



ação ergonômica, volume5, número2

Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano

Camila Mayumi Nakata

Graduada em Arquitetura e Urbanismo

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Design – Unesp-Bauru

camilanakata@yahoo.com.br

Léa Cristina Lucas de Souza

Livre-Docente

Professor do Departamento de Arquitetura, Paisagismo e Urbanismo – Unesp-Bauru

leacrist@faac.unesp.br

João Roberto Gomes de Faria

Doutor

Professor do Departamento de Arquitetura, Paisagismo e Urbanismo – Unesp-Bauru

joaofari@faac.unesp.br

Resumo: Este artigo apresenta um estudo piloto realizado para a investigação da ergonomia urbana sob o ponto de vista do pedestre em relação ao conforto térmico. Para isso é feita uma avaliação térmica de uma fração urbana através de simulações no modelo ENVI-met, associada à aplicação do programa BOTworld.

Palavra-chave: Ergonomia urbana, ergonomia ambiental, conforto térmico

Abstract: *This paper presents a pilot study carried out for an urban ergonomic investigation, considering the pedestrian point of view in relation to the thermal comfort. Therefore, a thermal evaluation of an urban fraction is performed, by applying simulations in the ENVI-met model, associated with the application of the BOTworld software.*

Key-words: *Urban ergonomics, environmental ergonomics, thermal comfort*



1. Introdução

Dentro dos aspectos estudados pela ergonomia urbana, o conforto térmico do pedestre é uma das questões mais importantes para que se alcance a melhoria da qualidade de vida urbana. Os estudos voltados à avaliação do conforto térmico em espaços externos possibilitam um aperfeiçoamento do planejamento para os espaços urbanos, ou seja, o aprimoramento do design ergonômico ambiental.

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, estudo 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.

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. Na busca por uma metodologia para o estudo do conforto humano em espaços abertos, uma das técnicas atualmente adotadas é a simulação

através da aplicação de programas computacionais.

Katzschner et. al. (2007), por exemplo, utiliza a ferramenta ENVI-met para a análise e simulação do espaço urbano. O ENVI-met é um *freeware* 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. Aplicando esse mesmo modelo, Lahme e Bruse (2003) realizaram medições locais do clima e dados da qualidade do ar, além de simulações das condições climáticas nas posições selecionadas. Aqueles 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 boa precisão.

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 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 sentido 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 (2005) 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.

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.

2. Objetivo

O objetivo deste estudo é identificar influências do desenho urbano para a ergonomia urbana no tocante ao conforto térmico de pedestre, através da simulação promovida pela associação dos softwares ENVI-met e BOTworld. Visa-se uma investigação voltada para o design ergonômico do espaço urbano.

3. Materiais e Métodos

A metodologia é composta por duas etapas principais: uma é a de adequação dos dados simulados para o ambiente térmico urbano de uma área específica, através do *freeware* ENVI-met; e outra, é a de identificação da sensação térmica promovida por esta mesma área para



pedestres virtuais. A primeira fase tem seus procedimentos baseados na comparação entre dados reais de temperatura do ar de um ponto de referência e dados simulados pelo modelo ENVI-met, verificando-se assim a precisão do programa. Na segunda fase, para um determinado horário em que os dados simulados de temperatura da primeira fase seja similar ao real, é promovida uma simulação com o BOTworld para alguns parâmetros do conforto térmico de pedestres, permitindo identificar a relação entre o desenho urbano e o conforto dos pedestres.

A área de estudo encontra-se na cidade de Bauru, interior do estado de São Paulo, e apresenta clima quente, com chuvas no verão e secas no inverno. Levou-se em consideração uma fração urbana que vem sendo estudada há alguns anos pelo Núcleo de Conforto Ambiental da UNESP-Bauru, o bairro Vila Cidade Universitária. Em pesquisa anteriormente realizada por Nakata e Souza (2007), foi realizada coleta de dados de temperatura de ar para quarenta pontos localizados na malha urbana desse bairro. Para este estudo foi selecionado um desses pontos como referência, servindo de base para as simulações computacionais. Desse ponto foram coletados dados de temperatura no dia 1 de março de 2006. A área correspondente ao ponto, representada no ENVI-met, possui as dimensões 160x160m e edificações térreas.

Os levantamentos foram realizados através de *data-loggers* fixados em superfícies de postes de energia elétrica, voltados para sul e com proteção contra a radiação solar direta, fixados a uma altura aproximada de 2m. As medições correspondem a dias com céu claro e baixa velocidade do ar (abaixo de 2 m/s).

