



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

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

Búzios - RJ - 2011

## QUANTIFICAÇÃO DA INTENSIDADE E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS EFEITOS MICROCLIMÁTICOS DA VEGETAÇÃO

**Paula Shinzato (1); Denise H. S. Duarte (2)**

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, paulashinzato@gmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, dhduarte@terra.com.br

Universidade de São Paulo, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LABAUT, Cep. 05508.080, São Paulo - SP, Tel.: (11) 3091-5538

### RESUMO

O objeto desta pesquisa são os efeitos da vegetação nas condições microclimáticas urbanas, partindo-se da premissa que a presença da vegetação influencia o microclima do seu entorno imediato. A partir de diferentes formas de distribuição das áreas verdes na cidade e com o uso de espécies locais, o objetivo é quantificar a intensidade e a distribuição espacial dos efeitos microclimáticos da vegetação, principalmente as alterações de temperatura do ar e superficial no nível do pedestre, utilizando-se modelos de balanço de energia e ferramentas computacionais. Foram feitas simulações paramétricas no ENVI-met a fim de investigar o efeito da distribuição de áreas verdes (linear, grandes massas verdes concentradas ou pequenos agrupamentos distribuídos em diferentes distâncias) e por meio das medições de campo pode-se quantificar a importância da vegetação (gramíneas, arbustos e arbóreas) nos aspectos climáticos. Os resultados mostram que o efeito da vegetação é local e não ocorre uma influência significativa muito além dos limites das áreas verdes. Em relação à intensidade do efeito da vegetação, a diferença média entre as temperaturas do ar nas áreas verdes arborizadas e as ruas adjacentes é de 1.4°C. Já o sombreamento pelas árvores de copa densa (LAI=10), mostrou diferenças médias de 29°C, nas temperaturas superficiais do solo, embaixo da copa.

Palavras-chave: vegetação urbana, microclima urbano, ENVI-met

### ABSTRACT

The main purpose of this research is the effects of vegetation in urban microclimate conditions, under the premise that the presence of vegetation influences the microclimate and its surroundings. Considering different forms of green space distribution and using native species, it could quantify the intensity and spatial distribution for the microclimate effects by a vegetated area. The modifications of air temperature and the surface temperature at the level of the pedestrians were analyzed based on energy balance and computer models. Parametric simulations on ENVI-met were done to investigate the effect of green areas distribution (linear forms, large mass of vegetation and small groups of trees) and were compared with on-site measurement data. The simulation results showed the impact of urban vegetation for climatic aspects. The outputs indicated that the vegetation effect is local and it does not have a significant influence beyond the limits of the green area. Regarding to the intensity of vegetation effect, the average difference between air temperature under the trees and above the streets is 1.5°C. While the shadowing of a dense tree (LAI=10) showed an average difference of 23°C for superficial temperatures between green spaces and the street.

Keywords: urban vegetation, urban microclimate, ENVI-met

### 1. INTRODUÇÃO

É possível verificar os vários benefícios provenientes da vegetação, dentre os quais se destacam: o controle da temperatura e umidade (DIMOUNDI, NIKOLOPOULOU, 2003; SAILOR, 1995; OMETO, 1981; YU, 2006), a influência na qualidade ar (NOWAK, 2004; KUTTLER; STRASSBURGER, 1999), o resfriamento passivo de uma edificação por meio do sombreamento das árvores (HEISLER, 1986; TAHA, 1997; AKBARI, 2005), além do valor estético e da influência na saúde das pessoas (KUO; SULLIVAN, 1998; TAHA; AKBARI, 1992; SANTAMOURIS, 2001; ULRICH, 2003).

Em relação ao microclima, a vegetação tem um importante papel devido às suas propriedades no balanço de energia. Por meio do processo de evapotranspiração, a cobertura vegetal possibilita a diminuição dos picos de temperatura durante o dia. O processo de evapotranspiração compreende a perda associada de água, que ocorre pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração estomática e cuticular da planta (OMETO, 1981).

