisados em planta, a partir de seção de 1,60m de altura. Para que os resultados analisados em mapas no ENVI-met e BOTworld possam ser comparados, foi escolhido para ambos o mesmo horário de análise: 10 horas da manhã.

Temperatura do ar

Os valores resumidos de temperatura do ar obtidos da simulação e do monitoramento para vinte e quatro horas de um dia (Tabela 8) demonstram que existe certa concordância quando comparados os pontos de maior ou menor valor, por exemplo: entre os valores mínimos, o maior é o da Estação (23,05°C para simulado e 21,76°C para monitorado); e entre os valores máximos, o maior é o do T1 (30,66°C para simulado e 46,4°C para monitorado).

Há uma grande diferença nos valores de amplitude térmica entre os pontos. Enquanto o modelo indica uma média de amplitude térmica de 7,38 °C, os dados reais indicam uma média de 19,66°C. O maior erro ocorreu na estimativa da temperatura máxima, que é mais elevada nos valores reais que simulados, tendo uma diferença térmica média entre valores simulados e reais de 10,90°C. As diferenças térmicas médias entre valores simulados e reais para estimativas de valores mínimos e máximos são 1,38°C (temperatura simulada sendo maior que real) e 2,95°C (temperatura real sendo maior que a simulada).

Tabela 8: Temperaturas do ar (°C) obtidas na simulação (versão 180x180) e medidas in loco.

	Período	Ponto	Mínimo	Máximo	Médio	Desvio padrão	Amplitude térmica	Altura
Simulação (receptores)	Inverno	Estação	15,47	21,9	17,99	2,24	6,43	1,40 m
		Estação	23,05	30,48	26,08	2,65	7,43	1,40 m
	Verão	T1	22,34	30,66	25,82	3,04	8,32	1,80 m
		T2	23,04	30,38	26,08	2,67	7,34	1,80 m
Monitoramento (tripés)	Inverno	Estação	13,95	31,28	20,35	3,86	17,34	1,50 m
		Estação	21,76	38,73	29,07	4,68	16,97	1,50 m
	Verão	T1	21,71	46,4	29,17	5,55	24,69	1,80 m
		T2	20,95	40,59	29,17	6,01	19,64	1,80 m

As figuras 43 e 44 representam mapas gerados pela ferramenta Leonardo 3.75 de temperatura do ar, simulada com corte na altura 1,60m das 10h da manhã, no inverno e no verão, respectivamente, considerando-se o dia estável (2ª curva de iteração para inverno e 3ª curva de iteração para verão).

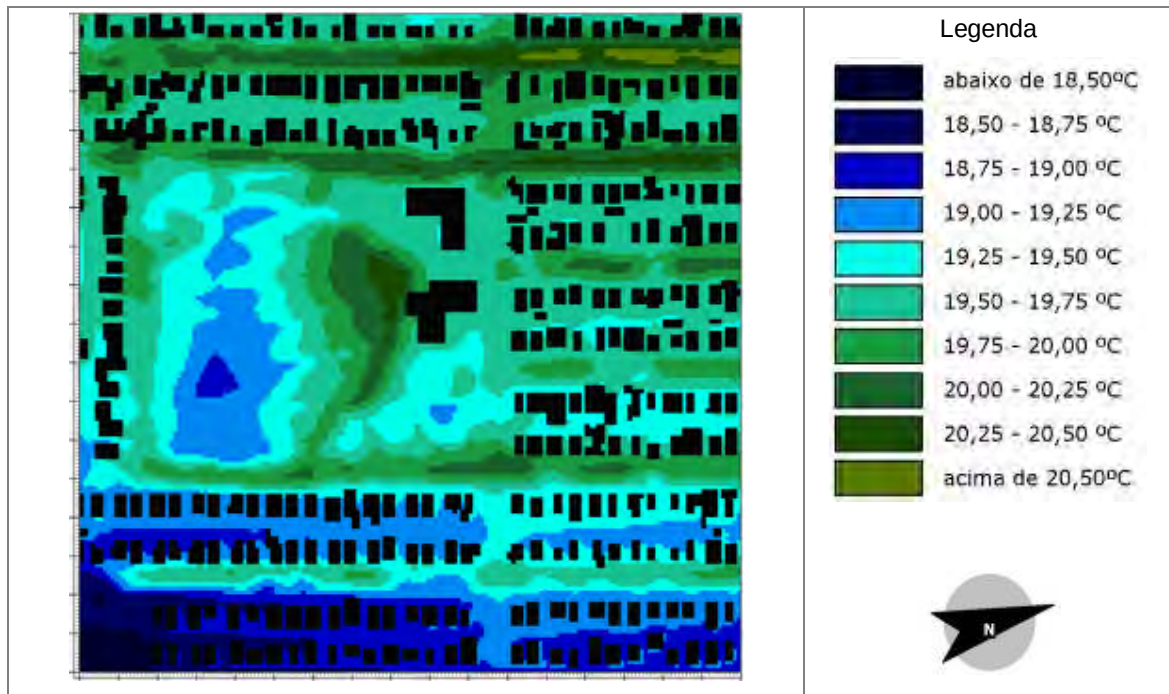


Figura 43: Mapa de temperatura do ar gerado para 10h de um dia de inverno.

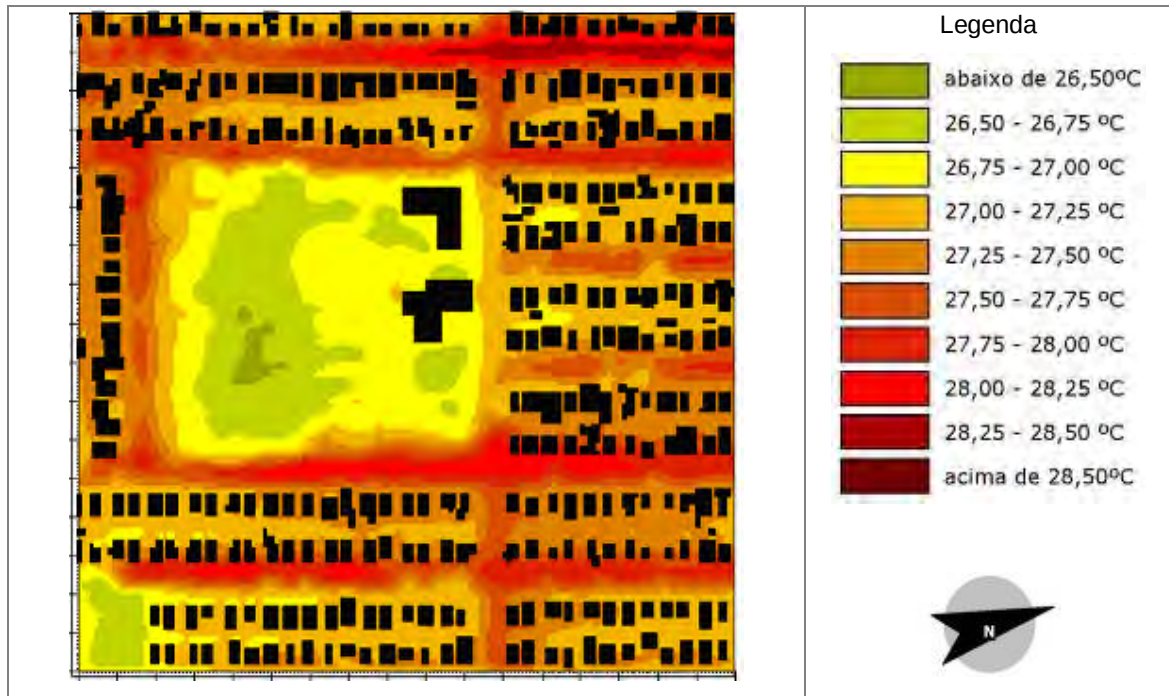


Figura 44: Mapa de temperatura do ar gerado para 10h de um dia de verão.

Para o inverno, as temperaturas de ar previstas variaram entre 18,50°C e 20,50°C, enquanto no verão variam de 26,50°C a 28,50°C. A diferença térmica média para o mesmo horário das 10h entre as duas situações foi de 8°C e a diferença térmica entre diferentes regiões da mesma área (e mesma estação) foi de até 2°C. Tanto no inverno, quanto no verão, os maiores valores de temperaturas se concentram nas ruas de direção norte-sul e os menores sob as copas das árvores do bosque. Destaca-se, no entanto, que para a situação de inverno, um acúmulo de calor entre a massa arbórea do bosque e as duas edificações da quadra do bosque pode ser verificado.

Nota-se na situação de verão, que as faixas de temperaturas mais altas (aproximadamente 28°C) estão sobre o asfalto, porém de forma mais deslocada para o oeste em relação ao centro da rua. Isso ocorre porque às 10h a posição do Sol em relação às edificações da face oeste das quadras provoca a projeção destas sobre as calçadas, levando ao sombreamento. Já para a calçada da face leste, a área de temperatura mais elevada penetra por entre as edificações.

As ruas de direção norte-sul paralelas à quadra do bosque apresentam menores temperaturas nas porções que estão alinhadas com a grande massa arborizada do bosque do que na porção mais a norte da malha. Isso pode ser um indício que as áreas mais próximas às

grandes massas arbóreas recebem alguns benefícios térmicos em relação às áreas mais afastadas, mesmo não sendo adjacentes a aquelas.

Quando considerada a malha toda, em sua parte urbanizada, não são vistas grandes diferenças de ambiente térmico de um ponto para outro, pois as edificações possuem todas as mesmas alturas médias, por se tratar de edificações térreas. É provável que maiores diferenças pudessem ser verificadas, caso a malha possuísse edificações de diferentes alturas.

Ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar

As figuras 45 e 46 abaixo representam a ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar para inverno e verão.

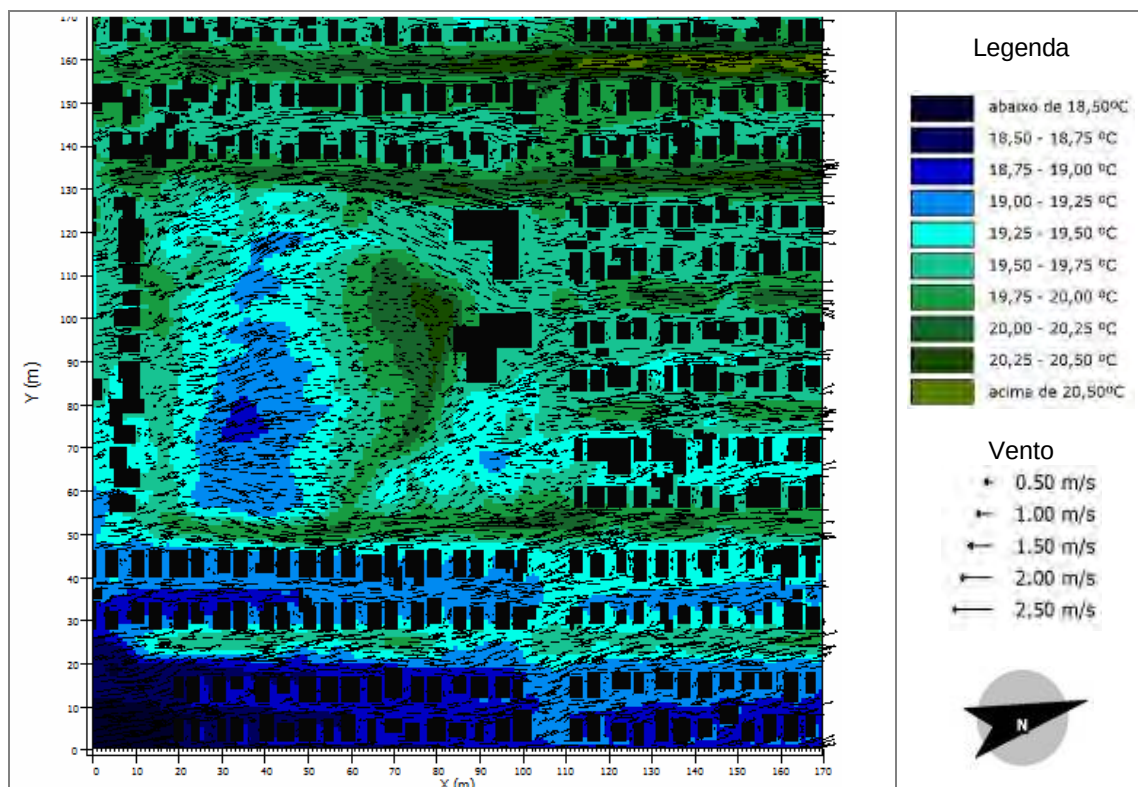


Figura 45: Mapa de ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar às 10h de inverno.

