



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ANÁLISES DO MICROCLIMA URBANO ATRAVÉS DE MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÕES NO PROGRAMA ENVI-MET

Claudia C. Pezzuto (1); Cristiane Dacanal (2); Eduardo O. Melo (3); Lucila C. Labaki (3)

(1) Doutora, Professora da PUC-Campinas – CEATEC, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.com.br

(2) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNICAMP,
crisdacanal@hotmail.com

(3) Graduando da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP,
clarkccd@hotmail.com

(3) PhD, Professora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP,
lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

A presente pesquisa utiliza-se da simulação computacional como ferramenta de análise e suporte a avaliação do clima urbano. Para as simulações, foi utilizado o ENVI-met, programa de modelagem microclimática tridimensional que simula as interações entre ambientes e climas. O ENVI-met é um programa de livre acesso desenvolvido na Alemanha e representa uma ferramenta promissora. Para estudo de caso foi escolhido um fragmento de um bairro (420 m x 420 m) na cidade de Campinas – SP, Brasil, com edificações predominantemente residenciais, topografia plana, e uma área verde significativa (bosque). Com o objetivo de comparar os dados de saída da simulação do programa ENV-met com dados de monitoramentos, foram feitas medições de campo em cinco pontos fixos distribuídos no bairro. As coletas de dados foram feitas por registros contínuos de temperatura, através de loggers instalados a uma altura aproximada de 1,5 m. Através dos resultados foi possível comparar os dados reais com os dados simulados e verificar as potencialidades do ENVI-met. Tendo em vista estas considerações, este trabalho contribuiu para análise microclimática do espaço urbano aberto e para estudos futuros de conforto térmico.

Palavras-chave: simulação computacional, clima urbano, ENVI-met

ABSTRACT

This research utilized a computational simulation to evaluate the urban climate. For the three-dimensional simulation between the surface-plant-air interactions in urban environment, the ENVI-met 3.1 software was used. The ENVI-met is a German *freeware* that has been seen as a promissory tool. For this purpose it was chosen a neighborhood fragment (420 m x 420 m) in Campinas city, Southeast of Brazil, with residential and mixed-use development in a plain terrain that has a significant green area in this interior (wood). The main objective of this work was to evaluate the urban climate by computer model simulation and to compare the results to empirical measurements. Air temperature was accessed using data loggers installed in tripods at 1.5 m height, in five locations inside the neighborhood. The results allowed to compare the field data to the simulated ones and to verify the ENVI-met potentials. Considering the obtained results, this work contributed to the microclimate analysis and therefore to the future thermal comfort studies in urban open spaces.

Keywords: computational simulation, urban climate, ENVI-met

1. INTRODUÇÃO

As diferentes condições da atmosfera, que caracterizam o clima regional, produzem efeitos sobre os elementos construídos, solo e vegetação. O clima urbano é caracterizado pelo aumento da temperatura e diminuição da umidade do ar, redução da velocidade dos ventos, alterações na qualidade do ar, devido à concentração de poluentes, e pelo aumento da pluviosidade (GIVONI, 1998; MONTEIRO e MENDONÇA, 2009). Os ventos regionais sofrem alterações no meio urbano, com uma redução de 20 a 30% na velocidade dos ventos na área urbana e um aumento de 50 a 100% nas turbulências. Estas alterações devem-se ao aumento da rugosidade, causado pela presença de elementos construídos e da arborização, e pela alteração da densidade do ar, devido à concentração de partículas de poluentes.

As observações do comportamento higrorotérmico, do balanço de radiação e da dinâmica dos ventos na microescala urbana retratam a interação entre as superfícies e o clima local urbano (BRUSE e FLEER, 1998; MONTEIRO e MENDONÇA, 2009). Assim, delimitando-se as condições da camada limite urbana e tendo em mãos um mapeamento tridimensional dos elementos e materiais presentes na cidade, é possível, através de modelos, fazer uma previsão de microclimas nos espaços livres.

Neste trabalho, será avaliado o efeito da temperatura do ar nos espaços urbanos abertos através de simulações, a partir da aplicação do programa ENVI-met, que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e a atmosfera. Este programa computacional utiliza modelos numéricos de simulação de fluxos de ar, de turbulências, de fluxos de radiação, de estratificação da temperatura e da umidade do ar, que ocorrem entre a atmosfera e as superfícies próximas ao solo. O software também prevê os fluxos de radiação entre as superfícies edificadas (paredes, telhados, pisos, solos e vegetação), a partir da temperatura superficial e da emissividade de cada material. Para as interações entre as plantas e a atmosfera, o ENVI-met utiliza modelos de cálculos da evapotranspiração e do comportamento aerodinâmico do vento no perfil vertical das áreas com vegetação (BRUSE e FLEER, 1998).