A ausência de vegetação, problema encontrado na maioria dos grandes centros, contribui para o aumento da temperatura do ar devido o aquecimento das superfícies que utilizam materiais como concreto e asfalto. De acordo com dados do Atlas Ambiental de São Paulo (SVMA, 2000), a redução das áreas verdes em São Paulo é causada não apenas pelas ocupações ilegais do solo, por cortiços e favelas em terrenos públicos, mas também é acentuada pelo crescente processo de impermeabilização do solo por meio da construção de edifícios e novas vias públicas.

Como principais conseqüências geradas por esta redução da vegetação urbana, a SMVA (2000) aponta o problema das enchentes - que ocorrem em mais de 400 pontos na cidade, o desconforto térmico das áreas centrais, a poluição do ar - causada em sua maior parte pela circulação dos quase cinco milhões de veículos do município, o comprometimento irreversível dos mananciais - ocasionado pela ocupação desordenada, a poluição visual e sonora; etc.

Dessa forma, o Brasil torna-se um local potencial para o desenvolvimento de novos estudos nesta área, tendo em vista a diversidade climática do país, as atuais condições ambientais urbanas das grandes cidades, a falta de diretrizes para os projetos de arborização de vias e demais espaços públicos, e de um planejamento urbano de longo prazo, que considere estratégias para amenizar o efeito de ilha de calor, melhorando o conforto térmico do pedestre. A falta de modelos preditivos ainda limita a aplicação dos resultados obtidos em pesquisas sobre a vegetação urbana nos processos de planejamento e desenho urbano no Brasil. Assim, existe a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possam avaliar o potencial microclimático das áreas verdes de acordo com o clima local.

## **2. OBJETIVO**

O objeto desta pesquisa são os efeitos da vegetação nas condições microclimáticas urbanas, partindo-se da premissa que a presença da vegetação influencia o microclima do seu entorno imediato. A partir de diferentes formas de distribuição das áreas verdes na cidade e com o uso de espécies locais, o objetivo é quantificar a intensidade e a distribuição espacial dos efeitos microclimáticos da vegetação, principalmente as alterações de temperatura e umidade do ar e de temperatura superficial no nível do pedestre. Nesta pesquisa, a análise dos resultados foi feita utilizando-se modelos de balanço de energia, com o auxílio de ferramentas computacionais, para simular os efeitos da vegetação sobre as condições microclimáticas próximas ao pedestre.

## **3. MÉTODO**

### **3.1. Medições microclimáticas na área da Luz**

As medições de variáveis climáticas na região da Luz foram feitas pelo grupo de pesquisa do LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo para subsidiar diferentes pesquisas do grupo em andamento (impacto da vegetação em microclimas urbanos, efeito da temperatura superficial nos pavimentos, sensação de conforto térmico dos usuários, etc). O objetivo geral dessas medições era gerar uma base inicial de dados de temperatura do ar, umidade do ar, radiação e intensidade dos ventos para poder avaliar como as condições climáticas variam de acordo com diferentes situações urbanas e para alimentar as simulações computacionais no ENVI-met. Nesta pesquisa em especial, foi realizada a medição no dia 19 de dezembro de 2006 na área da Luz, apresentando um dia estável com céu aberto.

A escolha dos pontos na área da Luz ocorreu em função de diversidade de situações urbanas que podem ser exploradas quanto às condições climáticas. Foram definidos três pontos de medição: Ponto (1) localizado na parte central do Parque da Luz para verificar qual a sua real contribuição para a redução da temperatura no período de verão; Ponto (2) definido na Praça da Luz, em frente à Sala São Paulo, que apresenta um grande movimento principalmente de pedestres que saem do metrô, sendo a área mais exposta à radiação solar direta e aos ventos, uma vez que não tem obstáculos, sejam árvores ou edifícios. Esta praça tem áreas de passagem impermeáveis para a travessia dos pedestres e também alguma área permeável com árvores mais esparsas e pouco densas; e o Ponto (3) no *canyon* da Rua dos Andradas, sendo uma área sem arborização nas calçadas, mais adensada e de prédios altos.