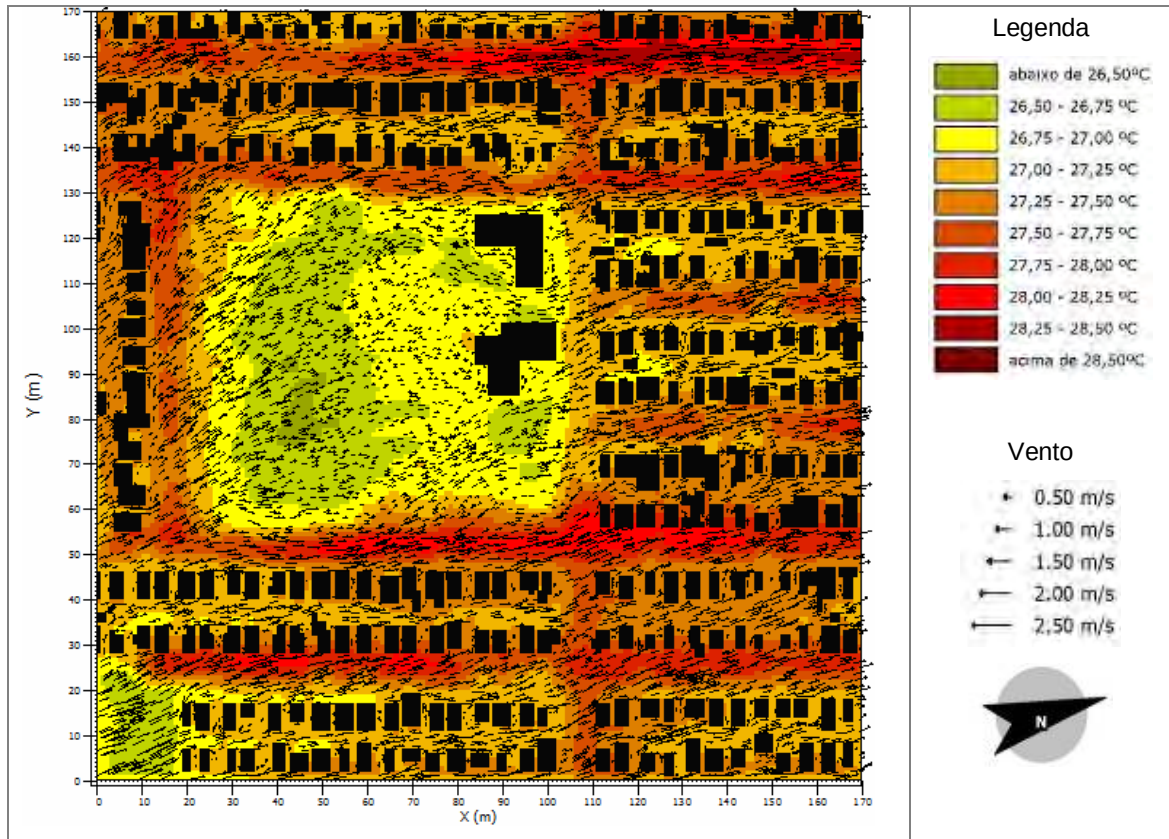


Figura 46: Mapa de ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar às 10h de verão.

Para as duas situações a ação dos ventos é similar, havendo redução de velocidade e desvio, quando encontrados obstáculos como as edificações e massas arbóreas. Observa-se também um ganho de velocidade nos eixos norte-sul, para os quais os corredores de edificações contribuem na intensificação do fluxo.

Tanto para o mapa de situação de inverno, quanto de verão, os fluxos de ar sobre o revestimento de asfalto da direção norte-sul, apesar de terem suas velocidades aumentadas, não tiveram suas temperaturas reduzidas. Por outro lado, o trecho da Rua Alziro Zarur (eixo leste-oeste), que se encontra adjacente ao bosque, e as ruas que seguem desse trecho perpendiculares no sentido norte, foram beneficiados com o fluxo de ar proveniente da massa arbórea, obtendo redução de temperatura pela influência do ar mais fresco que se encontra inicialmente sob as copas das árvores. Verifica-se que as menores temperaturas alcançadas para a situação de verão encontram-se sob o sombreamento da massa arbórea, e não sob o sombreamento de edificações.

Umidade relativa

As figuras 47 e 48 abaixo representam taxas de umidade relativa para situações de inverno e verão. Em ambas, as maiores taxas de umidade relativa se concentram sob as copas das árvores do bosque, confirmando a grande contribuição que a vegetação oferece, não somente para reduções térmicas no período diurno, mas também para o incremento de umidade no ar. No verão, a taxa de umidade relativa é menor que no inverno em aproximadamente 5%.

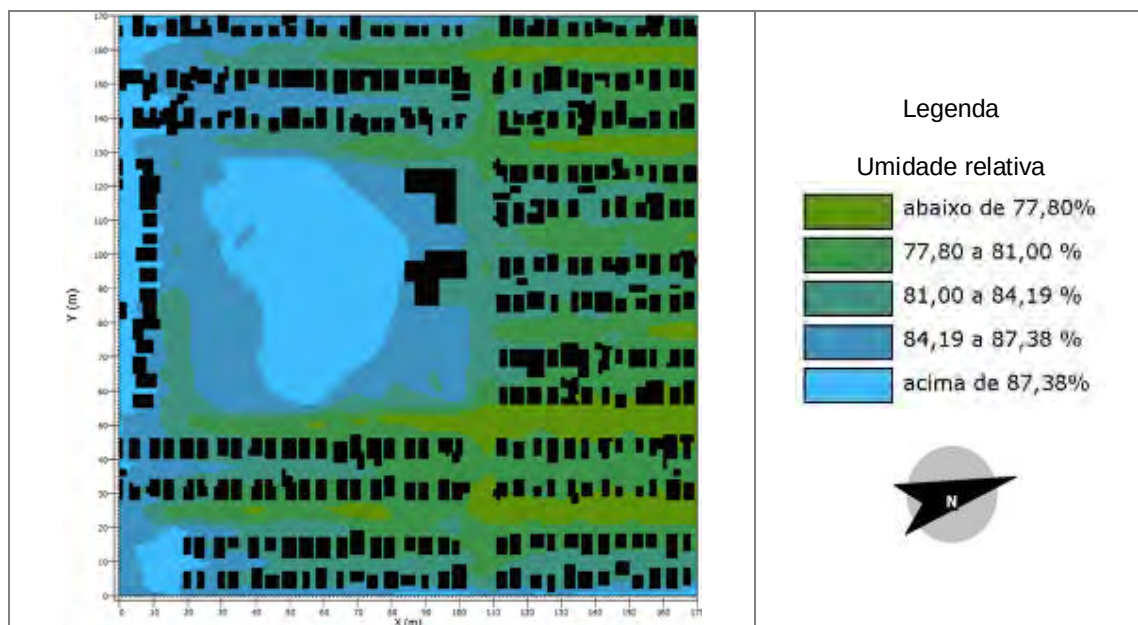


Figura 47: Mapa de umidade relativa às 10h de inverno.

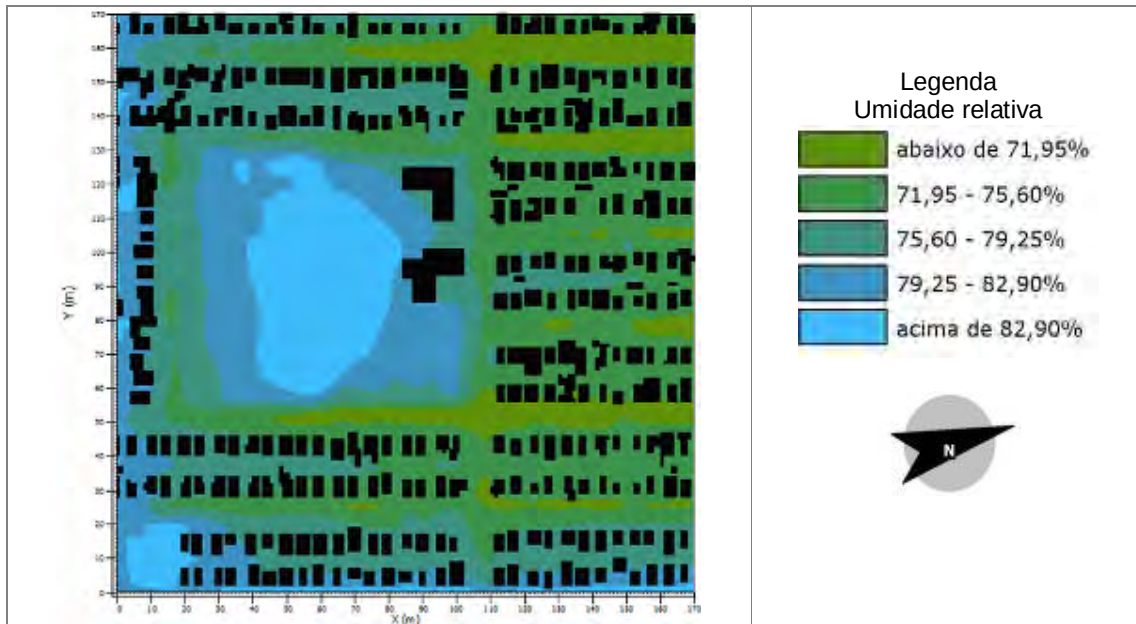


Figura 48: Mapa de umidade relativa às 10h de verão.

5.3. Análise dos resultados para a área focalizada – situações real e hipotética

As simulações 4 e 5, que utilizaram a versão 100x100x30, consideraram a área de estudo em um recorte menor, portanto de forma mais focalizada (recorte de 180x180 metros) nos cenários real e hipotéticos representados pelas figuras 49 e 50. O cenário hipotético corresponde a uma verticalização da mesma área, com as edificações contendo 30 metros de altura ao invés dos 4 metros da situação real. Conforme mencionado anteriormente na metodologia, quanto aos dados de configuração de entrada, todos os parâmetros climáticos foram mantidos iguais para ambas as simulações, alterando-se apenas o valor de índice de rugosidade.

Esclarece aqui que, apesar do bairro ser um núcleo habitacional e não apresentar-se propenso a essa brusca transformação proposta nessas simulações, considera-se esse cenário hipotético sobre esse fragmento urbano apenas como um exemplo do que poderia acontecer em um bairro qualquer que tivesse maior predisposição para tal mudança, sendo então proposta apenas uma análise com efeito de previsão.

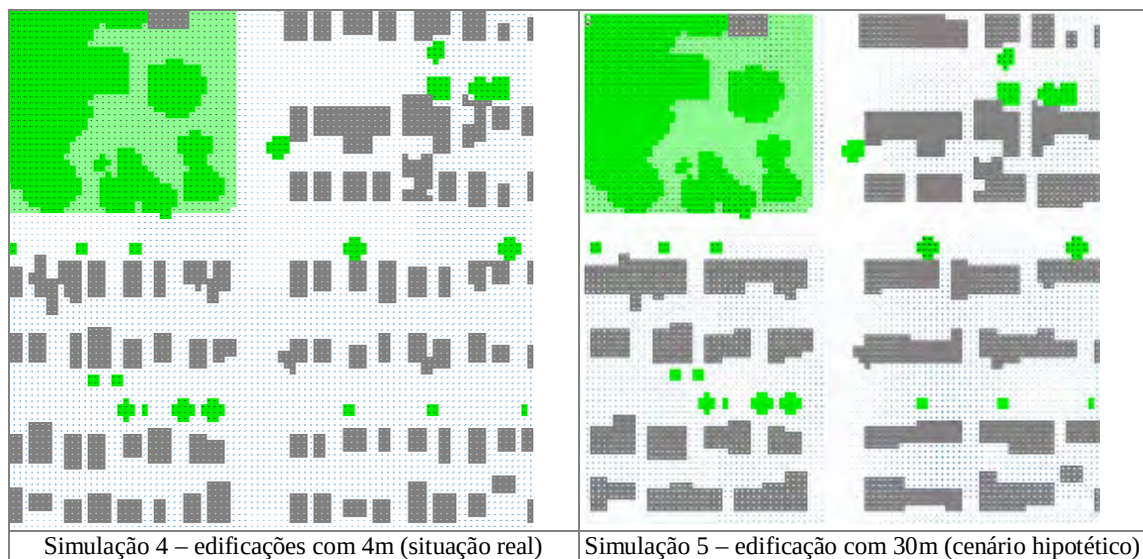


Figura 49: Área de entrada para as simulações 4 e 5.



Situação real – edificações com 4m

Cenário hipotético – edificações com 30m

Figura 50: Imagem tridimensional ilustrativa da situação real e do cenário hipotético simulados no ENVI-met.

O cenário da simulação 5 representa uma situação hipotética da área de estudo verticalizada e com agrupamento das edificações residenciais térreas transformando-as como edifícios residenciais verticais. Os dois cenários foram comparados pela mesma ferramenta Leonardo 3.75 do ENVI-met, por mapas de temperatura do ar no horário de 10h e seção de 1,20m de altura do solo.

Na simulação às 10h com a situação real, as temperaturas variaram de 27 a 28°C e na simulação com o cenário hipotético variaram entre 26 e 27,40°C. Dessa forma pode ser verificado que, para esse horário de análise, o cenário hipotético com as edificações de 30m de altura resultou em uma redução de temperatura do ar de aproximadamente 1°C em relação à situação real. Isso pode ser notado também pela Figura 51.