A interação destes modelos numéricos pelo ENVI-met possibilita a simulação de inúmeros parâmetros ambientais, dentre eles a temperatura potencial e a umidade do ar no meio urbano, possibilitando o traçado de isopletras para a verificação das diferenças intra-urbanas. Os dados de saída do programa, na forma de mapas ou gráficos, facilitam o usuário analisar a interação entre os parâmetros físicos do ambiente construído com o microclima. Dessa forma, o programa constitui uma ferramenta no processo de desenho urbano, sendo útil na comparação de cenários, que contemplam variações na morfologia urbana, na tipologia construtiva, na densidade construtiva, na permeabilidade do solo e no índice de vegetação. O microclima urbano pode ainda ser relacionado ao conforto térmico do pedestre, visto que o programa também simula o índice preditivo PMV (*predicted mean vote*).

A versatilidade do ENVI-met tem despertado interesse em pesquisadores e usuários em todo o mundo, destacando-se os trabalhos de Silva e Romero (2009), Nakata, Souza e Faria (2009), Nakata (2010), Marcondes e Umakoshi (2007) e Silveira e Assis (2006) em cidades brasileiras; Chatzidimitriou (2006) na Grécia, Han (2007) na Korea, Huttner (2008) em cidades da Europa Central, Chen e Wong (2006) em Singapura.

Neste sentido, Nakata (2010) verificou os horários em que as simulações de temperatura potencial pelo ENVI-met se aproximavam dos dados obtidos por monitoramento, para posterior predição das condições de conforto térmico no ambiente urbano. O período entre 1:00h e 7:00h apresentou maior convergência dos dados, sendo que no período diurno o modelo simulou temperaturas inferiores às obtidas em campo. Este estudo foi realizado em Bauru-SP e fez parte do projeto “Ambiente Térmico Urbano” (financiado pelo CNPq), dentro do qual o presente estudo também foi desenvolvido. A área de estudos envolveu um bairro residencial contendo uma praça arborizada, notando-se o efeito localizado de resfriamento na abrangência do espaço livre.

Chen e Wong (2006) também comparam o microclima de três cenários urbanos, utilizando o ENVI-met. Estes cenários consistiram em: 1) situação real, na qual há a presença de um parque com arborização densa; 2) extinção do parque; 3) substituição do parque por edifícios. Os resultados demonstram que o parque produz um efeito de resfriamento nas vizinhanças, durante o dia e a noite. Sua extinção ou substituição por novas edificações provocariam o aquecimento do local (aumento da temperatura do ar em 2,3 °C) e dos arredores (aumento em 3,6 °C). O resfriamento da área urbana pelo parque alcançou uma extensão de 75 m, e sofreu influências da ação dos ventos predominantes, da tipologia e da altura dos edifícios e da densidade de área foliar da vegetação.

Em relação ao comportamento térmico de áreas com arborização densa, Karlsson (2000) destaca que, apesar de apresentarem-se arrefecidas, a obstrução do céu pelas copas entrelaçadas dificulta a perda de radiação de ondas longas da região dos troncos para a atmosfera durante o período noturno, fazendo com que

a amplitude térmica diária seja baixa. Estas peculiaridades motivam observar o efeito das áreas verdes no ambiente urbano.

Diante disso, esta pesquisa foi realizada em um bairro residencial e de baixo gabarito na cidade de Campinas-SP, na qual há uma área com vegetação predominantemente arbórea e densa (bosque). Busca-se avaliar a acuidade do modelo ENVI-met na simulação das diferenças térmicas intra-urbanas, principalmente as diferenças entre a área verde e o entorno edificado, verificando-se a necessidade de ampliação dos atributos relativos à vegetação disponíveis no modelo até o momento.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como principal objetivo comparar os dados simulados no programa ENVI-Met com os dados reais de temperatura do ar. O estudo de caso foi feito na cidade de Campinas SP, em uma área aproximada de 420 m x 420 m, com predominância de edificações baixas e uma área verde significativa no seu interior.

3. METODOLOGIA

O Município de Campinas está situado a sudoeste do estado de São Paulo, a 100 km da capital, nas coordenadas geográficas: Latitude S 22°53'20", Longitude O 47°04'40", em altitude média de 680 metros. Ocupa um área total de 796,40 Km² (perímetro urbano 388,90 Km² e perímetro rural de 407,50 Km²) e estima-se uma população de 962.996 habitantes. Campinas possui um clima tropical de altitude, com verão quente e úmido e inverno ameno e quase seco (CAMPINAS, 2006), e a direção predominante do vento é sudeste (BARBANO, BRUNINI e PINTO, 2003).

A área de estudo caracteriza-se como um fragmento de bairro residencial, em que predominam edificações de um a dois pavimentos (Figura 1 a 4), em um terreno com topografia plana. No recorte de 420 x 420 metros (Figura 4) há um bosque público municipal (Figura 2), voltado à recreação pública.