Estes registros foram selecionados como referência para comparação entre temperaturas reais e aquelas a serem simuladas pelo ENVI-met. Além disso, dados de velocidade do vento, direção do vento e umidade relativa a 2m do solo foram obtidas através do IPMET (Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP-Bauru, acessado em: <http://www.ipmet.unesp.br/>).

A umidade específica a 2500m foi acessada pelo site da *University of Wyoming* (<http://weather.uwyo.edu/upperair/>), considerando-se uma média dos valores para Belo Horizonte (Confins) e São Paulo (Marte Civ.), por não existirem dados específicos para a cidade de Bauru. Já a temperatura inicial da atmosfera dada é a temperatura potencial calculada pela média da temperatura do ar fornecida para aquele dia pelo IPMET-Bauru. A rugosidade, por sua vez, foi calculada de acordo com Mortensen et. al. (1993): $z_0 = 0.5 \times [(h \times S)/AH]$. Onde “h” corresponde à altura dos obstáculos, “S” corresponde à área da fachada exposta ao vento e “AH” corresponde à área total de construção.



Os dados de configuração de entrada do ENVI-met, conforme acima explicitados, foram definidos:

- Velocidade do vento: 2 m/s
- Direção do vento: 90° (leste)
- Rugosidade: 0,5
- Temperatura inicial da atmosfera: 299,89 K
- Umidade específica a 2500m: 8 g/kg
- Umidade relativa a 2m: 66%

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.

Para a simulação no BOTworld é necessária a importação de dois arquivos para o programa: o arquivo da área desenhada pelo próprio ENVI-met e o arquivo específico de compatibilidade com o BOTworld, também gerado pelo próprio ENVI-met.

O BOTworld exige alguns dados de configuração para executar a simulação. Dentre esses, alguns se referem à própria comunidade, grupo de pedestres, que irão circular pela área. Para essa simulação no BOTworld, foram adotados pedestres padrões com os seguintes parâmetros: 35 anos de idade, 1,80m de altura, 75 kg, BMI (índice de massa corpórea) de 23,1 e valores médios de velocidade de 1,34 m/s e de

clo (valor de resistência da roupa) de 0,5. Assim, foram selecionados dois pedestres virtuais, “Keith” e “Carlos”, que fizeram trajetos diferentes, a fim de ser analisada a diferença da sensação e conforto térmicos entre os dois pedestres virtuais.

O *software* gera vários dados de saída, tanto para toda a malha, quanto individuais. Para essa pesquisa foram examinados somente os dados individuais de temperaturas do corpo e pele dos pedestres e a opinião deles em relação ao seu estado interno e a situação do ambiente. Esses dados obtidos dos pedestres foram relacionados com os respectivos trajetos realizados, com os valores de velocidade do vento e com o mapa de temperatura gerado pelo ENVI-met (figura 2).

4. Análise dos resultados e discussões

Para a estabilização dos resultados do ENVI-met foram simuladas nove curvas diárias de temperatura. Observou-se que na sétima curva de temperatura diária simulada para o ponto de referência, houve maior aderência entre a configuração da curva real e da simulada, conforme demonstrado na figura 1. No 9º dia simulado, nota-se uma estabilização da curva gerada pelo programa, porém com um valor médio de 1,7°C mais elevado que a curva de temperatura real.

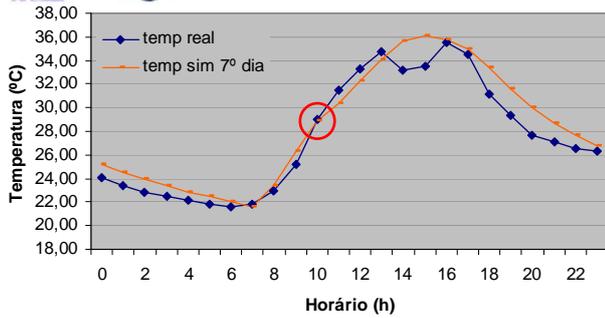


Figura 1- Gráfico comparativo da curva de temperaturas medidas (real) e a curva simulada no 7º dia de iteração gerado pelo ENVI-met.

Para o ponto de referência em questão, a temperatura real tende a atingir maiores valores entre 13h e 17h, ocorrendo no dia da medição uma alteração na curva de desempenho entre os horários de 15h e 16h. Este comportamento pode estar relacionado à passagem de nuvens e redução da incidência solar. Para os dados simulados, como essa variação de condições de céu não representa um dado de entrada, o programa tende a acompanhar uma curva senoidal padrão, ignorando eventuais alterações ocorridas nas condições do céu.