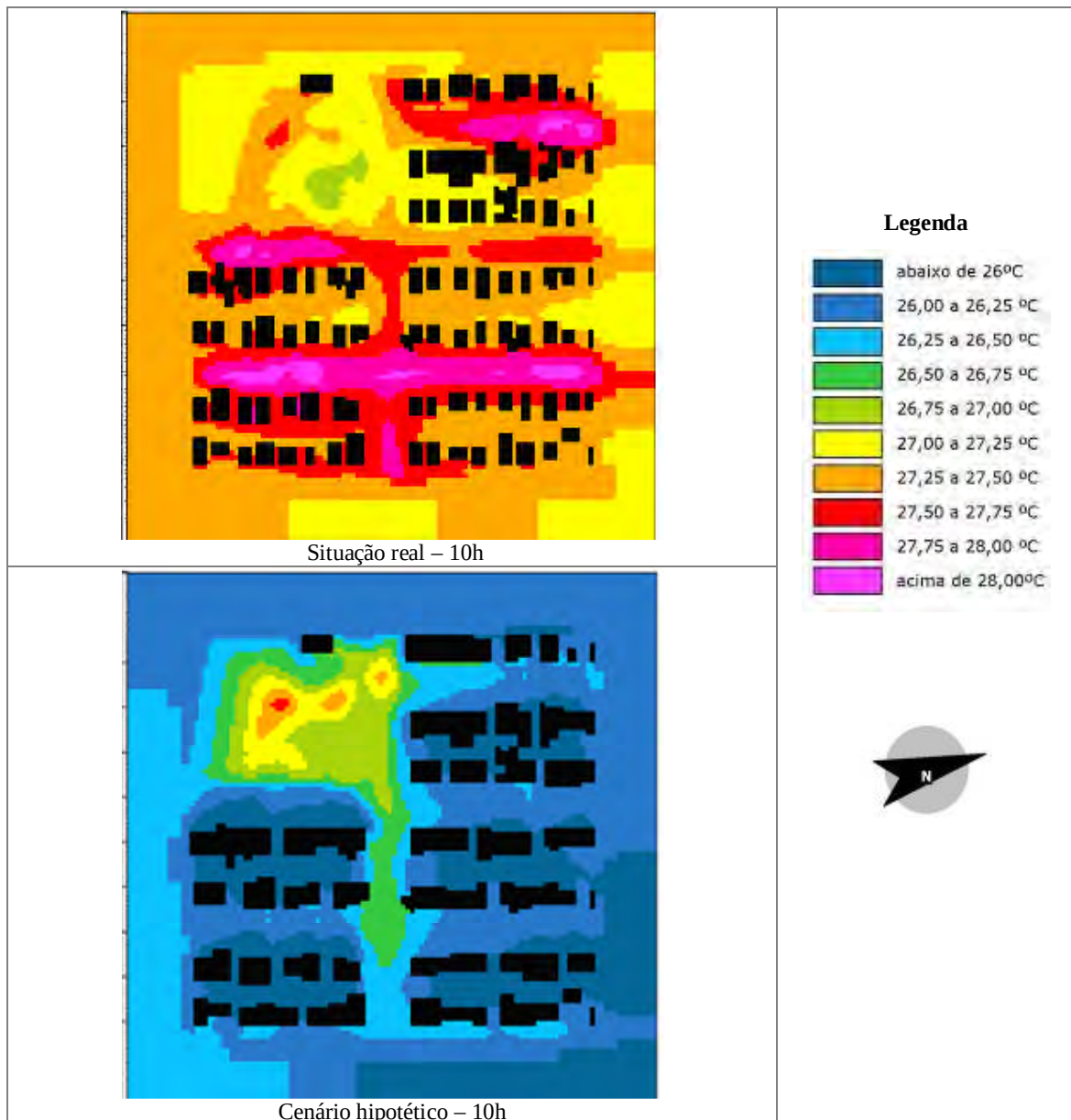


Figura 51: Mapas de temperatura do ar gerados pela ferramenta Leonardo 3.75 do ENVI-met.

Na situação real, onde se localiza parte das arbóreas do bosque, são verificadas temperaturas de aproximadamente 27°C, enquanto que no asfalto de ruas na direção norte-sul a temperatura chega a 28°C. A área do bosque possui, portanto, temperatura menor em 1°C em relação às áreas próximas às edificações. Já às 10h no cenário hipotético, a situação se inverte: as áreas entre as edificações apresentam temperatura menor em 1°C em relação à área do bosque. Isso ocorre porque as edificações, que são mais altas no cenário hipotético, aumentam a área de sombreamento no bairro, o que faz com que as temperaturas também decaiam.

Relações entre o Design Urbano, o Ambiente Térmico e o Pedestre

6

Esse capítulo apresenta os resultados das simulações realizadas com o software BOTworld para análise das sensações e comportamentos dos pedestres virtuais. Esses resultados apresentam-se divididos em duas etapas. Os mapas em planta representam seções a 1,20 metros, que corresponde ao ambiente térmico na escala do pedestre.

Na primeira etapa são comparadas simulações para a área total (simulações 1 e 2 do ENVI-met) em situação real representada para os períodos de inverno e verão. Dessa forma puderam ser identificadas as diferenças comportamentais e de sensação térmica dos pedestres na mesma área, para ambos os períodos, e comparados esses resultados com as respostas dos pedestres que foram entrevistados *in loco*.

A segunda etapa estabelece o mesmo tipo de comparação para um recorte menor da área (180x180 metros), considerando a situação real da área focalizada (com edificações de 4 metros de altura) e o cenário hipotético (área verticalizada com edificações de 30 metros), para o período de verão no horário das 10h. Essas simulações basearam-se nos dados de saída das simulações 4 e 5 do ENVI-met.

O BOTworld apresenta resultados, tanto para a malha toda em forma de mapas, quanto para cada ‘bot’ específico em forma numérica e gráfica. Dentre os diversos parâmetros do software, a análise aqui realizada se baseia especificamente nos seguintes: valores de PMV (Voto Médio Predito), avaliação da qualidade (*quality assessment*) e número de bots que transitaram/passaram pelos *grids* (*Nr BOTs passed*). Para resultados específicos de cada ‘bot’ são apresentados valores em gráficos de temperatura corpórea (T_{core}), de vestimenta (T_{cl}) e de pele (T_{sk}), juntamente com os gráficos de temperatura do ar (T_{air}), temperatura radiante média (T_{mrt}) e velocidade do vento ($relWind$), além do estado interno (*Internal State*) e opinião sobre a situação local (*Local Situation*).

6.1. Análise dos resultados para a área total – estações de inverno e verão

As simulações da área total, comparando-se sensações e comportamentos dos pedestres virtuais no inverno e verão, basearam-se nos dados de saída das simulações 1 e 2, ou seja, simulações de área 340x340 metros de dias estáveis de inverno e verão. Os ‘routingpoints’ (pontos de rota) programados como entradas dos *bots* no modelo foram os: ‘a’, ‘d’, ‘i’, ‘j’ e ‘l’ (ver Figura 23). Os restantes foram programados para a saída dos *bots* do modelo.

Na Figura 52, é possível visualizar o PMV estimado em simulação pelo BOTworld para a malha da área toda, para dias estáveis de inverno e verão. Para a situação de inverno o programa estimou, para a maior parte da malha, um PMV de ‘neutro’ (0) a ‘levemente com calor’ (+1). A área sob as copas das árvores foi classificada como ‘levemente com frio’ (-1) a ‘com frio’ (-2), a área adjacente a norte da massa arbórea do bosque de ‘neutro’ (0) a ‘levemente com frio’ (-1) e algumas áreas de asfalto e calçadas de ‘com calor’ (+2) a ‘com muito calor’ (+3).

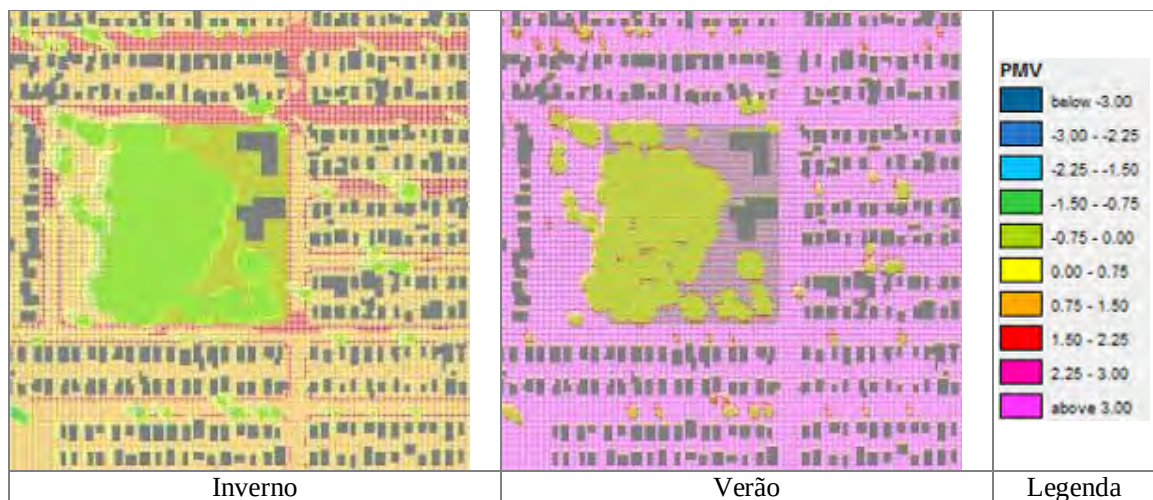


Figura 52: PMV às 10h para a área total de 340x340m.

Já na situação de verão, há predomínio em quase toda a área de $PMV \geq 3$, que indica um voto médio predito de sensação de muito calor. Nesse caso simulado, somente sob as copas das árvores do bairro identifica-se voto de neutralidade térmica (0). De uma forma geral, a situação de inverno possibilitou maiores diferenças de opinião nos votos dos pedestres em relação à configuração urbana, do que na situação de verão.

Quando comparados esses resultados ao levantamento por questionário com pedestres reais quanto à sensação térmica (Figura 31), existe certa concordância entre eles. Em entrevistas os pedestres responderam em maior número estarem com sensação térmica de muito calor no verão e sensação de neutralidade no inverno. No inverno essa resposta é ainda acompanhada por sensação de ‘levemente com frio’ e ‘com calor’.

Tanto no inverno quanto no verão, as áreas sob as copas das árvores representaram índices de PMV mais baixos em relação a outras áreas. Analisando-se a situação de inverno, que apresenta maior variação em toda a área, todas as calçadas apresentaram índice PMV mais alto, de +1,50 a +2,25. Isto representa voto predito para sensação de ‘com calor’ a ‘com muito calor’. Em relação aos centros de quadra e algumas áreas de asfaltos, o PMV variou de +0,75 a +1,50. Somente do lado oeste do mapa as áreas de asfaltos apresentaram PMV alto como o das calçadas. Sob as copas das árvores das calçadas houve uma redução para índice PMV de -1,50 a -0,75, ou seja, voto predito para sensação de ‘levemente com frio’. Essas unidades de arbóreas espalhadas influenciaram em uma redução do índice PMV para os *grids* que estão sob as suas sombras para o horário simulado das 10h. Isso confirma que a presença de arbóreas de forma planejada configura-se em uma interessante estratégia para reduzir a sensação de calor no caminhar de pedestres.

A Figura 53 representa a avaliação de qualidade por *bots* no inverno e verão. Como se pode notar há muita semelhança entre os dois mapas, que apresentam melhor qualidade sob as copas das árvores do bairro e menor qualidade avaliada nas áreas asfaltadas. As áreas adjacentes às edificações, no sentido da sombra para o horário das 10h, também apresentam melhor índice de qualidade.

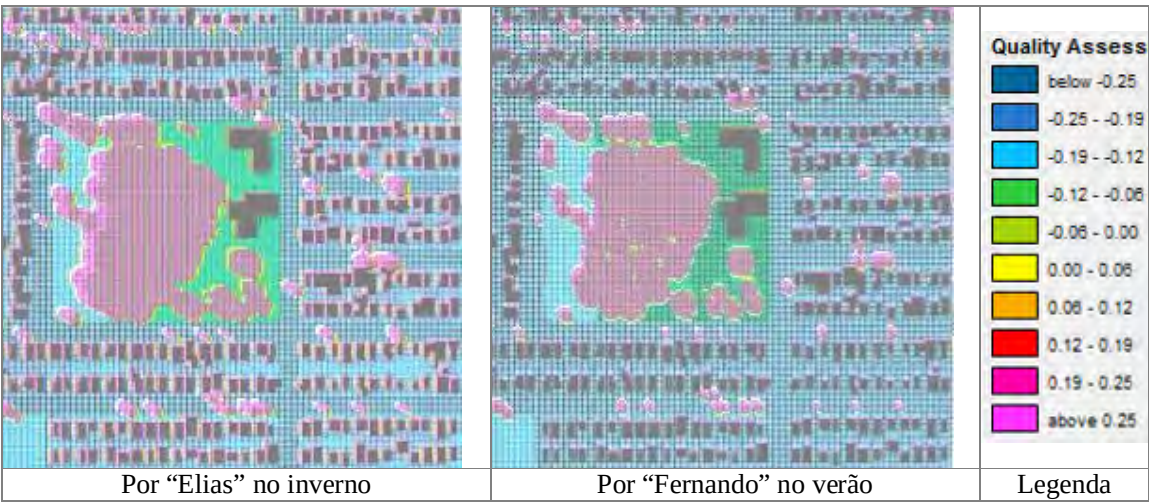


Figura 53: Avaliação da qualidade às 10h para a área total de 340x340m.

A fim de explorar a ferramenta de forma mais aprofundada em resultados específicos de cada *bot*, um trecho da área total de sentido 'D-E' (ver Figura 23) foi selecionado para análise de comportamento de dois pedestres padrões sob condições de inverno. A Figura 54 mostra os diferentes trajetos escolhidos pelos *bots* nomeados 'Mário' e 'Charles'.

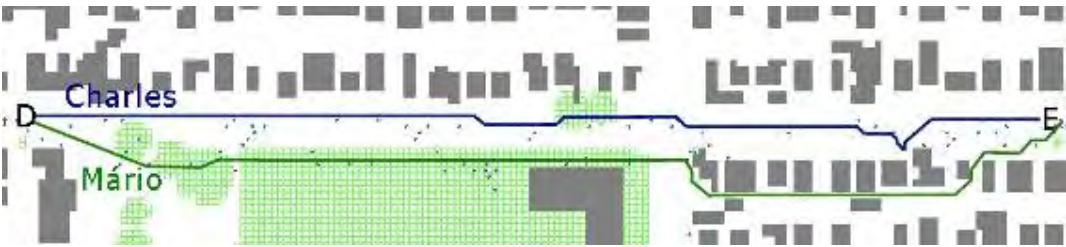


Figura 54: Trajetos D-E escolhidos por 'Mário' e 'Charles' na simulação de inverno.

'Mário' adotou um caminho sob as sombras das árvores e presença de vegetação do bosque e entre as edificações da próxima quadra até chegar ao seu destino. Já 'Charles' adotou um caminho mais linear, no leito carroçável, andando sobre a área asfaltada. A Figura 55 representa os gráficos de temperaturas individuais para cada um desses *bots* e a Figura 56 representa o estado interno e opinião sobre a situação térmica local de cada um.