Figura 1- Fronteira do Bosque dos Italianos e o bairro Jardim Guanabara, com edificações predominantemente de 1 a 2 pavimentos.

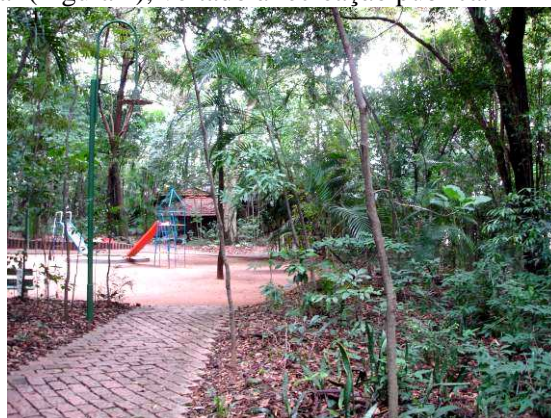


Figura 2 – Interior do Bosque dos Italianos, em Campinas-SP



Figura 3 - Localização da área urbana simulada e da estação meteorológica urbana do IAC.



Figura 4 - Detalhe do bairro. Pontos de 1 a 6 referentes aos pontos monitorados e simulados (receptores).

Para o monitoramento da temperatura do ar foram instalados data-loggers na altura de 1,5 m, em cinco pontos de medições (Pontos 2 a 6), como mostra a Figura 4. Os equipamentos foram instalados em áreas abertas, no interior das residências e receberam uma proteção contra radiação solar e chuva. Os dados

foram também comparados com a Estação Automática no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), próxima da área de estudo. A coleta foi realizada no período de inverno, em três dias consecutivos do mês de agosto de 2009.

As simulações no programa ENVI-met foram realizadas na versão 250 x 250 x 60, com uma resolução de 2 m x 2 m x 2 m. As variáveis de entrada foram: Velocidade do Vento na altura de 10 m (m/s), Direção do Vento, Rugosidade das superfícies edificadas, Temperatura do ar (K) a 2 m (no campo de entrada da temperatura potencial), Umidade Específica (g /kg) a 2500 m e Umidade Relativa (%) a 2 m. Os dados sinóticos locais foram obtidos na Estação Meteorológica do IAC e os dados de radiossondagem são provenientes do Aeroporto do Campo de Marte-SP, distante 115 km da área de pesquisa, disponibilizados pela Universidade de Wyoming (2010), calculando-se a média da umidade específica para as 0:00h.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Condições de tempo nos dias de monitoramento

Os dados climáticos obtidos na Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (Ponto 1 - IAC) durante o período de medição indicam que a condição do tempo era de baixa umidade e alta temperatura, durante o dia, e alta umidade e baixa temperatura à noite, acarretando em amplitude térmica diária elevada (15,0 °C). Os ventos eram moderados, na escala Beaufort, alcançando a velocidade de 6,7 m/s, a 2 metros de altura.

4.2 Simulações x parâmetros medidos

Com a finalidade de verificar a fidelidade das simulações, foram localizados cinco receptores (*receptors*) na área digitalizada no ENVI-met, nos mesmos locais dos pontos fixos de coleta de dados. Para as análises, foi considerada a média dos dados coletados de três dias de monitoramento, já para os resultados simulados foi considerada a segunda curva de iteração pelo modelo.

Observa-se, através da Tabela 1 e da Figura 5, que houve diferenças na amplitude térmica diária entre os resultados simulados e medidos. Enquanto o modelo indicou uma amplitude térmica média dos pontos de 4,5°C, os dados reais apresentaram uma amplitude térmica média de 9,6 °C. Esta diferença na amplitude térmica diária decorre da simulação de temperaturas máximas diárias inferiores à realidade ($T_{\max \text{ real}} - T_{\max \text{ sim}} \sim 9,8^\circ\text{C}$) e da simulação de temperaturas mínimas inferiores aos dados coletados ($T_{\min \text{ real}} - T_{\min \text{ sim}} \sim 6,2^\circ\text{C}$). Desta forma, as taxas de aquecimento e de resfriamento simuladas mostraram-se inferiores à situação real, observando-se maior suavidade nas curvas diárias.

Tabela1 - Temperatura potencial simulada (altura de 2 m) e temperatura do ar monitorada (altura de 1,5 m) [°C].

