

VERIFICAÇÃO DE UM MODELO PARA SIMULAÇÃO TÉRMICA URBANA

**Camila Mayumi Nakata (1); Léa Cristina Lucas de Souza (2);
João Roberto Gomes de Faria (3)**

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Design, camilanakata@yahoo.com.br

(2) Livre-Docente, Professor do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo,
leacrist@faac.unesp.br

(3) Dr., Professor do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, joaofari@faac.unesp.br
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Departamento de
Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, Núcleo de Conforto Ambiental, Av. Eng. Luis Edmundo C. Coube
14-01, Vargem Limpa, Bauru-SP, 17033-360, tel.: (14) 3103-6059

RESUMO

Muitos estudos em clima urbano se preocupam em proporcionar formas e ferramentas que auxiliem no planejamento urbano e muitas metodologias têm adotado as ferramentas computacionais para esse fim. Uma das ferramentas que vem sendo utilizadas é o ENVI-met. Este artigo tem por objetivo avaliar esse programa computacional para a simulação térmica urbana e sugere ajustes para as condições específicas da cidade de Bauru. O processo metodológico conta com medições de temperaturas em pontos de referência e sua comparação com os dados resultantes de simulação para os mesmos, utilizando-se o ENVI-met. A partir da primeira simulação de um fragmento urbano para um determinado dia, obteve-se a curva de temperatura simulada que melhor se ajustou à curva real de temperatura do ar medida. Para verificar a confiabilidade desse ajuste, o mesmo método foi testado em outro fragmento urbano para diferentes condições térmicas. Os resultados apontam que o ENVI-met caracteriza-se numa ferramenta de grande potencial para a previsão de temperatura. Algumas diferenças entre dados simulados e reais podem ser consideradas provenientes do fato do programa poder se comportar de forma mais generalizada.

Palavras-chave: clima urbano, simulação computacional, desempenho térmico.

ABSTRACT

Many researches on the urban climate are oriented to develop urban planning tools and many methodologies apply computational tools for this matter. One of the tools being applied nowadays is the ENVI-met software. This paper aims at the evaluation of this computational program for the thermal simulation of urban spaces and suggests adjustments to the specific conditions of the city of Bauru. The methodological process considers temperatures measurements on reference points and their comparison with simulated data, by applying ENVI-met. The simulation of a selected urban area in a particular day produced a curve of simulated temperatures that reproduced the curve with the actual air temperatures. The quality of the adjustment was tested through a simulation of another urban area with different thermal conditions. The results pointed out the good potential presented by ENVI-met for air temperature prediction. Some differences between simulated data and real ones should be considered as typical of programs that have a generalized behavior.

Keywords: urban climate, computer simulation, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

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 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, 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.

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.

Katzschner et. al. (2007) utilizam em sua pesquisa, 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. Naquele 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).

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. 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 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 micro climática no centro de Seul 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.

Já Bruse (1999), ao aplicar o programa ENVI-met para simular o comportamento dos ventos em uma tipologia de organização de lotes em clima temperado, conclui 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.

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.

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.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é comparar dados de temperatura medidos e simulados no ENVI-met em relação a um fragmento urbano, a fim de verificar o desempenho e precisão de dados desse programa de simulação computacional, verificando assim se existe possibilidade de calibração do modelo para a cidade de Bauru.

3. MÉTODO

A metodologia tem seus procedimentos baseados no levantamento de dados de temperatura do ar e de dados de entrada básicos para o modelo ENVI-met (ver Tabela 1) nos pontos de referência, em simulações e comparações com dados reais para testes de verificação do modelo. Esses procedimentos baseiam-se em aplicar a mesma metodologia para simular dois pontos distintos e verificar se o resultado obtido por essas duas simulações é semelhante, conseguindo-se assim obter um ajuste inicial do modelo para a cidade de Bauru.

3.1. Levantamento de dados térmicos na área de estudo

A cidade de Bauru encontra-se geograficamente entre as coordenadas 22°15' e 22°24' de latitude Sul, 48°57' e 49°08' de longitude Oeste e entre 500 e 630m de altitude (Figura 1). Localiza-se a 354 km da capital, São Paulo, apresentando clima quente, com chuvas no verão e secas no inverno.

Levou-se em consideração uma fração urbana da cidade de Bauru que vem sendo estudada há alguns anos pelo Núcleo de Conforto Ambiental da UNESP-Bauru, o Bairro Vila Cidade Universitária que apresenta uso predominantemente residencial e vem sofrendo um processo de verticalização. Nele foram selecionados dois pontos de referência, cuja localização está indicada nas figuras 2 e 3.