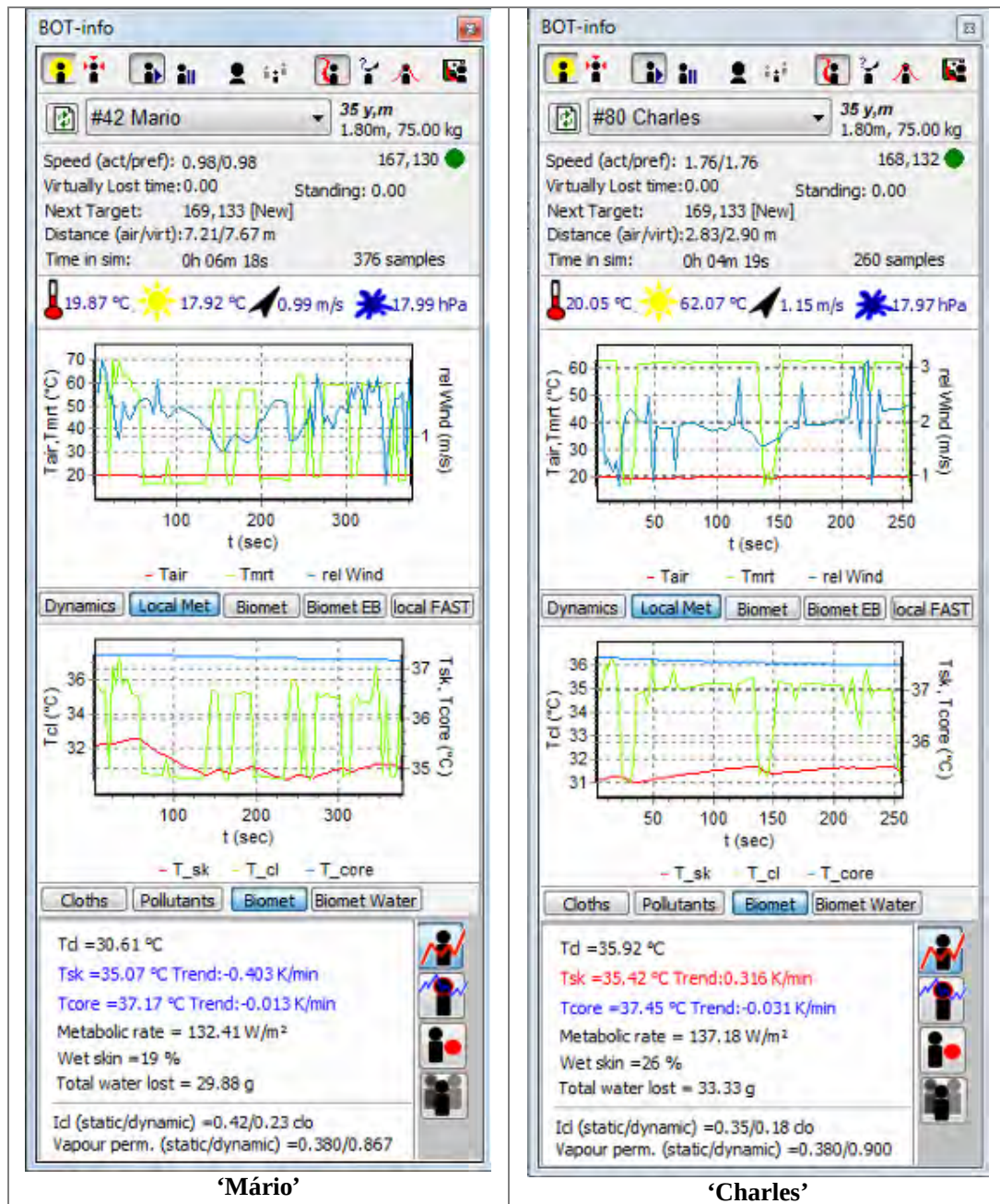


Figura 55: Gráficos de cada *bot* quanto aos dados climáticos locais e temperaturas individuais apresentado pela simulação com BOTworld de inverno.

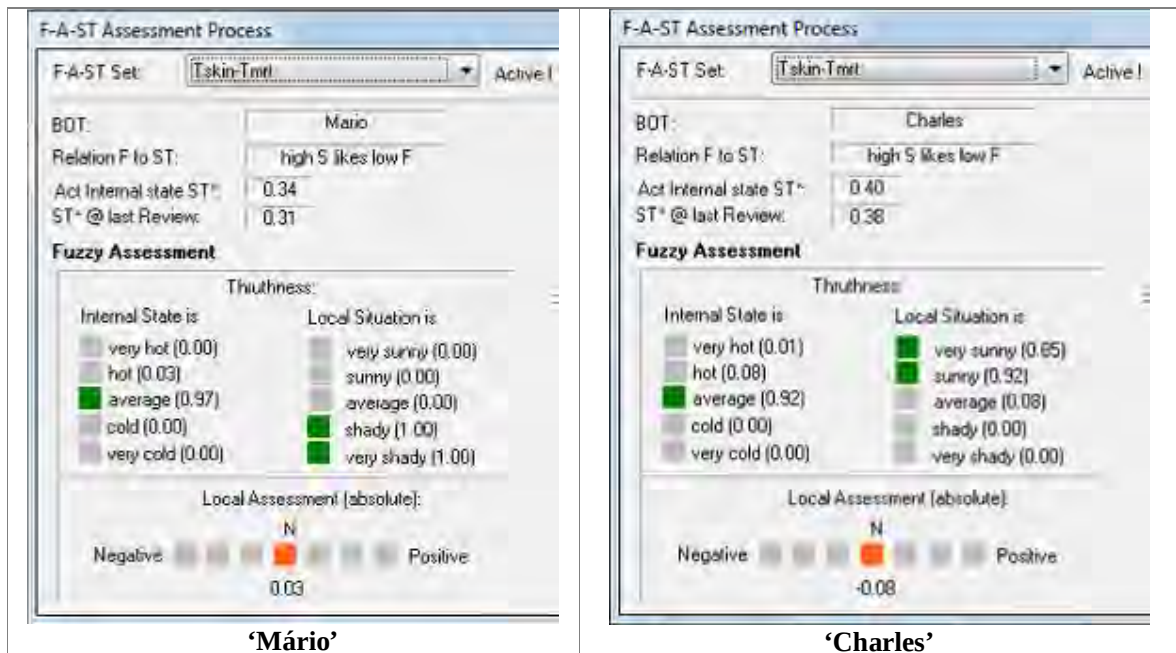


Figura 56: Avaliação de estado interno e opinião de situação local de cada bot apresentado pela simulação com BOTworld de inverno.

Para o bot 'Mário', sua escolha em andar por um caminho mais longo, levando cerca de 370 segundos contra os 250 segundos de 'Charles', representa também uma escolha por uma configuração espacial mais rica, proporcionando mais conforto através do aproveitamento de sombreamento que essa lhe ofereceu em seu percurso. Analisando-se os gráficos, sua temperatura de pele foi gradativamente e levemente se refrescando, enquanto que a sua opinião sobre a situação local foi de sombreado (*shady*) a muito sombreado (*very shady*).

O bot 'Charles', que optou por um trajeto mais linear e breve acabou, no entanto, tendo a sua temperatura de pele levemente elevada no decorrer do percurso e uma opinião de situação local variando de ensolarado (*sunny*) a muito ensolarado (*very sunny*). No gráfico da Figura 55, o 'Tmrt' para 'Charles' foi no geral mais alto que para 'Mário', o que confirma as respostas de 'Charles' em relação às respostas de 'Mário'. No entanto, os dois bots apresentam estado interno neutro/médio (*average*) ao invés de calor ou frio, podendo ser explicado pelas condições locais climáticas da estação de inverno.

Em outra simulação com o BOTworld da área total mas na situação de verão, definindo-se o ponto de rota 'D' como entrada no modelo e 'E' e 'H' como saída e alterando-

se a ‘qualidade ambiental’ como um critério ‘muito importante’, foi analisado o mapa de número de *bots* que transitaram nos *grids* (*Nr BOTs passed*) como visto na Figura 57.

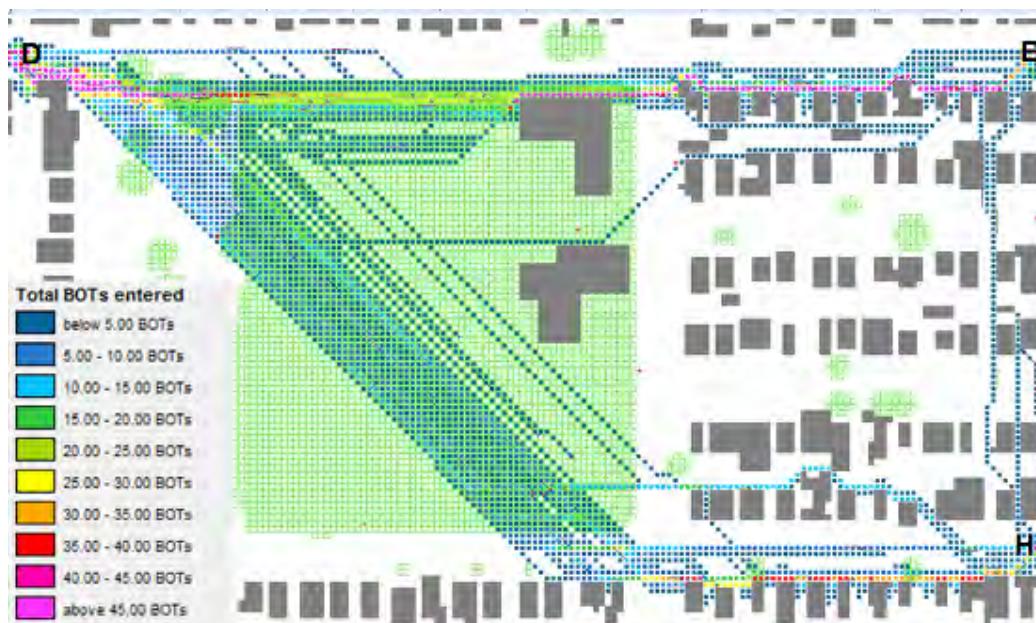


Figura 57: Número de *bots* transitando em trajeto 'd - e, h' da simulação da estação de verão.

Percebe-se que os *bots* que adotaram o caminho D-H, apesar de mais longo, exploraram mais o espaço durante o trajeto com maiores possibilidades no caminhar, podendo ser explicado, provavelmente, pela sensação mais agradável que esse trajeto traz adentrando-se no bosque com maior presença de vegetação e arbóreas. Tanto para o trajeto D-E quanto para o D-H os *bots* preferiram andar do lado leste da rua (ou oeste das quadras), ou seja, o lado sombreado para aquele horário simulado das 10h.

Mais uma diferente forma escolhida para se avaliar as diferentes sensações dos pedestres, tanto reais quanto virtuais, foi comparar as opiniões de ambos para diferentes pontos da malha. Os pontos ilustrados na Figura 58 representam os locais em que foram entrevistados pedestres no horário das 10h às 11h de verão e posteriormente foram simulados os *bots* caminhando pelo modelo no BOTworld, identificando-se suas opiniões quando localizavam-se no grid correspondente ao ponto analisado. A

Tabela 9 demonstra os valores obtidos através das entrevistas com pedestres e respostas dos *bots* para os mesmos pontos. Nessa tabela, o número entre parênteses seguido da escala de resposta dos *bots* denota o peso que essa resposta teve para a decisão prevista pelo programa.

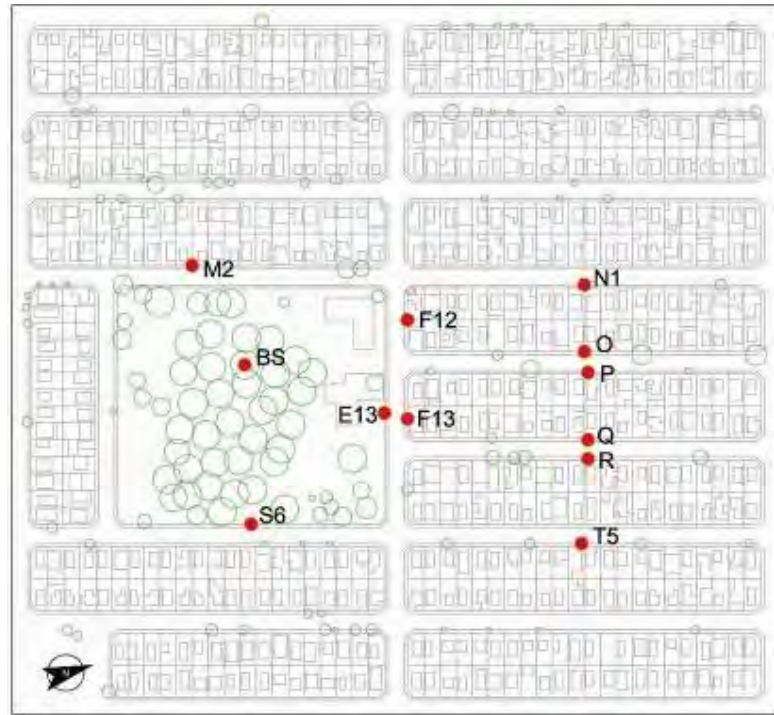


Figura 58: Pontos para análise de opiniões entre pedestres e bots para simulação de verão.

Tabela 9: Respostas de pedestres em entrevista e de bots em simulação quanto à sensação térmica no período de verão.