	Pontos	Tmín	Tmáx	Tmédia	Amplitude térmica	Tmín real - Tmín simulada	Tmáx real - Tmáx simulada
Simulação (receptores)	Ponto 2 simulado (área verde)	13,3	17,5	15,3	4,2	5,2	10,20
	Ponto 3 simulado	13,6	18,6	15,5	5,0	6,0	9,5
	Ponto 4 simulado	13,8	18,4	15,6	4,6	6,5	10,0
	Ponto 5 simulado	14,1	18,5	15,6	4,4	4,9	9,60
	Ponto 6 simulado	13,8	18,1	15,6	4,3	4,0	10,20
Monitoramento (tripés)	Ponto 1 real (IAC)	15,7	27,8	20,8	12,1		
	Ponto 2 real	18,5	27,7	22,8	9,2		
	Ponto 3 real	19,6	28,0	23,1	8,5		
	Ponto 4 real	20,3	28,4	23,5	8,1		
	Ponto 5 real	19,0	28,1	22,9	9,1		
	Ponto 6 real	17,8	28,3	22,1	10,5		

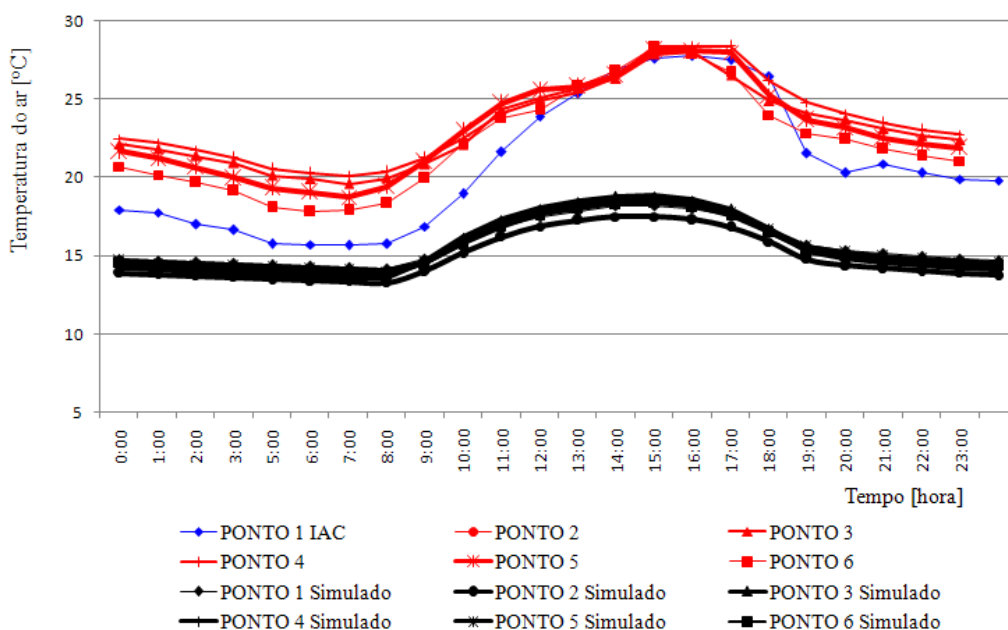


Figura 5 - Temperatura simulada (altura de 2 m) e temperatura do ar medida *in loco* [°C] (altura de 1,5 m).

Do mesmo modo que Nakata (2010), constatou-se maior diferença entre a temperatura real e simulada no período diurno. No entanto, esta autora havia obtido dados muito mais próximos entre 1h e 7h. No presente caso, os dados da Estação Meteorológica do IAC obtidos entre 5h e 8h estiveram mais próximos dos resultados simulados ($T_{\text{real}} - T_{\text{sim}} \sim 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), apesar de diferenças nas taxas de aquecimento, de resfriamento e na amplitude térmica diária. Neste mesmo período, a diferença média entre a temperatura monitorada na área de estudos e a simulada chegou a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Assim, as demais comparações foram feitas observando-se as diferenças térmicas intra-urbanas, ou seja, entre os cinco pontos monitorados ou simulados. A identificação das áreas de maior e de menor temperatura foram relacionadas à tipologia construtiva, aos materiais e à presença de vegetação na área urbana. As comparações entre os dados simulados e medidos serão feitas às 9h, 15h e 21h, que correspondem, respectivamente, aos horários de início do período de aquecimento, de ocorrência da temperatura máxima, e do horário em que se observa certo resfriamento noturno. Os mapas dos pontos simulados foram gerados no programa ENVI-met e os pontos monitorados foram interpolados no programa Surfer 8.0, utilizando o método de *krigagem*, como apresentado nas Figuras 6 a 11.

4.2.1 Análises para as 9:00h local

Para o horário das 9h (Figuras 6 e 7 e Tabela 2) verificou-se que o Ponto 2 simulado, localizado no interior da área verde arborizada, apresentou menor temperatura. Já os dados reais indicam que o Ponto 6, localizado em uma quadra em frente à referida área verde, foi o de menor temperatura. Neste sentido, o modelo subestimou o potencial de resfriamento proporcionado pela vegetação do bosque. Assim, a diferença térmica entre o Ponto 6 simulado e medido foi de $4,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Verificou-se, ainda, o efeito de resfriamento proporcionado pelo bosque é maior na direção NE, possivelmente devido à consideração da direção predominante dos ventos SE pelo modelo. A extensão do efeito sobre o entorno teve dimensão próxima à obtida por Chen e Wong (2006), medindo cerca de 75 m.

