



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

## **SIMULAÇÃO DA SENSÇÃO TÉRMICA DO PEDESTRE**

**Camila M. Nakata (1); Léa C. L. de Souza (2); João R. G. de Faria (3)**

(1) Mestre, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, camila.nakata@usc.br  
Universidade do Sagrado Coração, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas,  
Bauru-SP, tel.: (14) 2107-7000.

(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, leacrist@ufscar.br  
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e  
Tecnológicas, São Carlos-SP, 13564-070, tel.: (16) 3351-9692.

(3) Doutor, Professor do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, joaofari@faac.unesp.br  
Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 17033-360, tel.: (14) 3103-6059.

### **RESUMO**

Abordando o campo da ergonomia ambiental, esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do ambiente térmico urbano no comportamento do pedestre. Para isso, o estudo foi dividido em duas etapas básicas: levantamentos e simulação. Na primeira etapa foram realizadas medições microclimáticas, observações e aplicação de questionários com os pedestres do local de estudo. Com base nos dados levantados, foram realizadas simulações. Os resultados permitiram identificar as diferentes características térmicas geradas pelo desenho urbano da área de estudo e suas influências no comportamento do pedestre.

Palavras-chave: conforto térmico, simulação computacional, ergonomia ambiental.

### **ABSTRACT**

Approaching the field of the environmental ergonomics, this research aims to evaluate the influence of the urban thermal environment in the pedestrian behavior. For this, the study was divided into two basic steps: surveys and simulation. In the first step microclimatic measurements, field observations and application of questionnaires with the pedestrians of the study area were carried on. Based on these data, simulations were performed. The results allowed the identification of different thermal characteristics generated by the urban design of the study area and its influences on the behavior of the pedestrians.

Keywords: thermal comfort, computational simulation, environmental ergonomics.

## 1. INTRODUÇÃO

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. 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.

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 constitui-se no principal alerta a despertar o interesse para a elaboração de estudos do mesmo (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003).

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

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 relação humana diante destas variáveis e expressar a relação entre causa e efeito com o emprego de um único valor numérico.

Fanger (1972) definiu um critério, internacionalmente utilizado, 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), que consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio (valores negativos) e ao calor (valores positivos). 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. No entanto, como afirmam Voltani e Labaki (2009), o uso do PMV e PPD em espaços externos deve ser cauteloso, já que pode gerar erros consideráveis nos resultados da avaliação térmica, sendo constatado em seu estudo diferenças na correlação entre os cálculos de PMV e os votos de sensação térmica devido à interpretação das atividades desenvolvidas, ao tipo de questionário e ao controle dos votos da sensação térmica.

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.

Costa Filho et. al. (2009) constataram em seu estudo a influência de diferentes tipos de morfologia urbana na intensidade de temperatura do ar, sendo que as maiores médias de temperaturas do ar foram registradas em locais que apresentavam alta densidade construída, pouca cobertura vegetal e alto índice de pavimentação do solo e que, a verticalização, em algumas situações, pode reduzir as temperaturas do ar através do sombreamento dos espaços urbanos e possibilidade de maior permeabilidade à ventilação natural.

Em pesquisas sobre as influências urbanas nos elementos climáticos, programas computacionais são ferramentas que hoje apresentam grande potencial de aplicação para planejadores urbanos, como pode ser verificado no trabalho de Katzschner et. al. (2007). Nos estudos de conforto térmico é comum o uso de ferramentas computacionais para armazenamento e simulações de informações climáticas e ambientais. Nesse contexto, destaca-se o ENVI-met, um freeware (disponível em <http://envi-met.com/>) desenvolvido por Michael Bruse na Alemanha. Esse se configura 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 esse modelo para a análise e simulação do espaço urbano. Também aplicando a mesma ferramenta, Lahme e Bruse (2003) realizaram medições locais do clima e dados da qualidade do ar, além de simulações das condições climáticas nas posições selecionadas e concluíram que o ENVI-met reproduz os dados observados com suficiente precisão.

Uma das associações que podem ser feitas ao modelo para análise do ambiente térmico urbano é a

técnica das simulações Multi-Agent System. Para Bruse (2007) ela pode colaborar na investigação do impacto das condições do microclima no conforto térmico em 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 as rotas preferidas pelos usuários, suas sensações térmicas determinadas posições e como as mudanças na estrutura urbana modificam o fluxo dos pedestres e suas opiniões.