Figura 1 - Localização de Bauru
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro: SaoPaulo_Municip_Bauru.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SaoPaulo_Municip_Bauru.svg)

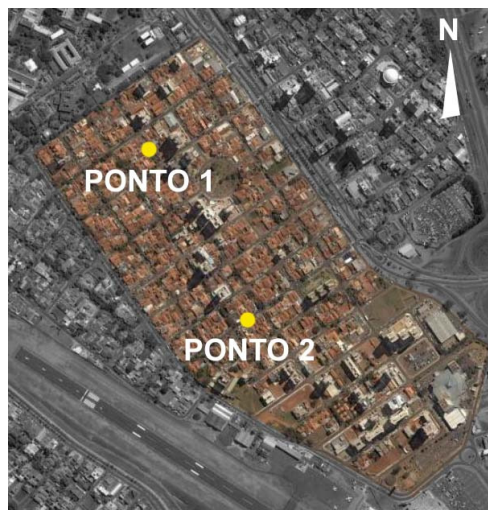


Figura 2 - Foto aérea da Vila Cidade Universitária com os dois pontos de estudo.
Fonte: adaptado do Google Earth.

A coleta de dados de temperatura de ar para esses pontos foi realizada em pesquisa anterior realizada por Nakata e Souza (2007). Para o ponto 1, foram tomados registros horários de temperatura do ar do dia 1 de março de 2006. Para o ponto 2, as temperaturas horárias do ar foram registradas no dia 23 de janeiro de 2006. Ambos correspondem a levantamentos 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 comparações entre temperaturas reais e aquelas a serem simuladas pelo ENVI-met. Além disso, dados de velocidade do vento, direção do vento e umidade relativa à 2m do solo foram obtidas através do IPMET (Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP-Bauru).



Figura 3 - Localização dos pontos de estudo 1 e 2 em maquete eletrônica do bairro.

3.2. Simulação com o ENVI-met

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 as simulações, as datas determinadas para a geração dos dados de saída correspondem àquelas mesmas para as quais foram coletados os dados dos pontos de referência, permitindo assim a comparação entre eles. Os dados do ponto 1 foram destinados a primeira simulação teste para verificação do ENVI-met (verificação da curva que entre todas as repetições apresente melhor desempenho), enquanto os dados do ponto 2 foram empregados para um segundo teste de verificação do programa (conferir se o mesmo tempo de iteração adotada no ponto 1 corresponde ao melhor desempenho também para o ponto 2), perfazendo assim um total de 2 simulações.

As figuras 4 e 5 mostram exatamente a localização dos pontos no fragmento e os limites da área que foi representada e inserida no programa ENVI-met para a simulação dos dados de temperatura em cada ponto.

O ENVI-met baseia-se em dois arquivos de entrada para poder efetuar a simulação: o desenho da área (geometria, altura e material) e os dados de configuração básicos. Para a confecção do desenho da área de entrada foi considerada nos dois pontos uma área aproximada de 150x150 metros, mantendo-se assim uma faixa de vizinhança maior, já que temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar são influenciados com os arredores. Foi utilizada a versão 100x100x30 do Envi-met e desenhou-se na escala 2x2x2. A tabela 1 contém os valores para dados de configuração de entrada para cada uma das duas simulações efetuadas.



Figura 4 - Foto aérea do fragmento urbano do ponto 1.



Figura 5 - Foto aérea do fragmento urbano do ponto 2.

Os dados de velocidade de vento, direção do vento e umidade relativa à 2m do solo, foram aqueles obtidos pela média dos valores fornecidos pelo IPMET-Bauru para os dias indicados. 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 Marte Civ., por não existirem dados específicos para a cidade de Bauru.

A rugosidade (z_0), por sua vez, foi calculada de acordo com Mortensen et al. (1993) pela Equação 1:

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

Onde:

“h” corresponde à altura dos obstáculos;

“S” corresponde à área da fachada exposta ao vento;

“AH” corresponde à área total de construção.

Quanto à temperatura inicial da atmosfera, foi considerada ser a temperatura potencial obtida pela média de temperatura do ar no nível de Bauru (620 metros de altitude) obtida pelo IPMET-Bauru. Apesar do software sugerir que a temperatura potencial seja obtida pela temperatura a 2500 m, resolveu-se adotar aquela metodologia por não existirem esses dados especificamente para a cidade de Bauru. Este fato tornaria o valor de entrada impreciso, o que comprometeria a simulação, porque a temperatura inicial da atmosfera é o dado de entrada principal para a geração dos dados térmicos.