Segundo os dados reais, o ponto do bosque apresentou-se mais aquecido que alguns dos outros pontos urbanos neste horário da manhã. Este aquecimento pode ser decorrente da obstrução das ondas longas do solo para a atmosfera, causada pelas copas entrelaçadas das árvores, conforme explicitou Karlsson (2000). Opostamente, neste horário, devido à baixa inclinação solar, há um sombreamento das superfícies edificadas (pisos e paredes) causado pelas próprias edificações. Isto pode ser evidenciado observando-se o Ponto 4, localizado próximo de uma rotatória gramada e com maior exposição à radiação solar, que apresentou ligeiro aquecimento em comparação com os demais.

Os pontos de maiores temperaturas às 9h foram o Ponto 3 simulado e os Pontos 2 e 4 monitorados. Tanto o Ponto 3 quanto o Ponto 4 localizam-se próximos de áreas abertas e com piso asfáltico (avenida e rotatória, simultaneamente), o que indica que deveriam apresentar temperaturas mais elevadas. No entanto,

o modelo computacional considerou o Ponto 4 mais arrefecido que o Ponto 3, possivelmente por este estar próximo de uma ampla área gramada.

Tabela 2 - Comparação entre a temperatura simulada e medida às 9h.

Pontos	Tar [°C] real	Tpot [°C] simulada	Tar real – Tpot simulada [°C]	Diferença Térmica	
				Entre os Pontos Monitorados [°C]	Entre os Pontos Simulados [°C]
1 Estação Meteorológica	19,0				
2	21,3	15,2	6,1	1,4	0,0
3	20,9	16,1	4,8	1,0	0,9
4	21,3	15,9	5,4	1,4	0,7
5	21,0	15,8	5,2	1,1	0,6
6	19,9	15,7	4,2	0,0	0,5

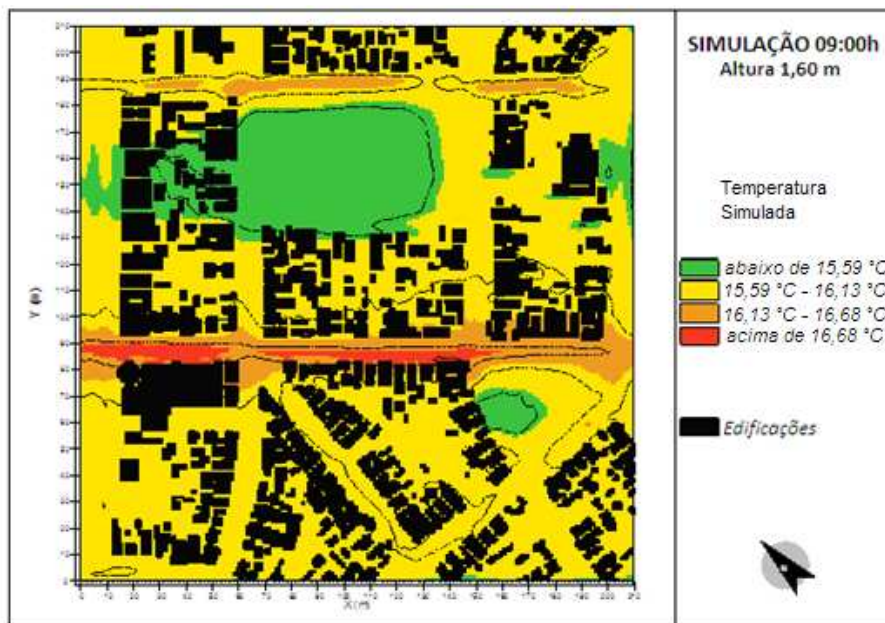


Figura 6 - Mapa de distribuição da temperatura do ar simulada no ENVI-met às 9h, na altura de 2 m.

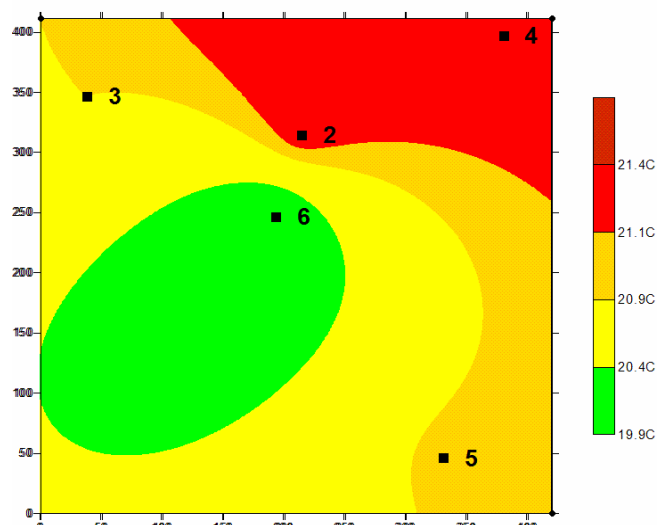


Figura 7 - Mapa de distribuição da temperatura do ar interpolada a partir de dados reais obtidos às 9h.