A ferramenta BOTworld 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.

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 pedestres virtuais (denominados BOTs) e a escolha de rotas alternativas 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.

Integrando a aplicação dessas duas ferramentas e abordando o campo da ergonomia ambiental, essa pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do ambiente térmico urbano no comportamento e sensação térmica do pedestre. Para isso, o estudo foi dividido em três etapas: levantamentos, verificação/validação e simulações em softwares.

## **2. OBJETIVO**

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.

## **3. METODOLOGIA**

Para a metodologia adotada, os seguintes procedimentos metodológicos foram realizados: levantamentos; verificação e validação de modelo computacional; simulações para análise do ambiente térmico e comportamento do pedestre.

Para isso, a etapa de levantamento inclui a escolha da área de estudo e sua caracterização; levantamentos sobre sensações e comportamentos de pedestres simultaneamente com o monitoramento de dados climáticos. A etapa de verificação e validação compreende testes prévios de simulação computacional, organização e preparação dos dados de entrada para as simulações, para a comparação entre resultados reais e simulados. Nesse caso, os softwares utilizados foram o ENVI-met, para a simulação do ambiente térmico urbano, e o BOTworld, para a simulação das rotas de pedestres virtuais. Por fim, as simulações em dias de melhor calibração do modelo, subsidiam a análise dos resultados, conforme detalhadamente descrito na pesquisa completa constante em Nakata (2010).

### **3.1. Área de estudo**

A área de estudo foi selecionada conforme dimensões e características de compatibilidade de simulações com os softwares aplicados. A área de estudo selecionada (figura 1) encontra-se na cidade de Bauru-SP, Brasil, tendo 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. Na seleção de um fragmento da área de estudo, foram consideradas as seguintes características: área plana, com residências térreas ou de poucos pavimentos e presença de uma área verde significativa.



Figura 1 – Foto aérea da área selecionada para o estudo. Fonte: adaptado do Google Earth.

### 3.2. Levantamentos

Foram realizados os seguintes levantamentos: físico-espacial para representação do local; entrevistas e observações com pedestres na área de estudo; monitoramento de dados climáticos locais por instrumentos e obtenção de dados climáticos gerais através da estação meteorológica local.

O levantamento físico-espacial foi promovido através da utilização de imagens de satélite e realização de visitas in loco. Desta forma, toda a malha urbana da fração estudada, edificações e vegetação puderam ser representadas.

As entrevistas com os pedestres foram realizadas em períodos da manhã e da tarde utilizando-se a aplicação de questionário de sensação térmica, 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 de trajetos dos pedestres pelo bairro. Ambos os levantamentos foram realizados dentro do mesmo intervalo para o qual foi realizado o levantamento climático. 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.

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. As medições foram realizadas por instrumentos instalados em quatro diferentes pontos selecionados na área de estudo. Foram utilizados dois tipos de instrumentos: uma estação meteorológica e três medidores de temperatura data-loggers da marca HOBO Pro Series (figura 2). A altura de medições para a temperatura do ar foi de 1,5m para o ponto da estação meteorológica e a 1,80 m para os data-loggers, para a umidade relativa foi de 1,5m e para a velocidade do vento foi de 3m.