Figura 1: Localização dos três pontos de medição na área da Luz.  
Fonte: Google Earth.

Cada ponto apresentava uma estação meteorológica (Huger WM 918, Huger WM 968 e ELE MM900) com sensores de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade dos ventos e radiação. Também foram utilizados os termômetros de globo e sensores HOBO Onset, com canais para temperatura do ar, umidade e iluminância. Os equipamentos foram instalados às 6h30 em cada ponto, tomando-se os cuidados com o posicionamento da haste da ventoinha voltado para norte, marcado pela bússola, e corrigindo-se cerca de 18° à direita, em direção ao norte verdadeiro, para a cidade de São Paulo. As medições foram realizadas para os seguintes horários: 7h, 10h, 13h, 16h, 19h, durante o período de uma hora cada, sendo o registro das medidas feito a cada 10 segundos.

Ao longo dos dias de medição foram tiradas fotos de fator de visão de céu para cada ponto de medição com a máquina fotográfica digital Nikon COOLPIX 4500 com lente grande angular (olho-de-peixe) acoplada (Figura 2).



Figura 2: Foto grande angular do parque da luz (1); foto grande angular da praça (2); foto grande angular do *canyon* (3) – primeira etapa (fotos: L. Monteiro).

Os resultados indicaram que no Parque houve um aumento mais lento da temperatura, chegando a 26°C às 10h, e valores a cima de 30°C somente a partir das 12h30. No período da tarde, o ponto de medição na praça aberta e o *canyon* atingiram a temperatura máxima às 16h, com valores de 35°C e 34°C, respectivamente. Enquanto isso, o parque apresentou para o mesmo horário a temperatura de 32.1°C (Gráfico 1).

O Gráfico 2 mostra que a umidade relativa no parque ficou em média 10% acima dos valores medidos para os outros dois locais e a umidade absoluta apresentou um aumento de  $1\text{g}/\text{m}^3$  do parque em relação à praça e ao *canyon*. Esses resultados ocorrem em consequência do efeito do sombreamento das copas e do processo evapotranspiração da vegetação.

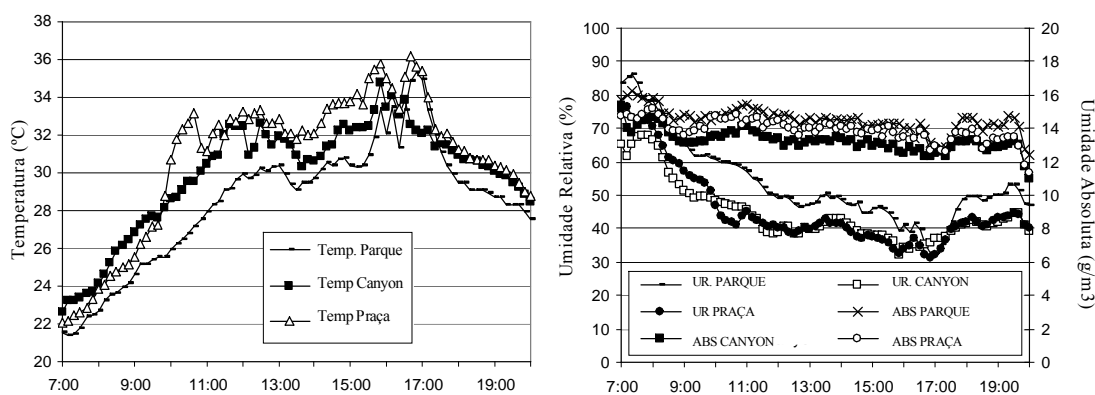


Gráfico 1: Comparativo das temperaturas do ar obtidas na medição (em °C).

Gráfico 2: Comparativo da umidade relativa (%) e umidade absoluta (g/m<sup>3</sup>) para o parque, canyon e praça.