Tabela 1: Dados de configurações de entrada das três simulações.

| DADOS DE ENTRADA | PONTO 1 | PONTO 2 |
|--|-------------------|------------------|
| Início da simulação no dia | 01.03.2006 | 23.01.2006 |
| Velocidade do vento (m/s) | 2 | 2.14 |
| Direção do vento (0:N.90:E.180:S.270:W.) | 90º | 122º |
| Rugosidade | 0,5 | 0,5 |
| Temperatura inicial da atmosfera (K) | 299.89 (26,89 °C) | 299.06 (26,06°C) |
| Umidade específica em 2500m (g/kg) | 8 | 7,5 |
| Umidade relativa em 2m (%) | 66 | 75 |

Após a simulação de hora em hora no ENVI-met, foi utilizado o Leonardo 3.75, extensão do próprio ENVI-met, para leitura dos dados de saída em forma de mapa, conforme mostra a figura 6.

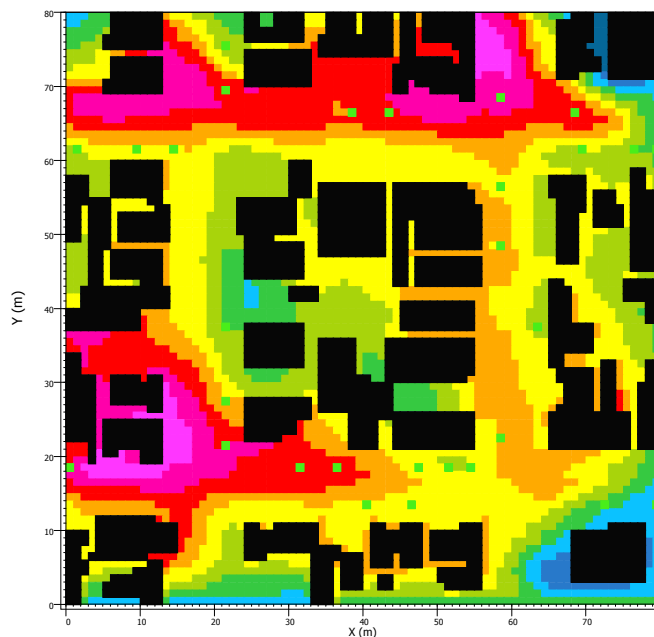


Figura 6 - Exemplo de mapa de temperatura gerado através do Leonardo 3.75 (01.03.2006 às 12h).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se a seguir os resultados analisados e as discussões das simulações feitas nos pontos indicados.

4.1. Simulação do ponto 1 – teste inicial de ajuste

Os resultados da primeira simulação para o ponto 1 estão apresentados na Figura 7.

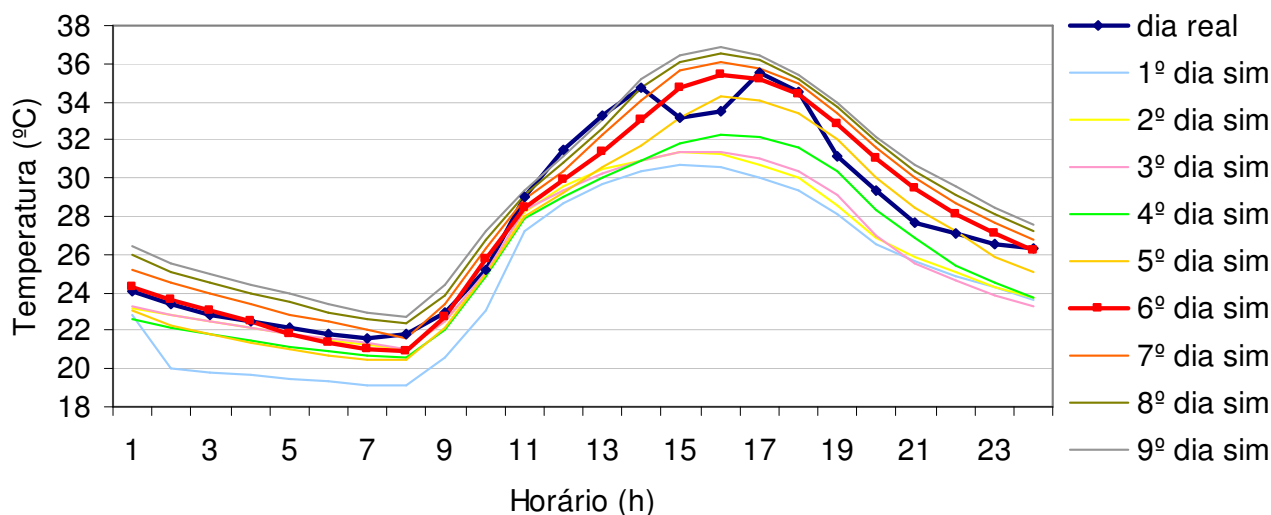


Figura 7 - Gráfico comparativo curvas de temperaturas simuladas no ENVI-met com a das temperaturas medidas do ponto 1.