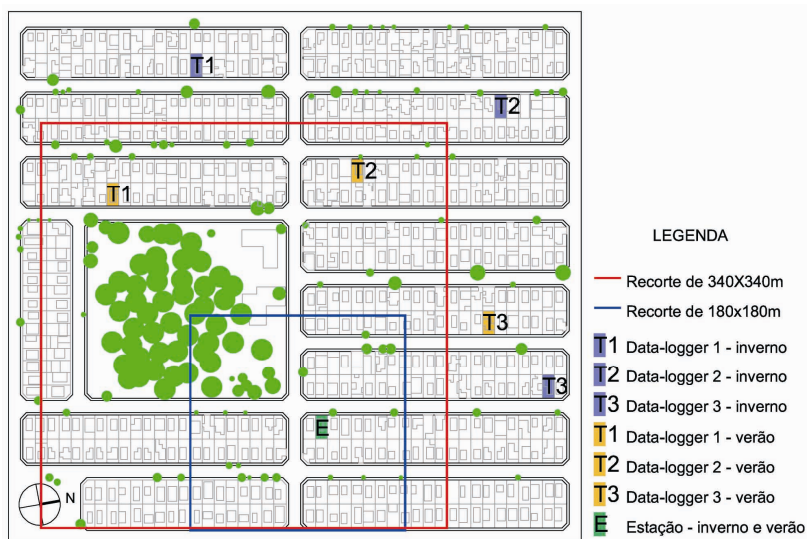


Figura 2 – Área de estudo inicial de 480x444m, perímetro dos recortes de 340x340m e 180x180m e localização dos instrumentos dos monitoramentos no inverno e verão.

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). Quando os dias no intervalo de coleta de dados apresentaram precipitação, esses foram descartados da análise.

### 3.3. Simulação e validação dos modelos

Nessa etapa foi feita uma comparação entre dados reais e dados simulados. 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.

Para isso foram inseridos como valores de condições ambientais de entrada do programa, os valores médios reais de um intervalo de dias estáveis. 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 à avaliação de fidelidade dos dados de saída do ENVI-met.

Após várias simulações de temperatura do ar com o ENVI-met, foram verificadas as compatibilidades entre as curvas simuladas e as reais. A figura 3 mostra a diferença horária absoluta média geral (°C) entre dados simulados e reais. Foi percebido que o programa proporcionou melhores resultados para o período matutino em relação ao vespertino e noturno e isso pode ter algumas explicações, como: o fato dos sensores terem sido instalados do lado de dentro dos lotes, podendo ter ocorrido maior acúmulo de calor no período vespertino e noturno pela influência dos materiais do entorno, o que acaba não sendo simulado pelo modelo devido ao desenho simplificado das edificações e impossibilidade de representação detalhada; ao tipo de solo considerado na edição do arquivo de área e ao fato do modelo simular de forma mais generalizada.

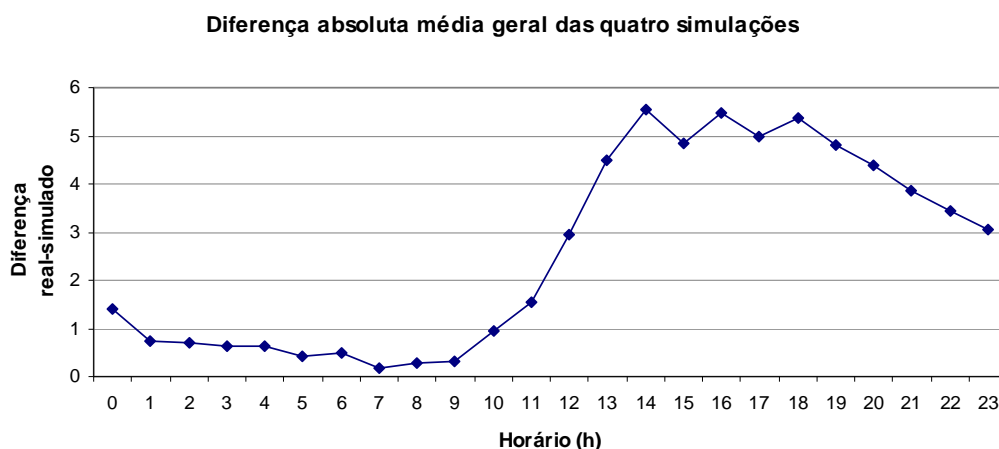


Figura 3- Diferença horária absoluta média geral (em °C) das quatro simulações e horários sinalizados escolhido para as simulações com o BOTworld.

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. O ajuste realizado no ENVI-met serviu para a seleção de melhores arquivos para simulação com o BOTworld. Foi escolhido o horário das 10h por ser o mais condizente com os horários em que foram realizadas as entrevistas com os pedestres do bairro no período da manhã.

O software ENVI-met possui interface com a ferramenta ‘Leonardo 3.75’ que possibilitou a representação de mapas de temperatura do ar, ação dos fluxos de vento e umidade relativa a partir de seção de 1,60m de altura.