### 3.2. Simulações Paramétricas no ENVI-met sem vegetação

O modelo computacional utilizado durante a pesquisa é o ENVI-met, um modelo tridimensional para simular as interações entre superfície-vegetação-atmosfera. No intuito de se avaliar os benefícios da vegetação, Bruse (1998) implementou computacionalmente esse modelo numérico para o cálculo dos principais fatores relacionados à vegetação: transpiração, evaporação, fluxo de calor sensível, fluxos turbulentos de calor e vapor; resistência dos estômatos, balanço energético da folha e balanço de água do sistema solo-vegetação.

O modelo calcula o balanço de energia para ondas curtas e longas por meio das variáveis: radiação, reflexão de edifícios e vegetação, fluxo do ar, temperatura, umidade, turbulência local e sua taxa de dissipação. Também determina as temperaturas de superfície (pisos e envoltória dos edifícios), as trocas de água e calor no solo e parâmetros biometeorológicos, como a temperatura efetiva e o *Predicted Mean Vote* - PMV (FANGER, 1972).

Foram realizados estudos preliminares no ENVI-met a fim de ajustar os valores obtidos nas medições na área da Luz com os resultados gerados pelo programa ainda sem a inclusão da vegetação. Antes de iniciar as simulações de vegetação urbana era fundamental definir um modelo compatível com as condições microclimáticas do local. Os resultados de umidade, temperatura do ar e de superfície foram comparados com as medições do *canyon* em 19 de dezembro de 2006.

A partir dos resultados da medição na área da Luz, foi definida inicialmente uma geometria simplificada de quatro quarteirões de 60m x 60m, com edifícios de 26m de altura (8 pavimentos). A área entre os edifícios é de 12m, sendo 3m de calçada e 6m de rua. A relação de H/W é de 2. Apesar dessa configuração homogênea não ser similar ao encontrado no bairro da Luz, ajudou a avaliar o uso de materiais na superfície dos edifícios e das vias. A configuração do modelo está dividida em células com dimensões de 3m x 3m x 3.75m e 27m de *nesting grid* em cada lado da área de estudo. O tamanho total do modelo ficou com 186m x 186m e 62,5 m de altura (Figura 3).

Inicialmente houve uma significativa diferença nas curvas de temperatura do ar (Gráfico 3) ao se comparar os resultados da simulação com os valores medidos na Luz. Neste sentido as simulações preliminares serviram para investigar as principais variáveis do modelo e ajustar os dados de entrada do ENVI-met. A cada simulação, apenas um parâmetro era alterado de cada vez, possibilitando verificar o efeito de cada variável no resultado final.

Neste processo de ajuste do ENVI-met, a radiação solar que é calculada pelo programa de acordo com a latitude, apresentava valores acima das condições para São Paulo, sendo o Solar Adjustment Factor reduzido para 0.9. Durante as simulações preliminares, verificou-se que os valores da velocidade dos ventos influenciavam na amplitude da curva da temperatura do ar. Assim, a velocidade média medida na Luz de 1,6m/s foi reduzida para 0,8m/s nos dados de entrada do ENVI-met a fim de aproximar da curva de temperatura do ar em relação aos resultados medidos no canyon da Luz. Outra mudança feita nos dados de entrada foi aumentar em 1 °C a temperatura inicial para aproximar dos valores máximos de temperatura do ar medidos. Por outro lado, existe uma limitada correlação das curvas medidas e simuladas entre os períodos 7h - 9h e das 17h - 20h.

O Gráfico 4 mostra o resultado final dos estudos preliminares com a aproximação da curva de

temperatura do ar em relação aos resultados medidos no canyon da Luz, sendo o coeficiente de determinação  $R^2$ , calculado entre a temperatura do ar medida e simulada a partir de 79 valores, de 0.7487.

A Tabela 1 mostra os dados de entrada do ENVI-met definidos a partir dos ajustes feitos nas simulações.