Ponto	Respostas pedestres	Respostas BOTs	Ponto	Respostas pedestres	Respostas BOTs	Ponto	Respostas pedestres	Respostas BOTs
E13	+3	Muito quente (1.00) Quente (1.00) Neutro (0.00) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	F12	0, +1, +3	Muito quente (0.71) Quente (0.84) Neutro (0.16) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	F13	0, +1, +3	Muito quente (0.68) Quente (0.82) Neutro (0.18) Frio (0.00) Muito frio (0.00)
M2	-1	Muito quente (0.00) Quente (0.00) Neutro (0.05) Frio (0.95) Muito frio (0.91)	BS	+1	Muito quente (0.00) Quente (0.00) Neutro (0.00) Frio (1.00) Muito frio (1.00)	N1	+2, +3	Muito quente (0.68) Quente (0.82) Neutro (0.18) Frio (0.00) Muito frio (0.00)
O	+2	Muito quente (0.67) Quente (0.82) Neutro (0.18) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	P	0, +1, +2	Muito quente (0.26) Quente (0.51) Neutro (0.49) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	Q	+2, +3	Muito quente (0.71) Quente (0.84) Neutro (0.16) Frio (0.00) Muito frio (0.00)
R	+2, +3	Muito quente (0.61) Quente (0.78) Neutro (0.22) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	S6	+2	Muito quente (1.00) Quente (1.00) Neutro (0.00) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	T5	+3	Muito quente (0.72) Quente (0.85) Neutro (0.15) Frio (0.00) Muito frio (0.00)

Apesar de se apresentarem em diferentes escalas, a comparação de ambos os resultados se faz possível pelos valores positivo, neutro e negativo. O programa conseguiu obter resultados bem próximos aos obtidos em entrevistas com pedestres reais. Observa-se, no entanto, que resultados mais refinados poderiam ser obtidos realizando-se simulações mais específicas com tentativas de coincidir algumas características como, por exemplo, a idade e o gênero dos *bots* com os dos pedestres entrevistados. Entretanto, os *bots* não podem ser totalmente controlados, pois cada qual toma a sua decisão de rota e cabe ao pesquisador apenas observá-lo quanto ao seu comportamento e sensações diante dos locais de passagem.

Outra forma de análise mais detalhada de cada *bot* são as informações obtidas pelo arquivo *masterfile* (resultante da simulação completa com o BOTworld), pelo qual é possível selecionar vários parâmetros para se analisar cada um dos vários *bots* que transitaram pelo modelo, visualizando-se os valores em forma de *grids* coloridos de acordo com o valor resultante e percurso do *bot*. A Figura 59 demonstra os resultados de temperatura de pele (T_{skin}) e PMV para o *bot* ‘Edward’, que percorreu o trajeto D-C da área simulada total para o período de verão.

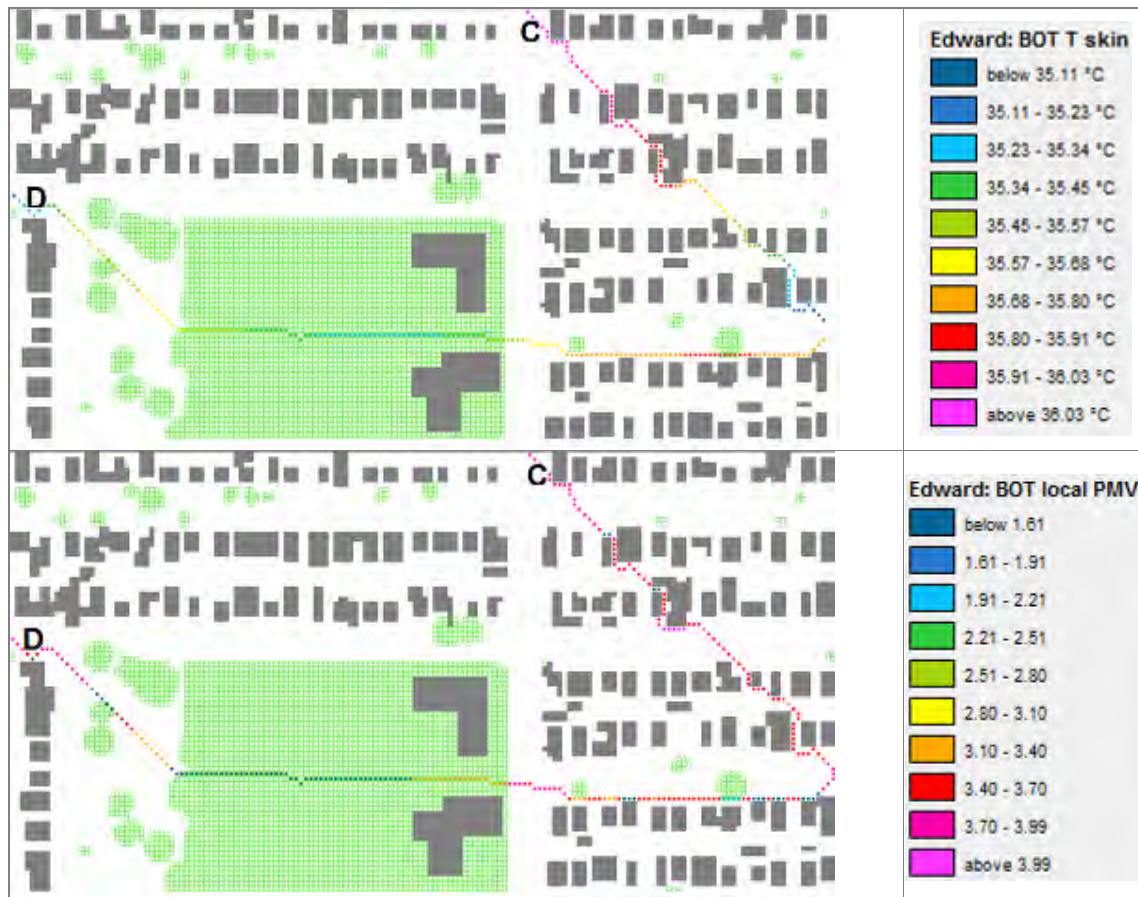


Figura 59: Simulação de temperatura de pele e PMV para bots específicos com trajeto sentido D-C.

Essa forma de resultados no BOTworld permite visualizar as mudanças de temperaturas e índices de sensação térmica de um pedestre virtual de acordo com as mudanças da configuração urbana durante seu trajeto, demonstrando-se a importância da ergonomia ambiental, e mesmo do design, durante o seu percurso pelo modelo. O exemplo acima mostra que, tanto a temperatura de pele, quanto o índice PMV, ficam mais baixos quando o *bot* está caminhando por entre as árvores do bosque em relação a quando ele está caminhando entre as edificações.

6.2. Análise dos resultados para a área focalizada – situações real e hipotética

A análise comparando o ambiente térmico de pedestres entre as situações real e hipotética é realizada somente para as simulações de verão, aproveitando os dados de saída das simulações 4 e 5 do ENVI-met, ou seja, simulações de área 180x180 metros de dias estáveis de verão para área real (residências com 4m de altura) e área hipotética (edificações

com 30m de altura). A simulação do BOTworld para essas duas situações quanto ao PMV (Voto Médio Predito) encontram-se na Figura 60 abaixo.

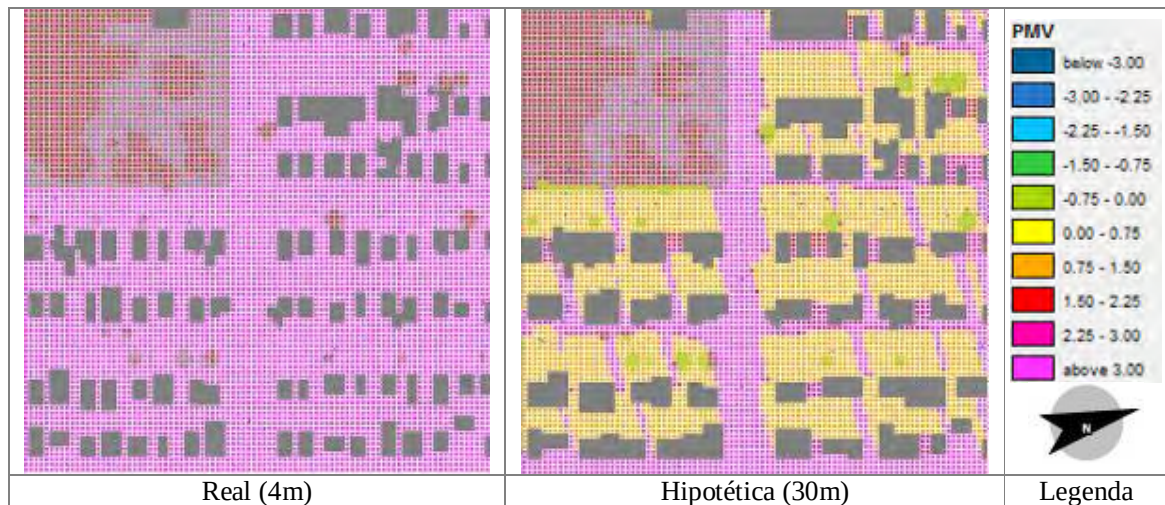


Figura 60: PMV às 10h para a simulação de verão da área de 180x180m.

É possível verificar que, para a situação real, a sensação térmica simulada para a malha é de ‘com muito calor’ (+3). Na situação hipotética, a verticalização das edificações provocou áreas sombreadas no lado oeste das edificações (lado oposto ao sol para às 10h), o que levou a alteração de sensação térmica simulada em vários *grids*, com o formato das sombras projetadas, para sensação de ‘levemente com calor’ (+1), chegando bem próximo da sensação de ‘levemente com frio’ (-1) sob as copas de árvores.

No caso simulado da situação hipotética, os resultados levam a sugestão de formas de sombreamento como estratégia na melhoria da sensação térmica pelo pedestre, como por exemplo, o uso de protetores solares e de arborização e não necessariamente à promoção da verticalização aqui realizada. Para o horário simulado (10h) essas edificações mais altas da situação hipotética estão servindo para sombrear o caminho dos pedestres, mas logo em seguida, às 12h, por exemplo, isso já não seria mais possível, se tornando, portanto, muito mais benéfico a existência de proteções solares projetadas para as áreas de calçadas.

Para a análise da relação de número de *bots* que transitaram pelos *grids*, foi feito um recorte da área de trajeto C-D (ver novamente a localização dos receptores na Figura 23), e simulação interativa por 10 minutos. Conforme mostra a Figura 61, verifica-se que na situação real os *bots* caminharam próximos às edificações e de forma mais concentrada na

face oeste da quadra. No cenário hipotético os *bots* caminharam um pouco mais espalhados ao longo do leito carroçável. A explicação dessa diferença de comportamento se dá por C-D ser um trajeto de sentido sul-norte e pelo fato de no cenário hipotético as edificações proporcionarem maior área de sombra projetada sobre a rua em relação à situação real.

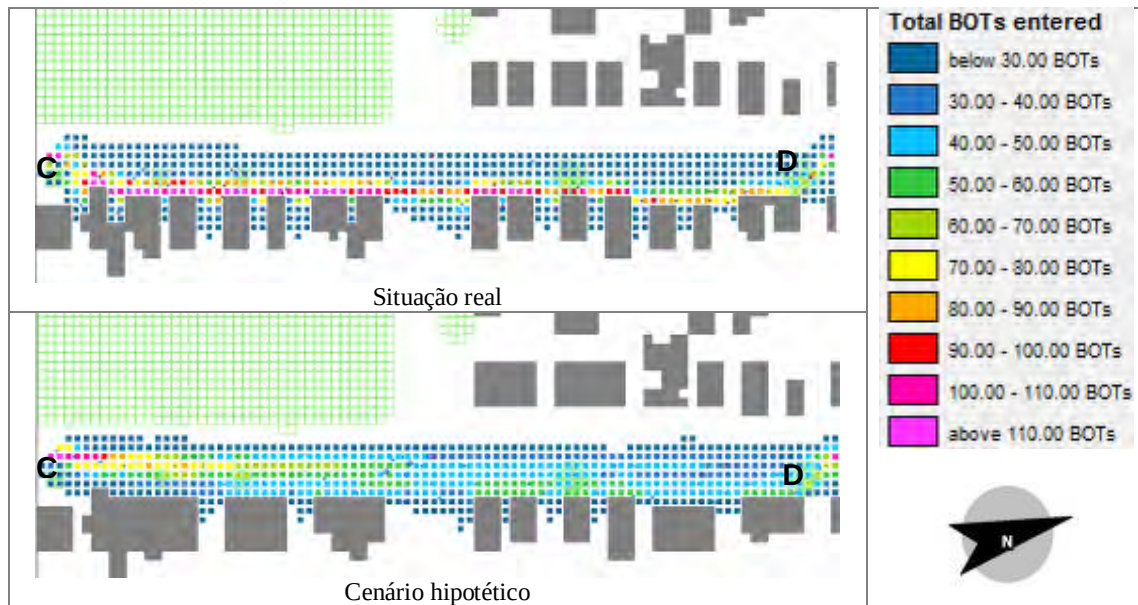


Figura 61: Recorte de trajeto C-D para análise de bots/grid às 10h de verão.

Considerações Finais, Limitações e Sugestões **7**

O presente estudo aplicou uma metodologia de análise do comportamento de pedestre diante do ambiente térmico urbano, através de simulação computacional, considerando-se a influência do design, da configuração urbana e da ergonomia ambiental.

Concluiu-se que o traçado da malha urbana, juntamente com a configuração urbana, o design e a presença de vegetação são os pontos de maior influência na tomada de decisões de pedestres ao caminhar em ambientes externos. Na análise do ambiente térmico do pedestre e sua relação com o design da área de estudo, tanto a grande massa arbórea presente no bosque, quanto as unidades de árvores espalhadas pelo bairro, contribuíram para o conforto térmico dos pedestres, proporcionando sombreamento e, assim, reduzindo os índices alcançados pela temperatura. Através das simulações, reforçou-se o papel da vegetação na melhoria da qualidade do ambiente térmico.