O BOTworld utiliza um arquivo de saída do ENVI-met para simular a trajetória dos pedestres. Assim, após a verificação da fidelidade do ENVI-met e calibração do modelo, foi possível verificar o melhor horário de simulação, servindo este de base para a simulação com o BOTworld.

O BOTworld apresenta resultados, tanto para a malha toda em forma de mapas, quanto para cada ‘bot’ (pedestre virtual) específico em forma numérica e gráfica. Dentre os diversos parâmetros do software, a análise aqui realizada se baseia especificamente nos valores do índice PMV.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Levantamentos de dados climáticos e de sensações e comportamento de pedestres

Apresenta-se na figura 4, conforme descrito na metodologia, os dados coletados na área de estudo por quarto instrumentos do levantamento realizado no período do inverno e as curvas dos dias estáveis selecionados para o estudo.

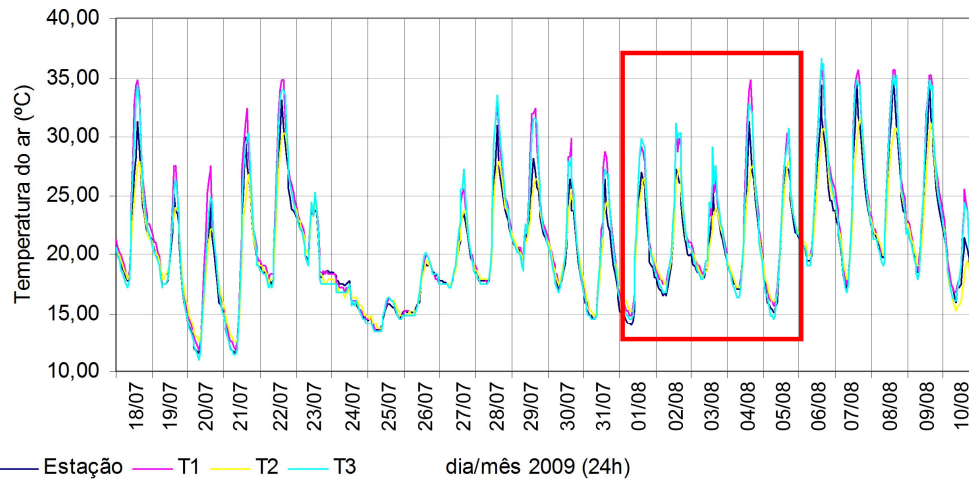


Figura 4 – Faixa selecionada de dados climáticos de dias considerados estáveis do levantamento de inverno para uso na simulação computacional.

No mesmo período em que foi realizado o monitoramento de dados climáticos, foram aplicados questionários com os pedestres do bairro. O gráfico abaixo (figura 5) representa as respostas quanto a sensação térmica, notando-se que, no verão, houve um maior número de respostas para sensação de ‘muito calor’ (+3) e no inverno para a sensação de neutralidade (0).