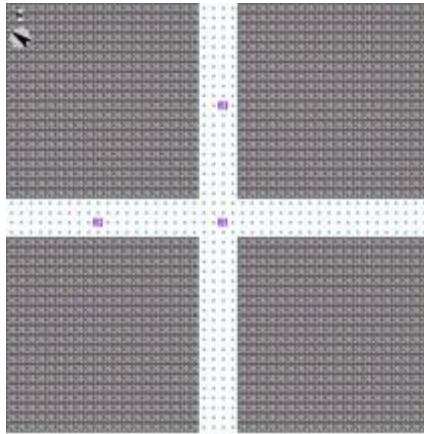


Figura 3: Modelo de simulação para ajuste do ENVI-met.

Tabela 1: Descrição dos dados de entrada do modelo ENVI-met – Configuração a partir dos ajustes do ENVI-met

<i>Atmosphere</i>	
Start of simulation (h)	<b>7:00</b>
Wind speed at 10 m above ground level [m/s]	<b>0.8</b>
Wind direction	<b>170</b>
Initial temperature of the atmosphere [in degrees Kelvin]	<b>297</b>
Specific humidity at 2500 m [g Water/kg air]	<b>9.0</b>
Solar adjustment factor	<b>0.9</b>
Relative humidity at 2m [%]	<b>70</b>
<i>Soils</i>	
Relative humidity in all layers [%]	<b>25</b>
<i>Buildings</i>	
Albedo of walls	<b>0.4</b>
Albedo of roofs	<b>0.3</b>

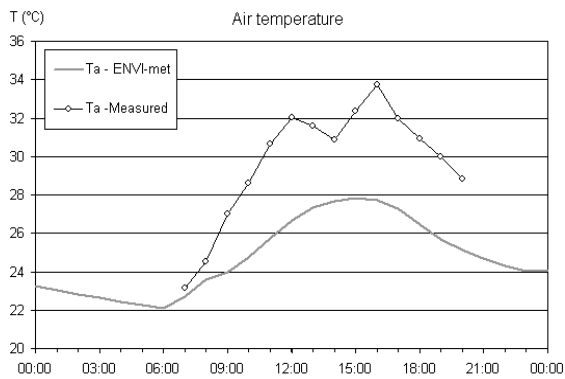


Gráfico 3: Comparação das temperaturas do ar medidas e simuladas (configuração inicial).

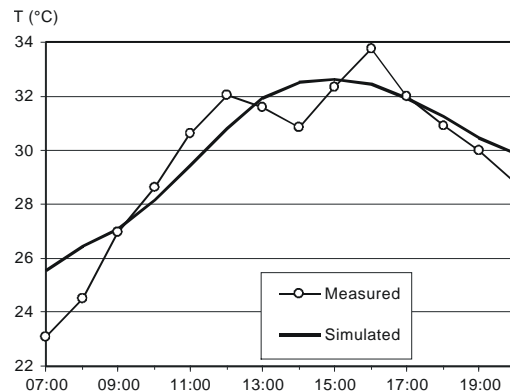


Gráfico 4: Comparação das temperaturas do ar medidas e simuladas (configuração final).

Além disso, foi necessária a construção de um banco de dados de vegetação local, a partir da pesquisa prévia das espécies mais utilizadas na cidade, com o levantamento de todas as propriedades utilizadas pelo modelo. O banco de dados de vegetação do ENVI-met tem como uma das principais variáveis a densidade de área foliar - LAD, isto é, uma relação entre a área de folha pela quantidade total de folhas em  $1m^3$  de copa, dado este de difícil quantificação e pouco conhecido nas áreas de paisagismo e mesmo da botânica.

Nas pesquisas sobre quantificação da biomassa foliar em geral utiliza-se o índice de área foliar – LAI como parâmetro chave para medir o crescimento da planta, influenciando diretamente na interceptação e absorção da luz na copa, assim como no balanço das trocas de calor e taxas de evaporação com a atmosfera. O LAI pode ser descrito como a relação da superfície total das folhas da copa ( $m^2$ ) pela área da projeção da copa na superfície do solo ( $m^2$ ).