Observou-se que a verticalização de edificações para o horário analisado, também contribuiu para maior sombreamento e, em alguns casos, quando associado à ventilação natural, trouxe melhoria para o ambiente térmico do pedestre. Entretanto, a verticalização não se torna útil para o sombreamento em todos os horários, sendo, portanto, recomendável o uso de estratégias projetuais de sombreamento, como a presença de protetores solares e uso de arborização.

Foi verificado ainda, que os materiais de revestimento, como a presença de asfalto, influenciam muito nos índices de temperatura e, conseqüentemente, no conforto térmico do pedestre.

A configuração urbana, se planejada de forma adequada, faz grande diferença nas tomadas de decisões do caminhar dos pedestres e na sensação térmica dos mesmos.

Apesar de desvios encontrados, a ferramenta ENVI-met se mostrou adequada em simular ambientes térmicos urbanos, já que as médias de curvas de temperaturas simuladas apresentaram-se próximas das médias reais. As diferenças entre dados resultantes de simulações e dados reais podem ter sido decorrentes de vários fatores, como a forma específica em que a temperatura foi medida, a falta de informação espacial pela delimitação de resolução do programa ou diversas condições climáticas que nem sempre são previstas pelo modelo, agindo de forma mais generalizada. O ajuste, no entanto, se faz sempre necessário em todo estudo que utilize ferramentas computacionais de simulação ambiental térmica.

É importante retomar que o ENVI-met possibilita a entrada de várias outras configurações mais específicas, podendo fornecer resultados mais refinados. Cabe, no entanto, deixar claro que o modelo deve ser avaliado sob várias condições antes de ser definitivamente aplicado para uma avaliação urbana. Por isso, o ajuste aqui estabelecido ainda não representa uma calibração definitiva, principalmente porque o comportamento do modelo apresentou curva diferenciada daquela real.

Uma das maiores dificuldades encontradas foi a escolha da escala e versão a ser adotada que pudesse representar da melhor forma o ambiente térmico do pedestre, sem limitar demais a sua área total. Como o ENVI-met adota uma modelagem simplificada das edificações, no caso de se optar por uma resolução maior na espacialização do ambiente, o tamanho total da área torna-se limitado, comprometendo também o estudo que deseja analisar uma área urbana maior.

Para essa metodologia adotada foram identificados alguns pontos que poderiam ser melhorados, como escolha de localização de instrumentos de medição e a necessidade de medição de vento e temperatura radiante média simultaneamente à realização de entrevistas. Na fase de levantamento, notou-se que seria mais interessante se as medições com instrumentos fossem realizadas em áreas de calçadas, assim como nos testes prévios que levaram a resultados mais fidedignos ao comparar dados reais e simulados. No entanto, por preocupações com a segurança dos instrumentos, optou-se por instalá-los sempre na parte interna do lote, atrás dos muros frontais no caso dos termômetros *data-loggers* ou no quintal dos fundos no caso da estação. Isso provavelmente fez com que os sensores tivessem maior

sensibilidade ao calor durante o período da tarde, o que os diferenciou muito dos resultados obtidos pelo ENVI-met, impossibilitando assim um ajuste mais preciso para esses horários.

Em contrapartida, os resultados obtidos das simulações para o período de madrugada e manhã (das 1h às 12h) chegaram próximos aos monitorados, tanto pela estação quanto pelos termômetros *data-loggers*. Dessa forma, o programa ENVI-met v.3.1 se mostra mais adequado em simular e prever ambientes térmicos externos.

Também foi constatado que a realização de medição local de velocidade de vento no momento exato da entrevista com cada pedestre possibilitaria uma análise mais aprofundada, uma vez que este é um fator de muita influência nas respostas quanto à sensação térmica, observado durante o período de entrevistas. A medição de vento foi realizada apenas pela estação fixa, o que acaba oferecendo resultados de velocidade de vento mais generalizados, já que a estação foi programada para armazenar dados médios de hora em hora.

O BOTworld possibilitou a avaliação dos pedestres virtuais nos cenários oferecidos para um dos horários de melhor ajuste e que coincidia com o horários de parte das entrevistas. Essa ferramenta possibilita uma série de resultados e diferentes formas de análise e organização dos mesmos, além de salvá-los de várias maneiras. É uma ferramenta que oferece resultados detalhados, que aproveita os resultados do ambiente térmico simulado pelo ENVI-met para a avaliação, tanto da sensação térmica dos pedestres através de vários parâmetros, quanto ao controle de suas características e análise de influência da configuração do ambiente no seu comportamento.

Os resultados de sensação e satisfação térmica simulados concordaram com os resultados obtidos em entrevistas, apesar de algumas diferenças devido à padronização de algumas características dos pedestres virtuais. Sabe-se que existem vários parâmetros, como idade, gênero, massa corpórea e vestimenta, que influenciam nas diferentes opiniões dadas por diferentes pedestres para o mesmo momento. No entanto, o BOTworld, para simulações de comportamento e sensação térmica de pedestres, demonstrou ótimo desempenho e permite o desenvolvimento de vários outros estudos futuros a utilizarem suas outras ferramentas. O BOTworld se mostrou uma ferramenta inovadora, de alta potencialidade na previsão do comportamento e sensações de pedestres, permitindo várias formas de análise e controle.

Ao longo do estudo e durante a manipulação de ambos os software, algumas potencialidades e fragilidades dos modelos aplicados foram observadas e são a seguir destacadas.

Quanto ao programa ENVI-met, foram identificadas as seguintes potencialidades:

- a facilidade de inserção de dados de entrada por meio de dois arquivos (área e configuração meteorológica);
- o fornecimento de diversas variáveis de saída, possibilitando vários tipos de estudos em planejamento urbano;
- a capacidade de representação da ferramenta Leonardo 3.75, que interpreta os dados de saída do ENVI-met por meio de mapas, com cortes que podem ser determinados pelo pesquisador, tanto horizontais quanto verticais e as várias formas de controle de visualização dos mapas;
- a previsão de inserção de *routingpoints* (pontos de rota dos *bots*) na ferramenta de edição de área, criando-se assim maior versatilidade para a simulação com o programa BOTworld.

As fragilidades encontradas para o ENVI-met foram:

- estudos de áreas de grande extensão implica sempre em uma redução de resolução;
- a inserção da área de estudo exige a caracterização de pixel por pixel, o que torna a tarefa um pouco exaustiva ao se trabalhar com uma malha extensa de vários *grids*;
- a não possibilidade de pausar o processo de simulação e, na ocorrência de algum erro, a simulação tem que ser reiniciada;
- o modelo ainda apresenta vários erros, e muitas vezes de difícil dedução de como solucioná-los, principalmente quanto a importação de radiação solar e com os *nesting grids*;
- as lacunas de controle de escala na ferramenta de edição de área se mostram confusas quanto a escala do eixo 'z', que apesar de se assemelhar, não corresponde à mesma função da escala nos eixos 'x' e 'y' em que o valor estabelecido é o valor de cada *grid*, correspondendo ao valor que multiplica o número total de *grids* em altura, para definir a altura total do modelo em metros;
- o processo de simulação é lento chegando a demorar dias ou semanas, a depender do caso.

Para as simulações de escala de *grid* 2x2 e versão de 180x180x30, o computador despendeu em média 2h20min para cada hora simulada. Esse rendimento tende a melhorar nos horários simulados de 18h até 7h e piorar das 8h até 17h levando até, em alguns casos, 4h30min para simular uma hora.

Quanto ao programa BOTworld, as seguintes potencialidades são destacadas:

- possibilidade de escolha de simulação direta ou interativa;
- possui várias formas de visualização de dados, desde mapas até em forma de gráficos;
- grande quantidade de tipos de dados de saída, assim como possibilidades diversas de leitura dos mesmos (gráfica ou texto);
- possibilita visualização de resultados para toda a área como para cada *bot* que circulou pela área;
- existência de filtros de visualização;
- realiza cálculo de estimativa de PMV para cada *bot* e para a área toda;
- possibilidade de controle da escala da legenda;
- controle da função entrada/saída do modelo para pontos de rota específicos, possibilitando ao usuário definir partida e destino final dos *bots*.

As fragilidades observadas no BOTworld foram:

- o programa não oferece opção de exportação de imagem em um formato de qualidade;
- o programa aceita somente o arquivo de área editado na versão antiga do ENVI-met 3.0.

Em geral, o presente estudo demonstrou que a configuração urbana, assim como a ergonomia urbana e o design tiveram grande influência no comportamento de pedestres diante do ambiente térmico urbano. Os resultados contribuem para futuras pesquisas da área e para a preocupação de um melhor planejamento urbano. Além disso, dando enfoque à ergonomia urbana, demonstra a possibilidade de contribuição no planejamento de mobiliário urbano.

Para previsões de trabalhos futuros sugere-se a exploração de mais parâmetros de análise de resultados, tanto no ENVI-met como no BOTworld, como, por exemplo, o índice PET.

Referências Bibliográficas 8

BLAZEJCZYK, Krzysztof. **Climatological-and-physiological modelo of the human heat balance outdoor and its applications in bioclimatological studies in different scales.** Zeszyty IGiPZ PAN, v.28, p.27-58, 1996.

BLUSTEIN, M.; OSCZEVSKI, R. **“Wind chill and development of frostbite in the face”.** Preprints, In: 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology, Kansas City, MO, American Meteorology Society, p. 168-71. 2002.

BOMFIM, Gustavo Amarante. **Sobre a Possibilidade de uma Teoria do Design.** Estudos em Design, v.2, nov. 1994 – Anais P&D Design 94.

BRANDÃO, Rafael Silva. **As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano.** Tese (doutorado – área de concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAU-USP. São Paulo, 2009.

BRUSANTIN, Giovana Nicoleti; FONTES, Maria Solange Gurgel de Castro. **Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 16 a 18 de setembro de 2009.

BRUSE (a), Michael. **Assessing urban microclimate from the user’s perspective – Multi-Agent systems as a new tool in urban biometeorology.** In: Ann. Meteorol. (41), 137-140. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. Acesso em: 02 ago. 2010.

BRUSE (b), Michael. **ITCM – A simple dynamic 2-node model of the human thermoregulatory system and its application in a multi-agent system.** Ann. Meteorol. 41, 398-401. Disponível em: <http://www.envi-met.de/scidocs.htm>. 2005.

BRUSE, Michael. **Modelling and strategies for improved urban climate.** Invited Paper. In: Proceedings International Conference on Urban Climatology & International Congress of Biometeorology, Sydney, 8-12. Nov, Australia, 6 pages. 1999. Disponível em <http://envi-met.de/>

BRUSE, Michael. **Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System.** In: PLEA 2007 – The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Proceedings... Singapore, 491-498 p., 2007.

CAMARGO, M. G. **Análise da percepção térmica dos carteiros do CDD-Londrina em relação ao uniforme utilizado em ambiente quente.** Dissertação de Mestrado em Desenho Industrial da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (UNESP-Bauru). Bauru, UNESP, 2007.

CAVALCANTE, Miquelina R. Castro; ÁVILA, Iuri; BARBIRATO, Gianna Melo. **Efeito microclimático da presença de vegetação em recintos urbanos em Maceió – AL.** In: ENCAC – ENLAC, Maceió, 2005.

COSTA, A.; LABAKI, L.; ARAÚJO, V. **A methodology to study the urban distribution of air temperature in fixed points.** In: 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, September 2007, Crete island, Greece.

COSTA FILHO, Amando C.; ARAÚJO, Virgínea Maria Dantas de; COSTA, Angelina Dias Leão; FIGUEIREDO, Aliana Maria Mouta; FURTADO, Viviane Sales. **Análise do comportamento da temperatura do ar nos espaços urbanos abertos do centro de Fortaleza – Ceará.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 16 a 18 de setembro de 2009.

DOSTAL, Paul; KATZSCHNER, Antje; BRUSE, Michael; HUTTNER, Sebastian. **Quantifying the human thermal-heat-stress in Central European cities with BOTworld and on site-interviews as analysing tool to estimate the thermal sensation of pedestrians.** In: The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan. Disponível em: <http://www.botworld.info/>. Acesso em: 19 ago. 2010. 2009.

DUARTE, Denise; GONÇALVES, Joana; MONTEIRO, Leonardo M. **Desenho urbano e conforto térmico: avaliação dos espaços abertos da Barra Funda, em São Paulo, por meio de levantamentos de campo e simulação preditiva.** In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, 2007.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineers.** USA; Kingsport Press, 1972, 243p.

FARIA, João Roberto Gomes de. **Caracterização do vento na camada intra-urbana da cidade de Bauru – SP.** In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: SBMet, 2000. p. 3967-3976. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-5f60252bf11ad67f79060653b229e063.PDF>. Acesso em: 15 jul. 2010.

FASCIONI, Lígia. **O design do designer.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2007.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo.** 8.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in Building and Urban Design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GIVONI, Baruch; NOGUCHI, Mikiko; SAARONI, Hadas; YAACOV, Yaron; FELLER, Noa; BECKER, Stefan. “Outdoor comfort research issues”. *Energy and Buildings*, 35 (1), p. 77-86. 2003.

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.** Proceeding: Building Simulation 2007.

HÖPPE, Peter R. **The physiological equivalent temperature: a universal index for the assessment of the thermal environment.** International Journal of Biometeorology, 43, p. 71-5. 1999.

IEA – *International Ergonomics Association - Associação Internacional de Ergonomia.* Disponível em: www.iea.cc. Acesso em: 20 ago. 2010.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção.** 2ª edição rev. e ampliada. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ISB (International Society of Biometeorology). (2004) “Guidelines for ISB Commissions and Study Groups”. Oklahoma, ISB. Disponível em <http://www.biometeorology.org/study.htm>.