Essa primeira simulação serviu de teste para verificar o desenvolvimento das curvas de temperaturas geradas pelo programa com o passar das repetições para o mesmo dia. Dessa forma, o “1º dia sim” representa a primeira curva simulada para aquele dia, o “2º dia sim” representa a segunda curva simulada para aquele mesmo dia e assim por diante. Percebe-se que a curva simulada se aproxima da real a cada repetição do dia simulado.

Nota-se no gráfico da figura 7 que o 6º dia simulado é o que corresponde à curva de temperatura que desenvolveu um comportamento mais semelhante à curva dos dados reais. Na tabela 2, verifica-se que o 6º dia simulado apresenta uma média de diferenças de temperatura em relação ao dia real de apenas 0,11 °C.

Tabela 2: Tabela com as diferenças de temperatura simulada da temperatura real para cada dia simulado do ponto 1.

| Médias diárias das diferenças em cada hora (°C) | |
|---|-------|
| 1º dia simulado - dia real | -2,88 |
| 2º dia simulado - dia real | -1,72 |
| 3º dia simulado - dia real | -1,72 |
| 4º dia simulado - dia real | -1,60 |
| 5º dia simulado - dia real | -0,85 |
| 6º dia simulado - dia real | 0,11 |
| 7º dia simulado - dia real | 0,83 |
| 8º dia simulado - dia real | 1,32 |
| 9º dia simulado - dia real | 1,69 |

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.

Acredita-se que as diferenças encontradas entre as curvas possam ser atribuídas às diferenças entre as características térmicas reais e aquelas disponíveis no banco de dados do modelo. Como todos os modelos, as simplificações e considerações sobre as superfícies podem gerar pequenos erros.

4.2. Simulação do ponto 2 – verificação do ajuste inicial

A fim de verificar o ajuste do modelo, foi realizada uma segunda simulação teste em outro fragmento do mesmo bairro para o ponto 2 no dia 23 de janeiro de 2006, com outros dados de temperatura do ar e outras condições climáticas registradas pelo IPMET, conforme representou a tabela 1.

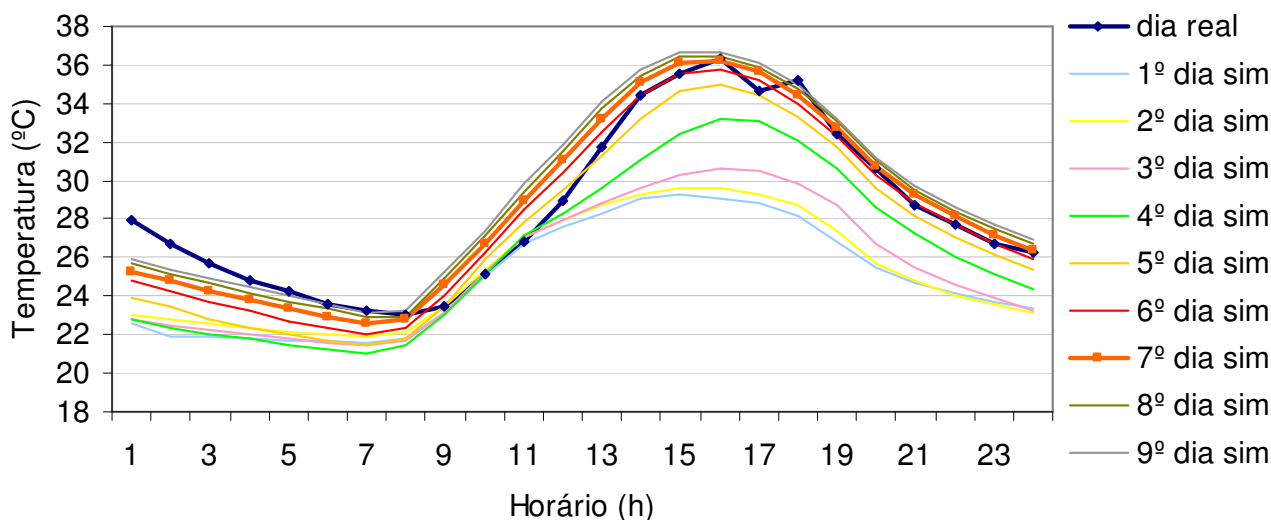


Figura 8 - Gráfico comparativo curvas de temperaturas simuladas no ENVI-met com a das temperaturas medidas do ponto 2.