O modelo ENVI-met utilizar os valores de LAD das árvores, ao invés do LAI nos cálculos de evapotranspiração e balanço de energia. Considerando que o LAD é calculado segundo a diferença entre o LAI medido a uma altura (H) e o valor do LAI a uma altura (H-1m), pode-se deduzir os valores de LAD baseados nas medidas de LAI ao longo da copa. No banco de dados de vegetação do programa, o LAI total é soma da densidade foliar existente em cada camada da árvore.

Os valores do LAI para diferentes espécies podem ser determinados de diferentes maneiras. Primeiramente, pela metodologia de Peper e McPherson (1998) com uso de imagens fotográficas para se determinar os valores de LAI pelo perfil das árvores. Os vazios existentes nas copas permitem a passagem da luz e sua intensidade é comparada com outras partes da copa até se chegar na penetração média do raio solar. Os resultados mostram a distribuição média das folhas e determinam os valores estimados de LAI.

Como alternativa, pode-se se calcular os valores médios de LAI a partir de equipamentos como o *LAI-2200 Plant Canopy Analyzer*, este equipamento calcula o LAI pelas medidas de radiação feita com um sensor óptico acoplado a uma lente grande angular ( $148^\circ$ ). As medidas são feitas embaixo e fora da copa para se determinar a interceptação da luz em cinco ângulos, sendo o LAI gerado por meio de modelos de transferência de radiação nas copas das árvores.

Ressalta-se que as medições no canyon da Luz foram escolhidas como dados de referência nos estudos preliminares do ENVI-met por apresentar a geometria mais próxima da modelagem que se pretendia estudar na segunda etapa da pesquisa (quadras com edifícios). Os dados medidos do parque não foram considerados no ajuste do ENVI-met pela falta de equipamentos que pudesse quantificar a densidade média da vegetação existente no Parque da Luz. Os estudos de Pepper e Mcpherson (1998) para determinar a densidade foliar são aplicados para árvores isoladas, sendo importantes para perceber as diferenças nos valores de LAI para diferentes espécies. No entanto, existe uma limitação para determinar os valores de LAI para grupos de árvores muito próximas.

### 3.3. Simulações Paramétricas no ENVI-met com vegetação

Nesses estudos, a tipologia arbórea utilizada foi uma espécie de copa muito densa T4 (LAI 10). A Figura 6 mostra o perfil dos valores de LAD definidos a partir dos estudos feitos utilizando a metodologia de Peper e Mcpherson (1998). A espécie tem altura total de 10 metros e inicia sua densidade foliar a partir dos 3 m, a fim de não barrar o fluxo dos ventos no nível do pedestre, até 9 m acima do solo (Gráfico 5).

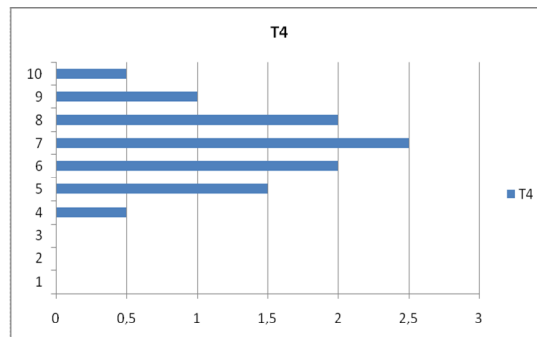


Gráfico 5: Perfil do LAD proposto para as árvores (T4), no eixo x os valor de LAD e no eixo y a altura da cada camada em metros.

A fim de se explorar os efeitos da vegetação e dando continuidade aos estudos paramétricos anteriores, foram definidas novas situações com diferentes formas de distribuição da vegetação. A modelagem do *Base Case* foi definida com base nos parâmetros fornecidos por Brandão (2007), com estudos de dimensão média das quadras, taxa de ocupação e altura média no Bairro de Moema. Estes dados foram adaptados para o tipo de grade existente no ENVI-met, sendo que o modelo final apresenta valores aproximados sobre a área edificada de Moema. Esta região foi escolhida apenas para fornecer os dados médios de tamanho das quadras e altura dos edifícios o que não estava disponível para a área da Luz.