4.2.2 Análises para as 15:00h local

Para as 15h (Tabela 3), o Ponto 2, localizado no bosque, apresentou menor temperatura, tanto na simulação como no monitoramento. Houve baixa diferença térmica intra-urbana: entre os pontos

monitorados a diferença máxima foi de 0,5 °C, e entre os pontos simulados a diferença alcançou 1,3 °C . A simulação mostra que as temperaturas mais elevadas ocorreram sobre as vias, devido ao piso asfáltico.

No entanto, observa-se uma influência do bosque sobre as quadras do entorno, no sentido NO e SE, arrefecendo tanto as ruas quanto o interior das quadras. Neste sentido, o modelo parece ter considerado tanto a direção dos ventos predominantes quanto a orientação solar, tendo em vista que as ruas com eixos NE-SE apresentaram temperaturas mais elevadas que as ruas dirigidas para NO-SE.

Tabela 3 - Comparação entre a temperatura simulada e medida às 15h.

Pontos	Tar [°C] real	Tpot [°C] simulada	Tar real – Tpot simulada [°C]	Diferença Térmica	
				Entre os Pontos Monitorados [°C]	Entre os Pontos Simulados [°C]
Pto 1 Estação Meteorológica	27,8				
2	27,8	17,3	10,5	0	0
3	27,9	18,6	9,3	0,1	1,3
4	28,3	18,4	9,9	0,5	1,1
5	28,1	18,3	9,8	0,3	1,0
6	28,3	18,1	10,2	0,5	0,8

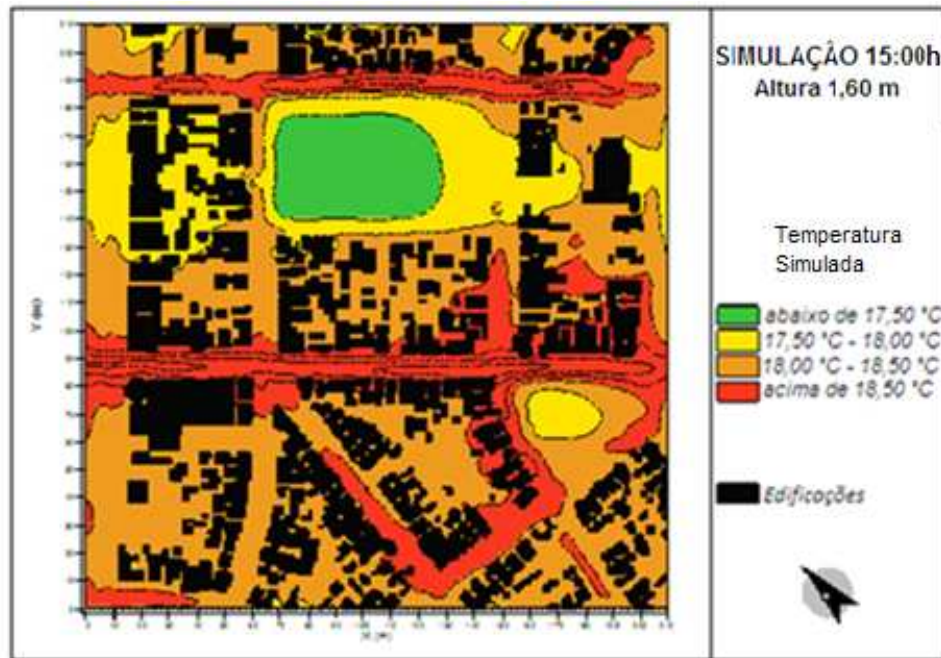


Figura 8 - Mapa de distribuição da temperatura simulada no ENVI-met às 15h, na altura de 2 m.

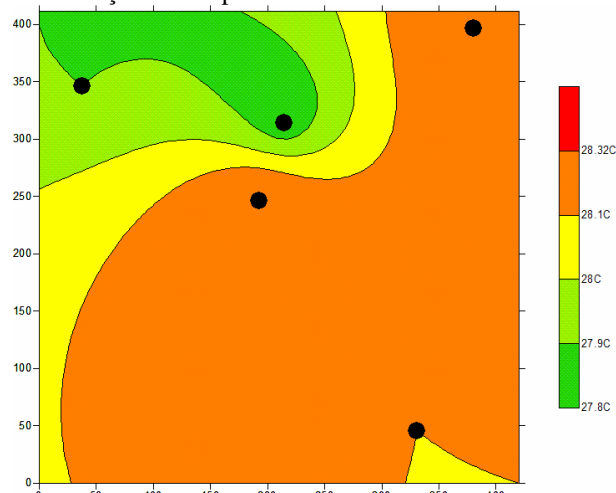


Figura 9 - Mapa de distribuição da temperatura do ar interpolada a partir de dados reais obtidos às 15h.