A comparação entre os dados simulados e medidos permite concluir que também para as condições climáticas brasileiras é possível adotar com certa precisão o ENVI-met como instrumento para análise climática do ambiente urbano, desde que sejam tomadas as devidas precauções quanto à estabilidade do programa.

No caso aqui estudado, a curva de temperatura para o 7º dia serve como referência para a análise do conforto do pedestre. Através da

análise dessa curva, conforme pode ser observado ainda na figura 1, o horário de maior semelhança entre dados simulados e medidos ocorre às 10h da manhã. Nesse caso, portanto, esse foi o horário adotado para a simulação com o BOTworld. A figura 2 mostra a representação da área e sentido do norte, assim como a temperatura do ar na malha urbana e os trajetos realizados pelos dois pedestres analisados.

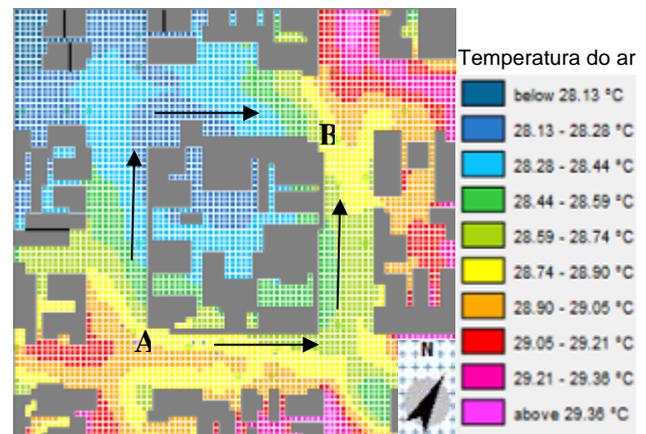


Figura 2 – Mapa de representação gráfica da área urbana estudada e a temperatura do ar em sua extensão.

“Keith”, que teve o trajeto no sentido A-B pelo lado leste da quadra, ou seja, o lado de temperatura mais elevada, apresentou os dados médio de T_{skm} (temperatura da pele) de $36,71^{\circ}\text{C}$ e de T_{corpo} (temperatura do corpo) correspondente a $37,84^{\circ}\text{C}$. Nota-se na figura 3 que a sua T_{skm} aumentou ligeiramente durante seu percurso, enquanto que a T_{corpo} se manteve estável. A sua opinião sobre seu estado interno foi de neutralidade, apesar de avaliar a situação do ambiente como bem ensolarado, conforme mostra a figura 4.

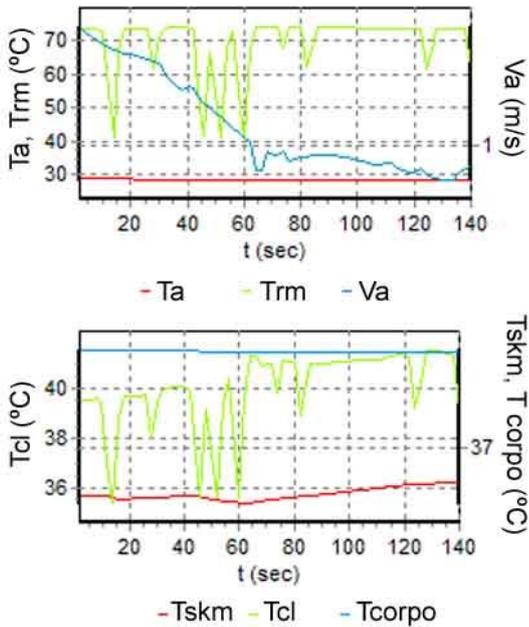


Figura 3 – Gráficos de temperaturas do bot “Keith”.



Figura 4 – Relatório do BOTworld sobre a sensação térmica do bot “Keith”.

Já “Carlos”, cujo trajeto foi no sentido A-B pelo lado oeste da quadra que, em comparação ao outro lado da quadra se encontra com temperatura mais amena, teve a Tskm média de 36,58°C e a Tcorpo média de 38,08°C.

Conforme mostra a figura 5, sua temperatura da pele foi gradativamente decaindo durante seu percurso. Sua sensação térmica sobre seu estado interno é de neutralidade, propenso a quente, e sobre a situação do local é de equilíbrio entre

ensolarado e sombreado, conforme mostra a figura 6.

No caso de “Keith”, o aumento de temperatura de pele pode ser explicado pela diminuição da velocidade do ar (Va), assim como a temperatura da pele de “Carlos” pode ter diminuído devido ao aumento de velocidade do ar.