O modelo do *Base Case* é formado por nove quadras de 9600 m<sup>2</sup> e edifícios com 24m de altura no formato perimetral sem aberturas no térreo para a ventilação, com a taxa de ocupação de 0.66 e sem a presença de vegetação. O material utilizado nas vias foi o asfalto e nos pátios internos, o concreto. Este modelo manteve a mesma configuração das variáveis climáticas levantadas para a área da Luz, na primeira medição realizada pelos pesquisadores do LABAUT, em dezembro de 2006. A Tabela 2 mostra os principais dados de entrada utilizados.

Tabela 2: Descrição dos dados de entrada do modelo ENVI-met – Modelo Paramétrico com nove quadras

Start Simulation at day	<b>18.12.2006</b>
Wind Speed in 10m ab. Ground [m/s]	<b>0.8</b>
Wind Direction (0:N/ 90:E/ 180:S/ 270:W)	<b>170</b>
Initial Temperature Atmosphere [K]	<b>297</b>
Specific Humidity in 2500m [g Water/ kg air]	<b>9</b>
Relativ Humidity in 2m [%]	<b>70</b>
Initial Temperature Upper Layer (0-20cm) [K]	<b>295</b>
Initial Humidity Upper Layer (0-20cm) [%]	<b>50</b>

A partir do *Base Case*, três cenários foram definidos com distribuição diferenciada da vegetação: o **Cenário 1** com um parque central ocupando uma quadra inteira; **Cenário 2** com pequenos parques presentes em cada quadra (Pocket Parks); e o **Cenário 3** com árvores em todas as vias. Nos cenários foram utilizadas árvores densas T4 (LAI=10). No interior das quadras o material utilizado foi o concreto (Figura 4).

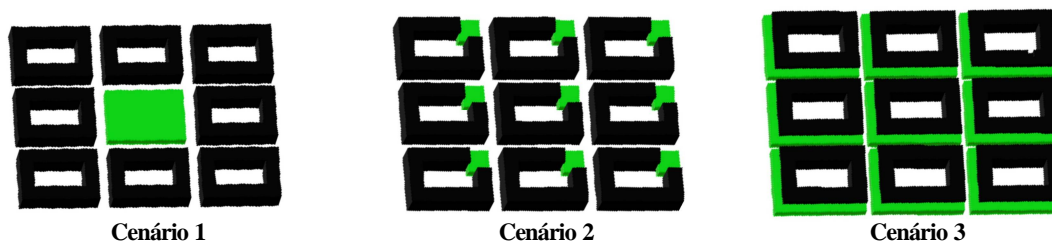


Figura 4: Três cenários definidos para a distribuição da vegetação a partir do Base Case.

As simulações foram feitas para o dia 19 de dezembro às 14h e apresentam os seguintes resultados para a temperatura média do ar:

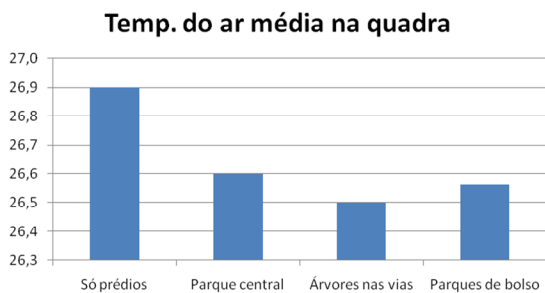


Gráfico 6: Comparativo da temperatura média nas quadras.

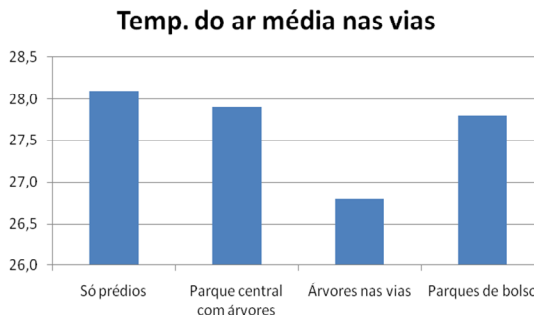


Gráfico 7: Comparativo das temperaturas médias nas vias.