4.2.3 Análises para as 21:00h local

As diferenças térmicas obtidas às 21h mostraram-se semelhantes às das 9h. De acordo com a Tabela 4, o Ponto 2 simulado, localizado no interior da área arborizada, apresentou menor temperatura, enquanto os dados reais apresentaram, mais uma vez, o Ponto 6, localizado em frente ao bosque, o local mais arrefecido. Já o Ponto 4 real, localizado próximo à rotatória gramada, apresentou temperatura mais elevada, seguido do Ponto 3, na avenida. O modelo considerou o Ponto 5, mais distante do bosque, o mais aquecido, e todo o ambiente urbano que circunda o bosque, em uma distância entre 50 e 80 m, sofreu influência da área verde, com temperaturas mais amenas.

Tabela 4 - Comparação entre a temperatura simulada e medida às 21h.

Pontos	Tar [°C] real	Tpot [°C] simulada	Tar real – Tpot simulada [°C]	Diferença Térmica	
				Entre os Pontos Monitorados [°C]	Entre os Pontos Simulados [°C]
Pto 1 Estação Meteorológica	20,3				
2	22,9	14	8,9	1,1	0
3	23,1	14,4	8,7	1,3	0,4
4	23,5	14,6	8,9	1,7	0,6
5	22,5	14,8	7,7	0,7	0,8
6	21,8	14,6	7,2	0	0,6

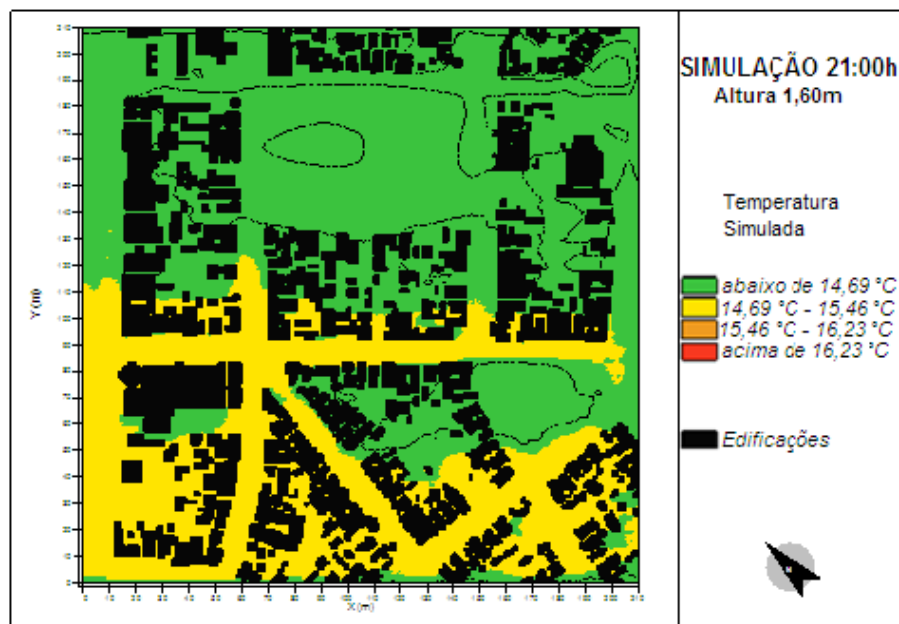


Figura 10 - Mapa de distribuição da temperatura simulada no ENVI-met às 21h, na altura de 2 m.

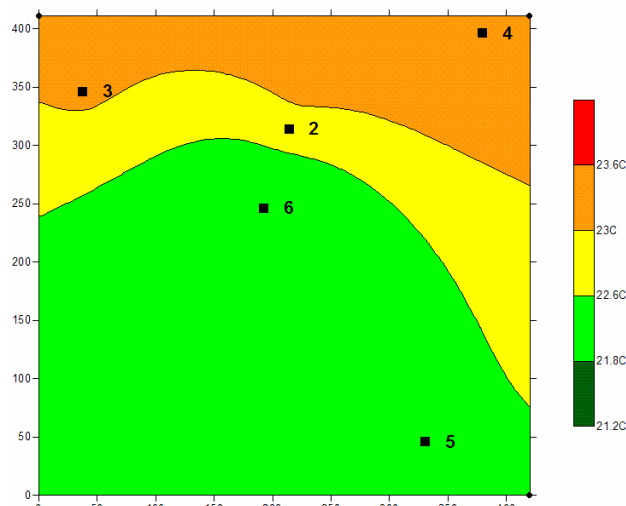


Figura 11 - Mapa de distribuição da temperatura do ar interpolada a partir de dados reais obtidos às 21h.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação da temperatura da área urbana simulada pelo modelo computacional ENVI-met aos dados reais obtidos in loco, permitiu verificar tanto as potencialidades do programa, quanto as suas particularidades. Verificou-se que tanto a temperatura quanto a amplitude térmica simulada são muito inferiores aos dados obtidos nos monitoramentos, sendo que a maior amplitude térmica dos pontos simulados foi de 5,0 °C comparada com 10,5 °C dos pontos monitorados.