ISO (International Organization Standardization). **ISO 7730.** Moderate thermal environments – determination of the PMV e PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Standard, 19 p. 1994.

ISO (International Organization Standardization). ISO 8996. Ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate. Genève: **ISO, 2004.**

JENDRITZKY, Gerd. **“Perceived temperature: Klima-Michel-model”.** In: The Development of Heat Stress Watch Warning Systems for European Cities. Freiburg May 3, 2003. Disponível em: www.gees.bham.ac.uk/reasearch/phewe/freiburg.

KATZSCHNER, Lutz; MAYER, Helmut; DREY, Christl; BRUSE, Michael. **Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes.** In: PLEA 2007 – The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Proceedings... Singapore, 103-108 p., 2007.

KRUCKEN, Lia. **Design e território: valorização de identidades e produtos locais**. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

LAHME, Esther; BRUSE, Michael. **Microclimatic effects of a small urban park in a densely build up área: measurements and model simulations**. University of Bochum, Bochum, Germany. ICUC5, Lodz 1-5- September 2003, 4 pages. Disponível em: <http://www.envi-met.de/scidocs.htm>.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antônio Augusto de Paula. **Apostila didática: Conforto Térmico e Stress Térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/pos-graduacao/ecv_4200/ecv4200_doc.html. Florianópolis, 2002.

LÖBACH, Bernd. **Design Industrial – Bases para a configuração dos produtos industriais**. Tradução: Freddy Van Camp. São Paulo: Editora Blucher, 2001.

LOIS, Érika; LABAKI, Lucila Chebel. **Conforto térmico em espaços externos: uma revisão**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP, 2001.

MASCARÓ, Lucia; MASCARÓ, Juan. **Vegetação Urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Mais Quatro. 204p. 2005.

MONTEIRO, Carlos de Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo, Contexto, 2003.

MONTEIRO (a), Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. **Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: Revisão histórica**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, AL, 2005.

MONTEIRO (b), Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. **Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 2: Estado da arte**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, AL, 2005.

MORAES, Anamaria de; MONT'ALVÃO, Cláudia. **Ergonomia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

MORTENSEN, N; LANDBERG, L; TROEN, I.; PETERSEN, E. **Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)** (Vol. I and II). Roskilde. Dinamarca. Risø National Laboratory. 133p. 1993.

NAKATA (a), Camila Mayumi; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; FARIA, João Roberto Gomes de. **Verificação de um modelo para simulação térmica urbana**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 16 a 18 de setembro de 2009.

NAKATA (b), Camila Mayumi; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; FARIA, João Roberto Gomes de. **Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano**. In: 9º Ergodesign – 9º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia: Produto, Informações, Ambiente Construído e Transporte. Curitiba, 14 a 17 de setembro, 2009.

NAKATA, Camila M.; SOUZA, Léa C. L. Contribuição térmica da geometria urbana e da arborização em um bairro residencial. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – **ENCAC**, Ouro Preto, 2007.

NIEMEYER, Lucy. **Design no Brasil: origens e instalação**. 2AB, 2000.

NIKOLOPOULOU, Marialena. **The effect of climate on the use of open spaces in the urban environment: Relation to tourism..** Acesso: http://www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws/papers/14_nikolopoulou.pdf. In: Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Report of a Workshop Held at Porto Carras, Neos Marmaras, Halkidiki, Greece, p. 185–194, 5-10 October 2001.

NIKOLOPOULOU, Marialena; STEEMERS, Koen. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: Energy and Buildings 35, 95-101. 2003.

OKAMOTO, Jun. **Percepção ambiental e comportamento**. São Paulo: Plêiade, 1996.

ORNSTEIN, S. **Avaliação pós-ocupacional (APO) do ambiente construído**. Editora da Universidade de São Paulo-Studio Nobel, São Paulo, 1992.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços abertos. Estudos de caso em Campinas, SP**. (Tese de Doutorado na FECA – UNICAMP) UNICAMP, 2007.

PEZZUTO, Claudia Cotrim; LABAKI, Lucila Chebel. **Conforto térmico em espaços urbanos abertos: avaliação em áreas de fluxo de pedestres**. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Ouro Preto, 2007.

PICKUP, J.; DEAR, R. “An outdoor thermal comfort index: the model and its assumptions”. In: International Congress of Biometeorology, 15, 1999, Sydney. Geneve: WMO, p. 279-84. 1999.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

SANTOS, J.; TAVARES, R.; AMORIM, J. H.; MIRANDA, A. I. **Estudo do efeito da vegetação na dispersão de poluentes em zonas urbanas**. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. 8ª Conferência Nacional de Ambiente. Lisboa, Portugal. 2004. Disponível em http://www2.dao.ua.pt/gemac/resources/8aCNA_Efeito_da_Vegetacao_na_dispersao_de_poluentes_2004.pdf.

SILVA, Caio Frederico e; ROMERO, Marta Adriana Bustos. **O desempenho ambiental de vias arborizadas na cidade de Teresinha por meio de dados sensoriais, microclimáticos e simulações computacionais com o auxílio do ENVI-met**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 16 a 18 de setembro de 2009.

SORANO, E.C. **Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre**. Dissertação de Mestrado em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (UNESP-Bauru). Bauru, UNESP, 2009.

TAKENAKA, Vanessa Midori; FARIA, João Roberto Gomes de. **Análise da qualidade do ambiente térmico das vias públicas**. In: Encac – Cotedi, Curitiba, 2003.

VALQUES, Igor J. Botelho; LISOT, Aline; TAMANINI, Carlos Augusto de Melo; SOARES, Paulo Fernando. **O Estresse Urbano no Conforto Ambiental**. Universidade Estadual de Maringá. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 8 a 10 de agosto, 2007.

VOLTANI, Eder R.; LABAKI, Lucila Chebel. **Desvios nos resultados de correlação entre os votos da sensação térmica da população pesquisada em ambientes reais e os resultados dos cálculos de PMV/PPD**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 16 a 18 de setembro de 2009.

Sites acessados:

www.abergo.org.br

http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia

www.bauru.sp.gov.br

www.ipmet.unesp.br

APÊNDICE

Apêndice 1: Modelo de questionário de sensações térmicas.

UNESP – Universidade Estadual Paulista
FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
Núcleo de Conforto Ambiental
Programa de pós-graduação em Design



Questionário de Sensações Térmicas

Quest nº:

Local:

Horário:

Data: / /

1. Idade:

2. Sexo () M () F

3. Peso:

4. A entrevista foi realizada:

() Sombra () Meia sombra () Pleno sol

5. Que atividade o pedestre estava realizando antes da entrevista?

() Sentado () Andando no plano () Andando na descida
() Em pé parado () Andando na subida () Correndo

6. Que vestimentas está utilizando?

() Camisa manga longa () Casaco lã () Sapato
() Camisa manga curta () Jaqueta () Sandália
() Blusa de lã () Calça jeans () Tênis
() Camiseta () Calça comprida () Chinelo
() Regata tecido () Meia
() Casaco algodão () Bermuda

7. Com relação à sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?

() Com muito calor
() Com calor
() Levemente com calor
() Neutro
() Levemente com frio
() Com frio
() Com muito frio

8. Neste momento você prefere estar se sentindo:

() Bem mais aquecido
() Mais aquecido
() Um pouco mais aquecido
() Assim mesmo
() Um pouco mais refrescado
() Mais refrescado
() Bem mais refrescado

9. De que maneira você se encontra nesse momento?

() Confortável
() Razoavelmente confortável
() Desconfortável

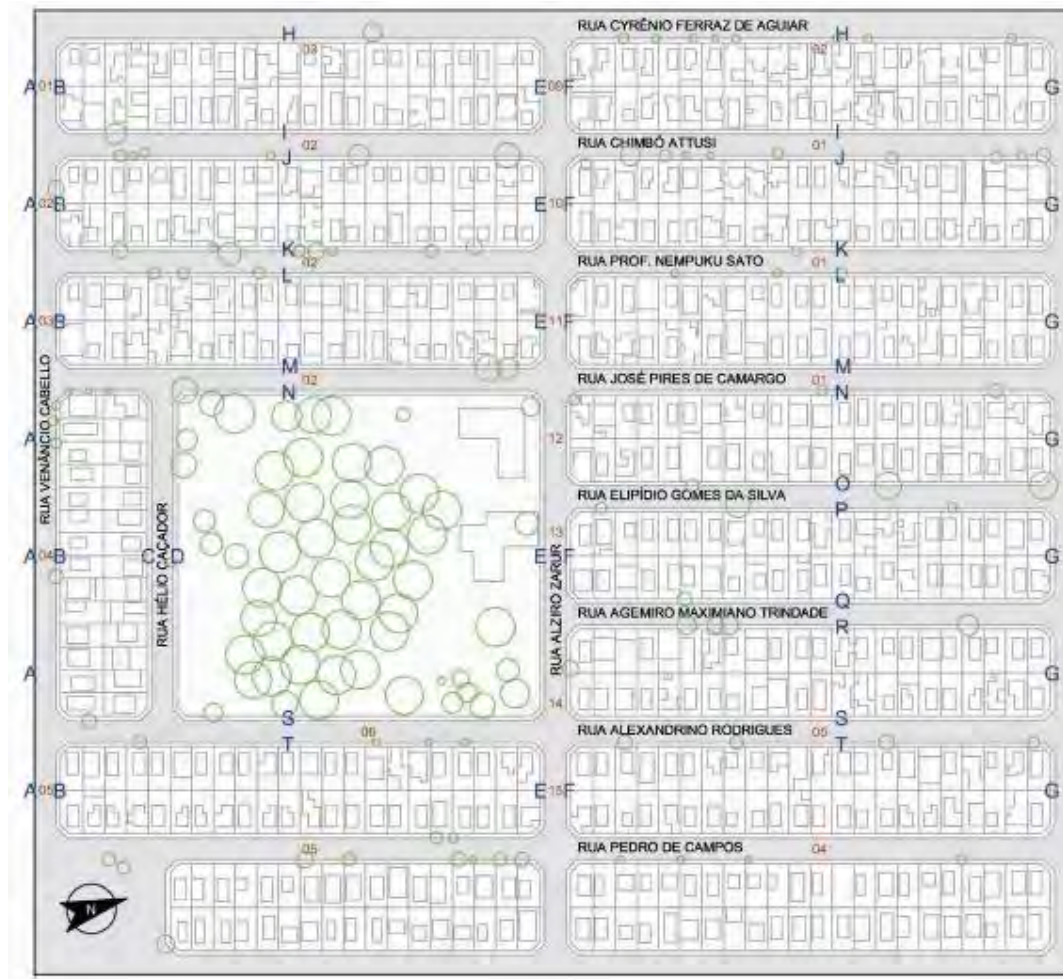
10. Durante esses dias tem preferido andar do lado da rua:

() Sombreado
() Ensolarado

11. Quais dos grupos de alimentos você consome com mais frequência:

() pães e massas () carne vermelha
() grãos – arroz, feijão,... () aves, peixes e ovos
() vegetais () doces
() frutas () gorduras e óleos
() leite e derivados

Apêndice 2: Área de estudo (480x444 metros) com nome de ruas, número de quadras e legenda de trajetos.



Apêndice 3: Tabela de respostas dos questionários aplicados aos pedestres.

n°	estação	período	lado rua	horário	data	1. idade	2. sexo	3. peso	4. entrevista sob	5. atividade (W/m²)	6. clo	7. sensação térmica	8. preferência	9. de que maneira se encontra	10. tem preferido andar
1	inverno	tarde	S5	14:50	28/07/09	53	M	62	sombra	58	0,64	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
2	inverno	tarde	T5	15:00	28/07/09	63	F	64	sombra	58	0,40	0	um pouco mais refrescado	confortável	ensolarado
3	inverno	tarde	T14	15:11	28/07/09	67	M	90	meia sombra	70	0,33	1	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
4	inverno	tarde	F14	15:13	28/07/09	56	M	92	meia sombra	70	0,48	1	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
5	inverno	tarde	O	15:22	28/07/09	67	F	70	meia sombra	58	0,34	0	mais refrescado	confortável	sombreado
6	inverno	tarde	O	15:25	28/07/09	36	M	71	sombra	110	0,54	-1	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
7	inverno	tarde	O	15:28	28/07/09	60	F	61	sombra	70	0,26	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
8	inverno	tarde	P	15:31	28/07/09	77	M	68	sombra	58	0,33	-1	assim mesmo	confortável	ensolarado
9	inverno	tarde	F12	15:34	28/07/09	24	F	51	sombra	200	0,22	3	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
10	inverno	tarde	M1	15:39	28/07/09	26	M	78	sombra	70	0,54	1	mais refrescado	confortável	ensolarado
11	inverno	tarde	H2	15:55	28/07/09	35	M	95	sombra	70	0,33	1	um pouco mais refrescado	desconfortável	ensolarado
12	inverno	tarde	F9	15:59	28/07/09	33	F	62	meia sombra	70	0,31	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
13	inverno	tarde	H3	16:05	28/07/09	27	M	70	sombra	58	0,57	2	mais refrescado	desconfortável	sombreado
14	inverno	tarde	I2	16:10	28/07/09	58	F	64	meia sombra	110	0,42	2	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
15	inverno	tarde	I2	16:13	28/07/09	55	F	65	meia sombra	110	0,20	2	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	ensolarado
16	inverno	tarde	K2	16:20	28/07/09	64	F	77	sombra	110	0,26	0	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
17	inverno	tarde	K2	16:24	28/07/09	17	F	57	meia sombra	58	0,41	0	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
18	inverno	tarde	N2	16:30	28/07/09	63	M	76	meia sombra	70	0,67	2	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
19	inverno	tarde	M2	16:33	28/07/09	30	F	80	sombra	58	0,39	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
20	inverno	tarde	T6	16:40	28/07/09	15	M	64	sombra	58	0,46	0	um pouco mais	razoav.	ensolarado