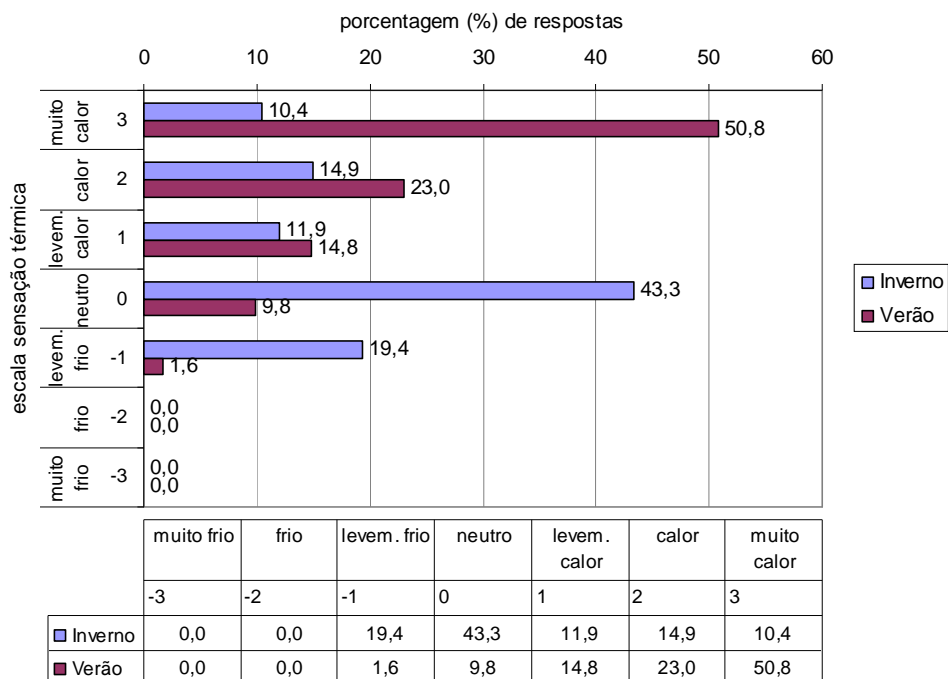


Figura 5 – Gráfico de respostas da questão de sensação térmica do questionário aplicado em levantamentos com pedestres.

Quanto à observação de trajetos dos pedestres, não foi possível obter qualquer afirmação de relação com a configuração urbana, por se tratar de um bairro de pouco trânsito de pessoas e veículos, sendo somente mais intenso na rua comercial. Outro fator para os resultados mais homogêneos é a existência de arborização espalhada em ambos os lados da rua.

## 4.2. Simulação para prever microclima das ruas

Observa-se na figura 6 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 entre as edificações.

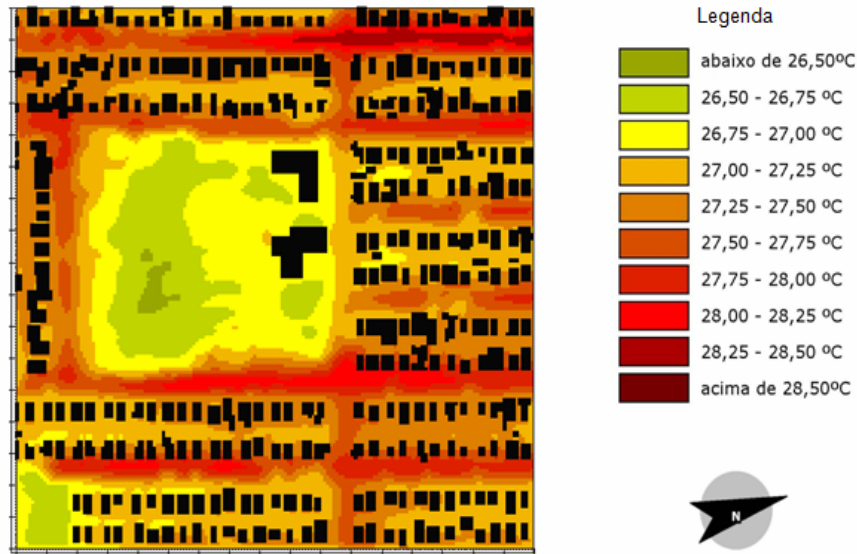


Figura 6 – Mapa de temperatura do ar simulado para 10h de um dia de verão pelo ENVI-met.

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 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.

## 4.3. Simulação para prever sensação e comportamento dos pedestres

Conforme a figura 7, a análise aqui realizada se baseia especificamente nos valores do índice PMV, ilustrando-se a situação de verão.

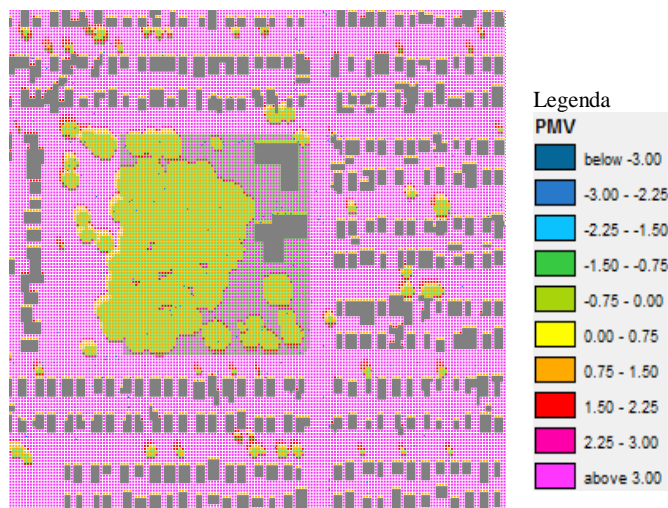


Figura 7 – Índice PMV simulado para 10h de verão pelo software BOTworld.