Nesta segunda simulação ocorre também uma aproximação da curva de temperatura simulada com a da real com o passar do tempo de iteração. No entanto, para esse segundo teste, a 7ª curva simulada apresentou melhor desempenho, tendo uma média de diferenças de temperatura em relação ao dia real de 0,09 °C, como visto na figura 8 e na tabela 3.

Tabela 3: Tabela com as diferenças de temperatura simulada da temperatura real para cada dia simulado do ponto 2.

| Médias diárias das diferenças em cada hora (°C) | |
|---|-------|
| 1º dia simulado - dia real | -3,58 |
| 2º dia simulado - dia real | -3,21 |
| 3º dia simulado - dia real | -3,00 |
| 4º dia simulado - dia real | -2,19 |
| 5º dia simulado - dia real | -1,16 |
| 6º dia simulado - dia real | -0,42 |
| 7º dia simulado - dia real | 0,09 |
| 8º dia simulado - dia real | 0,44 |
| 9º dia simulado - dia real | 0,69 |

O resultado da comparação entre as duas simulações mostra que a curva de melhor desempenho é a 6ª na primeira simulação e a 7ª na segunda simulação. Apesar do resultado não ter sido exatamente o mesmo para os dois testes, as simulações demonstraram que o programa gerou resultados com certa precisão, todavia com a necessidade de serem feitas outras simulações em outros fragmentos para maior segurança do ajuste do modelo para a cidade de Bauru. Sendo assim, esse resultado sugere que, para a situação do bairro estudado ou para qualquer outra área, o modelo deve ser ajustado antes de ser aplicado indiscriminadamente.

As diferenças tanto na configuração das curvas simuladas em relação às reais, quanto nos resultados de melhor desempenho de curva diária podem ser provenientes da limitada área de fragmento urbano representada, que poderia incluir maior faixa de entorno e suas edificações e, conseqüentemente, mais barreiras para o efeito do vento, de passagens de nuvens em alguns horários ou ainda da maneira em que os dados de entrada foram definidos, como valor único, sendo um valor médio adotado.

Para que se possa ter certeza de qual das curvas simuladas é a de melhor desempenho, sendo este o ajuste do modelo às condições do bairro, será necessário fazer várias outras simulações em diferentes pontos do mesmo. 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. Para este estudo foi utilizado um computador com a seguinte configuração: processador Intel Core™ 2 DUO, 2.53 GHz, 1,98 Gb de RAM. O programa ENVI-met necessitou, sob estas condições, de um dia para cada dia simulado e gerando arquivos de 1Gb por dia simulado, aproximadamente.

5. CONCLUSÕES

Como ferramenta para o planejamento urbano, o programa ENVI-met é bastante promissor, demonstrando um grande potencial para a previsão de temperatura.

Apesar de serem notadas algumas diferenças entre dados resultantes de simulação e dados reais, não se pode descartar a possibilidade dessas serem decorrentes da forma específica em que a temperatura foi medida, da falta de informação espacial pela delimitação de resolução do programa ou, ainda, de diversas condições climáticas que a área pode estar sujeita e que nem sempre são previstos pelo modelo, que age de forma mais generalizada.

É importante observar 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 um ajuste definitivo, principalmente porque o comportamento do modelo nos dois testes, apesar de alcançar erros médios pequenos, apresentou resultados ligeiramente diferentes entre eles.

6. REFERÊNCIAS

- 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/>
- 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.
- 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**.
- 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.
- 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.
- <http://www.ipmet.unesp.br/>
- <http://weather.uwyo.edu/upperair/>

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, FAPESP e FUNDUNESP pelo apoio em várias etapas desse projeto. Os autores agradecem ainda a Prof^ª Dr^ª Eleonora Sad Assis e a mestrandia Simone Silveira da UFMG, que possibilitaram a aprendizagem do freeware aqui aplicado através das atividades conjuntas desenvolvidas no âmbito do Projeto Ambiente Térmico Urbano.