													refrescado	confortável	
21	inverno	tarde	S6	16:44	28/07/09	75	M	68	sombra	58	0,57	0	assim mesmo	confortável	sombreado
22	inverno	tarde	T05	15:11	31/07/09	60	M	87	meia sombra	58	0,53	0	um pouco mais aquecido	confortável	ensolarado
23	inverno	tarde	S5	15:15	31/07/09	16	F	63	meia sombra	110	0,67	3	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
24	inverno	tarde	Q	15:22	31/07/09	65	M	78	meia sombra	70	0,43	-1	assim mesmo	confortável	sombreado
25	inverno	tarde	L1	15:34	31/07/09	21	M	75	pleno sol	70	0,33	1	assim mesmo	razoav. confortável	ensolarado
26	inverno	tarde	K1	15:38	31/07/09	21	F	62	sombra	58	0,20	-1	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
27	inverno	tarde	J1	15:44	31/07/09	63	F	68	meia sombra	70	0,45	1	assim mesmo	confortável	sombreado
28	inverno	tarde	I2	15:52	31/07/09	51	M	66	sombra	70	0,49	-1	um pouco mais aquecido	confortável	ensolarado
29	inverno	tarde	I2	15:55	31/07/09	52	F	59	sombra	58	0,45	-1	assim mesmo	confortável	ensolarado
30	inverno	tarde	T6	16:08	31/07/09	48	M	80	sombra	58	0,52	0	um pouco mais aquecido	confortável	ensolarado
31	inverno	manhã	T05	11:20	03/08/09	65	M	68	meia sombra	58	0,62	-1	assim mesmo	confortável	sombreado
32	inverno	manhã	R	11:27	03/08/09	67	M	81	meia sombra	70	0,59	2	assim mesmo	confortável	sombreado
33	inverno	manhã	P	11:34	03/08/09	29	M	64	sombra	58	0,59	0	bem mais aquecido	confortável	ensolarado
34	inverno	manhã	F12	11:43	03/08/09	41	F	80	sombra	70	0,39	-1	um pouco mais aquecido	confortável	ensolarado
35	inverno	manhã	Q	10:48	04/08/09	74	F	65	pleno sol	70	0,55	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
36	inverno	manhã	Q	10:49	04/08/09	53	F	72	pleno sol	70	0,47	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
37	inverno	manhã	Q	10:51	04/08/09	64	M	67	pleno sol	110	0,55	-1	um pouco mais refrescado	confortável	ensolarado
38	inverno	manhã	G	10:57	04/08/09	37	F	79	meia sombra	70	0,26	-1	assim mesmo	confortável	ensolarado
39	inverno	manhã	F12	11:05	04/08/09	31	M	105	sombra	110	0,27	2	assim mesmo	confortável	sombreado
40	inverno	manhã	F12	11:07	04/08/09	60	F	53	sombra	70	0,75	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
41	inverno	manhã	F12	11:09	04/08/09	61	F	60	sombra	70	0,57	0	assim mesmo	confortável	sombreado
42	inverno	manhã	K1	11:14	04/08/09	53	M	80	meia sombra	110	0,59	2	assim mesmo	confortável	sombreado
43	inverno	manhã	L1	11:20	04/08/09	74	M	65	pleno sol	58	0,82	-1	assim mesmo	confortável	ensolarado
44	inverno	manhã	K2	11:41	04/08/09	52	M	100	pleno sol	70	0,18	2	assim mesmo	confortável	ensolarado
45	inverno	manhã	N2	11:49	04/08/09	60	M	88	sombra	58	0,55	-1	assim mesmo	confortável	ensolarado
46	inverno	manhã	N2	11:49	04/08/09	59	M	82	sombra	58	0,55	-1	um pouco mais aquecido	confortável	ensolarado
47	inverno	manhã	T6	11:59	04/08/09	40	M	70	sombra	58	0,62	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	ensolarado
48	inverno	tarde	R	15:41	07/08/09	64	F	58	pleno sol	110	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado

49	inverno	tarde	R	15:44	07/08/09	84	M	72	sombra	58	0,55	0	assim mesmo	confortável	ensolarado
50	inverno	tarde	N1	15:54	07/08/09	72	M	82	meia sombra	70	0,52	1	um pouco mais aquecido	razoav. confortável	sombreado
51	inverno	tarde	I1	16:09	07/08/09	49	F	83	sombra	58	0,22	3	bem mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
52	inverno	tarde	I2	16:11	07/08/09	54	F	70	sombra	110	0,45	2	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
53	inverno	tarde	L2	16:20	07/08/09	78	M	63	meia sombra	58	0,33	0	assim mesmo	razoav. confortável	sombreado
54	inverno	tarde	K2	16:23	07/08/09	26	F	80	sombra	58	0,20	3	assim mesmo	confortável	ensolarado
55	inverno	tarde	M2	16:26	07/08/09	58	F	66	sombra	70	0,25	2	assim mesmo	desconfortável	sombreado
56	inverno	tarde	M2	16:29	07/08/09	45	F	95	sombra	70	0,55	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
57	inverno	tarde	M2	16:31	07/08/09	60	F	74	sombra	70	0,53	0	assim mesmo	confortável	sombreado
58	inverno	manhã	S5	9:38	08/08/09	50	M	66	pleno sol	70	0,35	0	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
59	inverno	manhã	S5	9:40	08/08/09	52	M	65	pleno sol	110	0,27	0	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
60	inverno	manhã	R	9:47	08/08/09	39	F	45	sombra	70	0,42	0	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
61	inverno	manhã	E13	9:50	08/08/09	59	F	79	pleno sol	70	0,20	1	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
62	inverno	manhã	E12	9:54	08/08/09	24	M	67	meia sombra	58	0,61	0	assim mesmo	razoav. confortável	ensolarado
63	inverno	manhã	F13	9:56	08/08/09	41	F	140	sombra	70	0,37	0	um pouco mais aquecido	confortável	sombreado
64	inverno	manhã	O	10:01	08/08/09	37	M	67	pleno sol	70	0,33	0	um pouco mais aquecido	confortável	ensolarado
65	inverno	manhã	N1	10:04	08/08/09	42	F	75	pleno sol	110	0,26	0	assim mesmo	confortável	sombreado
66	inverno	manhã	F11	10:10	08/08/09	64	M	64	meia sombra	70	0,59	0	assim mesmo	razoav. confortável	sombreado
67	inverno	manhã	J2	10:21	08/08/09	53	F	68	sombra	70	0,48	0	assim mesmo	confortável	sombreado
68	verão	manhã	T5	10:00	03/02/10	29	F	82	meia sombra	110	0,29	3	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
69	verão	manhã	T5	10:10	03/02/10	31	M	74	pleno sol	110	0,18	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
70	verão	manhã	R	10:15	03/02/10	56	M	98	sombra	58	0,16	2	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
71	verão	manhã	Q	10:19	03/02/10	14	F	73	meia sombra	70	0,29	2	mais refrescado	desconfortável	sombreado
72	verão	manhã	Q	10:22	03/02/10	64	F	56	sombra	70	0,37	3	mais refrescado	desconfortável	sombreado

73	verão	manhã	R	10:26	03/02/10	28	F	52	sombra	70	0,35	2	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
74	verão	manhã	R	10:29	03/02/10	28	F	58	sombra	70	0,35	3	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
75	verão	manhã	E13	10:33	03/02/10	50	F	72	meia sombra	70	0,35	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
76	verão	manhã	F12	10:36	03/02/10	39	F	52	sombra	58	0,39	1	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
77	verão	manhã	N1	10:39	03/02/10	51	F	80	pleno sol	70	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
78	verão	manhã	N1	10:43	03/02/10	35	F	59	sombra	70	0,20	2	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
79	verão	manhã	N1	10:46	03/02/10	43	F	62	meia sombra	110	0,20	3	mais refrescado	desconfortável	sombreado
80	verão	manhã	L1	10:52	03/02/10	37	F	55	sombra	58	0,20	3	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
81	verão	manhã	K1	11:00	03/02/10	50	F	60	meia sombra	110	0,20	1	mais refrescado	desconfortável	sombreado
82	verão	manhã	K2	11:03	03/02/10	49	F	67	meia sombra	70	0,20	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
83	verão	manhã	K2	11:06	03/02/10	70	M	67	sombra	58	0,18	0	assim mesmo	confortável	sombreado
84	verão	manhã	N2	11:13	03/02/10	56	M	81	meia sombra	110	0,27	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
85	verão	manhã	meio bosque	11:18	03/02/10	25	M	81	sombra	58	0,18	1	assim mesmo	confortável	sombreado
86	verão	manhã	I2	11:29	03/02/10	41	F	63	sombra	110	0,47	3	mais refrescado	desconfortável	sombreado
87	verão	tarde	S6	16:02	03/02/10	77	M	59	sombra	58	0,52	1	bem mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
88	verão	tarde	A4	16:10	03/02/10	77	M	92	sombra	58	0,27	2	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
89	verão	tarde	A4	16:13	03/02/10	26	F	54	meia sombra	110	0,39	3	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
90	verão	tarde	A4	16:19	03/02/10	76	F	60	sombra	58	0,26	0	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
91	verão	tarde	M2	16:24	03/02/10	14	F	45	sombra	110	0,20	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
92	verão	tarde	M2	16:30	03/02/10	74	F	80	sombra	58	0,20	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
93	verão	tarde	E	16:32	03/02/10	42	M	75	pleno sol	110	0,27	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
94	verão	tarde	E	16:35	03/02/10	26	F	53	pleno sol	110	0,35	3	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
95	verão	tarde	E	16:37	03/02/10	16	F	69	meia sombra	110	0,47	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado

96	verão	tarde	F12	16:43	03/02/10	79	M	60	meia sombra	58	0,54	1	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
97	verão	tarde	F12	16:45	03/02/10	32	M	71	meia sombra	110	0,54	3	mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
98	verão	tarde	F12	16:48	03/02/10	65	M	68	meia sombra	110	0,29	0	assim mesmo	confortável	sombreado
99	verão	tarde	E13	16:52	03/02/10	65	F	72	sombra	70	0,35	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
100	verão	tarde	E13	16:54	03/02/10	21	F	60	meia sombra	110	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
101	verão	tarde	E13	16:57	03/02/10	67	F	79	meia sombra	110	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
102	verão	manhã	S6	10:05	05/02/10	75	M	71	meia sombra	70	0,27	2	assim mesmo	razoav. confortável	sombreado
103	verão	manhã	M2	10:16	05/02/10	80	F	60	sombra	70	0,85	-1	assim mesmo	confortável	sombreado
104	verão	manhã	F13	10:23	05/02/10	32	F	71	meia sombra	70	0,34	0	bem mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
105	verão	manhã	F13	10:25	05/02/10	54	F	88	meia sombra	70	0,39	1	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
106	verão	manhã	F13	10:27	05/02/10	66	F	84	sombra	110	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
107	verão	manhã	F12	10:32	05/02/10	54	F	50	sombra	110	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
108	verão	manhã	F12	10:35	05/02/10	68	M	88	sombra	110	0,49	0	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
109	verão	manhã	P	10:44	05/02/10	69	F	68	sombra	70	0,20	0	bem mais refrescado	confortável	sombreado
110	verão	manhã	P	10:46	05/02/10	57	M	74	sombra	58	0,27	2	assim mesmo	confortável	sombreado
111	verão	manhã	P	10:50	05/02/10	51	M	71	sombra	110	0,33	2	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
112	verão	manhã	O	10:53	05/02/10	51	M	73	meia sombra	110	0,54	2	assim mesmo	razoav. confortável	ensolarado
113	verão	manhã	P	10:57	05/02/10	77	M	75	sombra	58	0,33	1	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
114	verão	manhã	E13	11:03	05/02/10	65	M	63	meia sombra	58	0,47	2	mais refrescado	confortável	sombreado
115	verão	manhã	E13	11:06	05/02/10	60	F	58	meia sombra	110	0,39	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
116	verão	tarde	T5	15:41	05/02/10	14	M	60	meia sombra	110	0,35	2	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
117	verão	tarde	S5	15:43	05/02/10	40	F	65	sombra	110	0,41	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
118	verão	tarde	T5	15:46	05/02/10	15	F	68	pleno sol	110	0,39	1	um pouco mais refrescado	confortável	sombreado
119	verão	tarde	S5	15:50	05/02/10	46	M	100	sombra	58	0,18	3	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
120	verão	tarde	R	15:54	05/02/10	63	M	58	meia sombra	58	0,33	3	um pouco mais	razoav.	sombreado

													refrescado	confortável	
121	verão	tarde	R	15:58	05/02/10	60	F	75	meia sombra	70	0,35	2	mais refrescado	confortável	sombreado
122	verão	tarde	R	16:04	05/02/10	67	M	81	sombra	110	0,27	2	um pouco mais refrescado	desconfortável	sombreado
123	verão	tarde	C	16:15	05/02/10	20	M	85	meia sombra	110	0,54	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
124	verão	tarde	S6	16:24	05/02/10	40	M	71	sombra	58	0,20	1	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
125	verão	tarde	F15	16:28	05/02/10	35	F	74	meia sombra	70	0,22	2	um pouco mais refrescado	razoav. confortável	sombreado
126	verão	tarde	F12	16:35	05/02/10	52	F	77	sombra	70	0,34	3	bem mais refrescado	confortável	sombreado
127	verão	tarde	F12	16:38	05/02/10	17	F	62	sombra	58	0,20	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado
128	verão	tarde	F12	16:41	05/02/10	61	F	58	sombra	70	0,34	3	bem mais refrescado	desconfortável	sombreado