Nessa situação simulada houve um predomínio em quase toda a área de  $PMV > 3$ , que indica um voto médio predito de sensação de muito calor. Somente sob as copas das árvores do bairro foi identificado voto de neutralidade térmica (0, zero). Observa-se que quando comparados esses resultados ao levantamento por questionário com pedestres reais quanto à sensação térmica, existe certa concordância entre eles.

Outra forma de se explorar a ferramenta é analisar resultados específicos de sensações e comportamentos de cada 'bot'. Observa-se, então, que na figura 8 foram selecionados dois 'bots' que demonstraram diferentes comportamentos ao fazerem a escolha por diferentes trajetos.

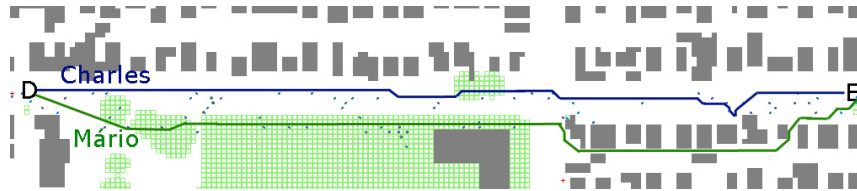


Figura 8 – Trajetos D-E escolhidos por 'Mário' e 'Charles' na simulação de inverno pelo software BOTworld.

Analisando-se os gráficos de temperatura e a opinião de 'Mário', que adotou um caminho sob as sombras das árvores, presença de vegetação do bosque e entre as edificações até chegar ao seu destino, notou-se que sua temperatura de pele foi gradativamente e levemente se refrescando, enquanto que a sua opinião sobre a situação local foi de sombreado a muito sombreado.

Já 'Charles', que preferiu por um caminho mais linear, caminhando sobre a área asfaltada, teve sua temperatura de pele levemente elevada no decorrer do percurso e uma opinião de situação local variando de ensolarado a muito ensolarado.

Em relação à análise de sensação térmica de pedestres, os pontos ilustrados na figura 9 representam os locais em que foram entrevistados pedestres no horário entre 10h e 11h de verão, sendo posteriormente simulados os 'bots' caminhando pelo modelo no BOTworld, identificando-se suas opiniões quando estavam localizados no grid correspondente ao ponto analisado. Os valores de PMV então obtidos através das entrevistas com pedestres comparados com as respostas dos 'bots' para os mesmo pontos encontram-se na Tabela 1.

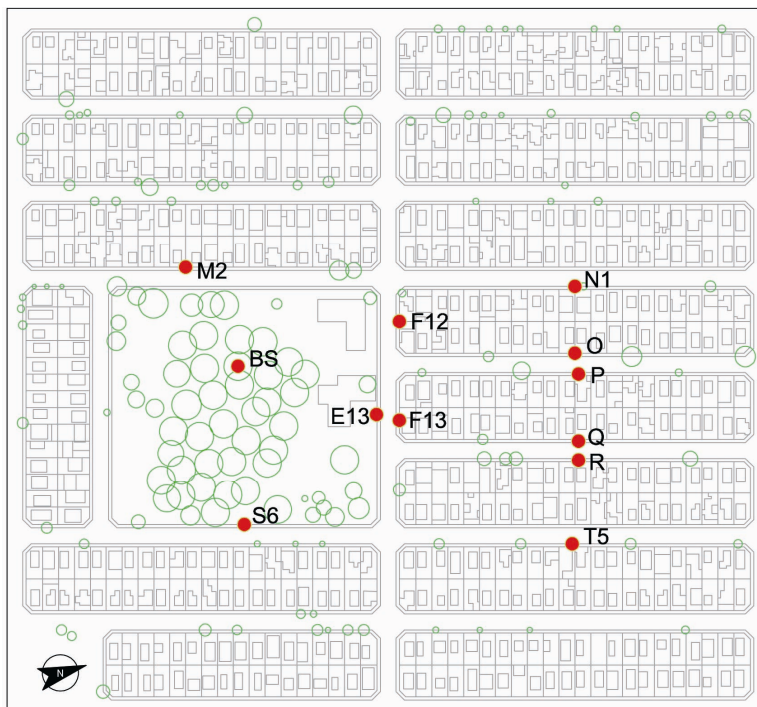


Figura 9 – Localização dos pontos para análise de opiniões entre pedestres e 'bots'.