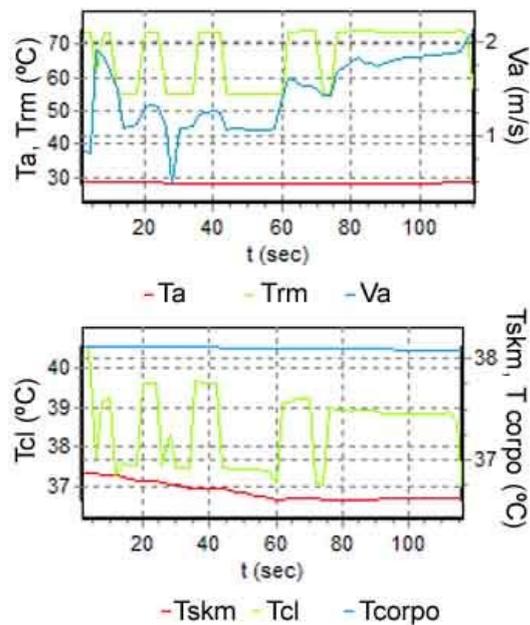


Figura 5 – Gráficos de temperaturas do bot “Carlos”.

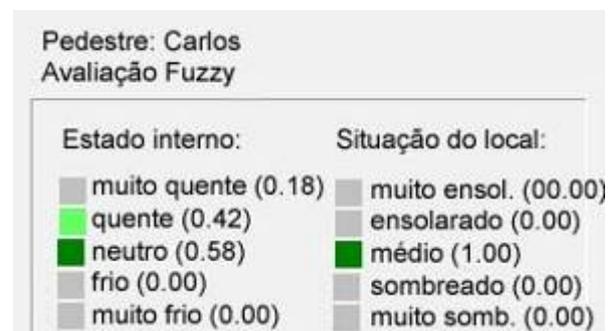


Figura 6 – Relatório do BOTworld sobre a sensação térmica do bot “Carlos”.



Outra diferença entre os pedestres é que, por terem caminhado às 10h da manhã, “Keith” que estava do lado leste, classificou o ambiente como “ensolarado a muito ensolarado” e “Carlos”, como estava do lado oeste da quadra, classificou-o como “nem sombreado nem ensolarado”.

A associação do BOTworld ao ENVI-met permitiu a visualização dos pedestres virtuais caminhando às 10h pelo ambiente térmico urbano em análise, assim como suas preferências de rota. O programa oferece a visualização de dados gráficos, tanto para toda a área, como dados específicos de cada pedestre ou agente virtual.

5. Conclusões

Neste estudo piloto, algumas relações entre o desenho urbano e o pedestre já puderam ser identificadas, revelando a importância do sombreamento através de árvores e superfícies construídas entre o pedestre e os materiais de construção dos edifícios, para que se atinja o conforto térmico do pedestre.

Além disso, o programa ENVI-met demonstrou grande potencial para a previsão de temperatura. As pequenas diferenças notadas entre dados simulados e dados reais podem estar associadas à forma específica em que a temperatura foi

medida, à falta de informação espacial pela delimitação de resolução do programa ou, ainda, a diversas condições climáticas que a área pode estar sujeita e que nem sempre são previstas pelo modelo, que age de forma mais generalizada. A sua associação com o BOTworld mostrou-se uma ferramenta muito promissora para a avaliação da ergonomia urbana, quando considerada a questão do conforto térmico do pedestre. O programa demonstrou oferecer diversas formas de análise, tanto individuais como gerais, que ainda não foram totalmente exploradas neste trabalho.

O BOTworld permite definir os pontos de origem e destino deixando que os pedestres virtuais decidam o trajeto a se realizar, analisa os dados gerais em forma de mapas e dados individuais em forma de gráficos ou valores. Existe a possibilidade de serem criados pedestres padrões, como os utilizados para este estudo, assim como pedestres de características diferenciadas. Além disso, o programa levanta a possibilidade de serem estudados cenários e condições hipotéticas, auxiliando assim na investigação de um melhor planejamento urbano, com um enfoque específico no comportamento e preferência do pedestre.

6. Referências Bibliográficas

BRUSE, M. *Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System*, in: Wittkopf,



St. and Tan, B. K. (eds.): Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA, p.699-706. 2007.

BRUSE, 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.

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.

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.

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. In: <http://www.envi-met.de/scidocs.htm>.

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, 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.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPESP pelos auxílios concedidos em algumas etapas do projeto Ambiente Térmico Urbano.