Nas simulações notou-se o aquecimento mais lento das áreas verdes e das áreas adensadas e, em contrapartida, um rápido resfriamento das áreas verdes e de suas áreas circunvizinhas.

Em todos os horários, foi possível identificar que os ventos predominantes influenciam o efeito de resfriamento provocado pela vegetação. Também foi verificado que este efeito foi maior na área do bosque em relação a uma pequena praça de bairro presente na área de estudos. Este resultado obtido na simulação foi confirmado na realidade, observando-se que o Ponto 6 (frontal ao bosque) apresentou temperatura inferior à do Ponto 5 (frontal à praça), nos três horários.

No entanto, observou-se que o comportamento térmico da vegetação arbórea densa, disponível no modelo computacional, distinguiu-se da realidade. O monitoramento mostrou que a área do bosque apresentou menor amplitude térmica do que a estimada pelo modelo, com certo aquecimento em relação a um ponto urbano próximo do bosque às 9h e 21h. Às 15h os resultados tiveram melhor aproximação. Diante das análises das diferenças térmicas intra-urbanas considera-se importante, em uma próxima etapa de trabalho, levantar dados da densidade de área foliar presente no bosque avaliado e compará-la aos dados presentes no ENVI-met. Dessa forma, a estimativa da evapotranspiração da vegetação pelo modelo poderá trazer respostas mais precisas em relação ao seu efeito sobre o ambiente urbano ao longo do dia.

Os resultados apresentados pelas comparações dos dois métodos evidenciaram o alto grau de potencialidade do programa, em contrapartida, é necessário que o usuário seja rigoroso na entrada de dados do programa, para que o mesmo desempenhe o papel o mais próximo da realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBANO, M. T.; BRUNINI, O.; PINTO, H. S. (2003). Direção predominante do vento para a localidade de Campinas – SP. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 123-128.
- BRUSE, M.; FLEER, H. (1988). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, p.373-384.
- CAMPINAS, Prefeitura Municipal de (2006). Lei Complementar Nº 15 de 27 de dezembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Campinas.
- CHATZIDIMITRIOU, A.; CHRISOMALLIDOU N.; YANNAS S. (2006). Ground surface materials and microclimates in urban open spaces. In: PLEA 2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 Sep. 2006. **Proceedings...** Switzerland, PLEA 2006.
- CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 105-120, Feb. 2006.
- GIVONI, B. (1998). **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- HAN, S.; MUN, S.; HUH, J. (2007). Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea. In: 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, 2007, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing, China: IBPSA.

- ENVI-met. **ENVI-met 3** by Michael Bruse & Team Disponível em: <http://www.envi-met.com/> Acesso em 02 Fev. 201.
- HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. (2008). Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In: Mayer, H. and Matzarakis, A. (eds.). 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology (Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg N. 18), October 2008, p. 307-312.
- KARLSSON, M. (2000). Nocturnal air temperature variations between forest and open areas. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, p.851-862, Jun. 2000.
- MARCONDES, M. P.; UMAKOSHI, E. M. (2007). Ferramentas computacionais para avaliação ambiental de áreas urbanas: estudo de caso em São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9°. Ouro Preto, 08 – 10 ago. 2007. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, UFMG.
- MONTEIRO, C.A.; MENDONÇA, F. (2009). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto.
- NAKATA, C. M. ; SOUZA, L. C. L., FARIA, J. R. G. (2009). Verificação de um modelo para simulação térmica urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10°, Natal, 16-18 Set. 2009. **Anais...** Natal – RN: ANTAC, UFRN.
- NAKATA, C. M. (2010). Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Bauru: FAAC, UNESP.
- SILVA, C. F.; ROMERO, M. A. B. O (2009). Desempenho ambiental de vias arborizadas na cidade de Teresina por meio de dados sensoriais, microclimáticos e simulações computacionais com o auxílio do ENVI-met. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10°, Natal, 16-18 Set. 2009. **Anais...** Natal – RN: ANTAC, UFRN.
- SILVEIRA, S. Q. da ; ASSIS, E. S. (2006). Urban ventilation in the city of Belo Horizonte, Brazil. In: The International Conference on Urban Climate, 6th, Göteborg. Proceedings... Göteborg: Urban Climate Group; Dep. Geoscience; Göteborg University, v. 1. p. 647-650.
- UNIVERSIDADE DE WYOMING. (2010). College of Engineering. Department of Atmospheric Science. Disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html/>>. Acesso em 02 Fev. 201.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.