Tabela 1 – Respostas de pedestres em entrevistas (PMV) 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	Muito calor (+3)	Muito quente (1.00) Quente (1.00) Neutro (0.00) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	F12	Neutro, levemente com calor e com muito calor (0, +1, +3)	Muito quente (0.71) Quente (0.84) Neutro (0.16) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	F13	Neutro, com calor, com muito calor (0, +1, +3)	Muito quente (0.68) Quente (0.82) Neutro (0.18) Frio (0.00) Muito frio (0.00)
M2	Levemente com frio (-2)	Muito quente (0.00) Quente (0.00) Neutro (0.05) Frio (0.95) Muito frio (0.91)	BS	Levemente com calor (+1)	Muito quente (0.00) Quente (0.00) Neutro (0.00) Frio (1.00) Muito frio (1.00)	N1	Com calor, com muito calor (+2, +3)	Muito quente (0.68) Quente (0.82) Neutro (0.18) Frio (0.00) Muito frio (0.00)
O	Com calor (+1)	Muito quente (0.67) Quente (0.82) Neutro (0.18) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	P	Neutro, levemente com calor e com calor (0, +1, +2)	Muito quente (0.26) Quente (0.51) Neutro (0.49) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	Q	Com calor, com muito calor (+2, +3)	Muito quente (0.71) Quente (0.84) Neutro (0.16) Frio (0.00) Muito frio (0.00)
R	Com calor e com muito calor (+2, +3)	Muito quente (0.61) Quente (0.78) Neutro (0.22) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	S6	Com calor (+2)	Muito quente (1.00) Quente (1.00) Neutro (0.00) Frio (0.00) Muito frio (0.00)	T5	Com muito calor (+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 positivos, neutro e negativo. O programa conseguiu obter resultados bem próximos aos obtidos em entrevistas com pedestres reais. As diferenças encontradas na correlação entre o cálculo de PMV e os votos de sensação térmica, possivelmente, devem ser provenientes dos fatores já citados no estudo de Voltani e Labaki (2009) e, além disso, observa-se que resultados mais refinados poderiam ser obtidos realizando-se simulações mais específicas com tentativas de coincidir algumas características como, por exemplo, idade e gênero dos ‘bots’ com os dos pedestres entrevistados. Para essa simulação foram adotados pedestres do tipo padrão pelo programa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 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 aos caminhar em ambientes externos. Através das simulações, reforçou-se o papel da vegetação na melhoria da qualidade do ambiente térmico.

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 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, desde que seja promovido o ajuste necessário.

O BOTworld possibilitou a avaliação dos pedestres virtuais nos cenários oferecidos para um dos horários de melhor ajuste e que coincidia com o horário de realização de parte das entrevistas. Os resultados de sensação e satisfação térmica simulados concordam com os resultados obtidos em entrevistas, apesar de algumas diferenças devido à padronização de algumas características dos pedestres virtuais. No entanto, 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.

Os resultados contribuem para futuras pesquisas da área e para a preocupação de um melhor planejamento urbano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- COSTA FILHO, Amando C.; ARAÚJO, Virgínia M. D.; COSTA, Angelina D. L.; FIGUEIREDO, Ailana M. M.; FURTADO, Viviane, S. **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.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineers**. USA; Kingsport Press, 1972, 243p.
- 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 24<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Proceedings... Singapore, 103-108 p., 2007.
- 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](http://www.labee.ufsc.br/pos-graduacao/ecv_4200/ecv4200_doc.html). Florianópolis, 2002.
- MONTEIRO, Carlos de Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo, Contexto, 2003.
- MORAES, Anamaria de; MONT'ALVÃO, Cláudia. **Ergonomia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.
- NAKATA, Camila Mayumi. **Comportamento do Pedestre e Ambiente Térmico Urbano**. Dissertação de Mestrado em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (UNESP-Bauru). Bauru, 2010.
- 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](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.
- 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.
- 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.
- 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.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos 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.