Em relação aos resultados para a temperatura superficial, obteve-se:



Gráfico 8: Comparativo da temperatura superficial nas quadras.

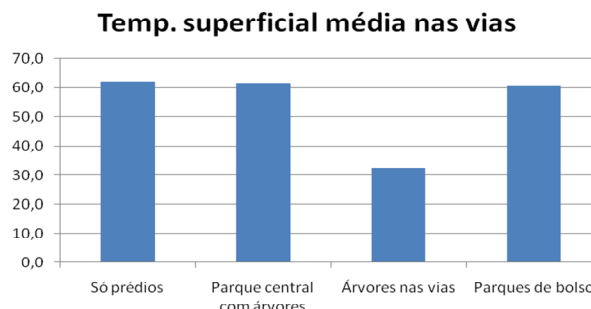


Gráfico 9: Comparativo das temperaturas superficial nas vias.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O Gráfico 6 mostra um comparativo das temperaturas médias do ar, sendo que na área com edifício sem vegetação (Base Case), o miolo de quadra apresenta temperatura média de 26,9°C, enquanto nos demais cenários com vegetação a temperatura do ar na área central ficou aproximadamente 26,6°C. O piso no Base Case é em cimento, enquanto no parque central existe a cobertura vegetal formado por árvores de copa densa (LAI 10).

O Gráfico 7 apresenta as temperaturas médias, sendo que em todos os cenários o material definido para as vias foi o asfalto. Os cenários do Base Case, Parque Central e Pequenos Parques apresentam temperaturas com valores aproximados, variando entre 27,70° C e 28,01°C. O cenário com arborização nas calçadas mostra uma temperatura média do ar mais reduzida de até 1,4 °C em relação às temperaturas no Base Case.

Em relação à temperatura superficial média no interior das quadras, o cenário do Base Case apresentou valores superiores de até 8 °C em comparação com os demais cenários com vegetação. Nas vias com a presença da vegetação, a temperatura superficial média chegou a 31°C, enquanto nas áreas com o asfalto exposto, as temperaturas atingem 61°C. Esses resultados mostram o efeito do sombreamento das copas densas, evitando o aquecimento das superfícies.

Conforme mencionado anteriormente, a vegetação permite o resfriamento e o aumento da umidade do ar pelo processo de evapotranspiração. Isso foi observado nos modelos paramétricos que indicaram temperaturas do ar mais baixas nas áreas verdes, porém, a intensidade foi de no máximo 1.4°C. Em relação à intensidade do efeito da vegetação, o sombreamento pelas árvores com LAI 10 mostrou resultados significativos com redução de temperaturas superficiais do solo, com cobertura em terra, de até 29°C nas áreas verdes.

Esses resultados indicam que o uso das árvores é uma estratégia para evitar o aquecimento superfícies em concreto e asfalto, sendo a densidade da copa o principal fator para a qualidade do sombreamento. No entanto, a extensão dos efeitos microclimáticos da vegetação urbana é local e, segundo as medições de campo, o efeito das árvores é sentida embaixo das copas e, sua influência não vai muito além dos limites das áreas verdes. Esse fato também foi observado nas simulações do ENVI-met, em que a influência da vegetação termina na borda do parque (Figura 5). Nesse sentido, pensando no conforto do pedestre, é preferível distribuir a vegetação em pequenos grupos do que implantar um único e grande parque.

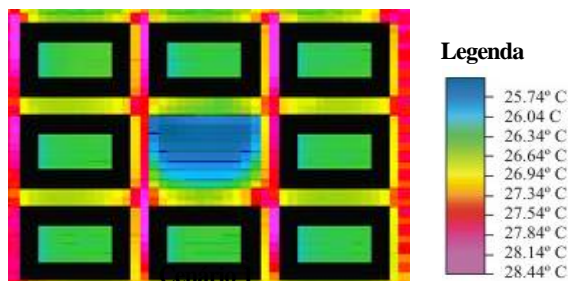


Figura 5: Extensão dos efeitos da vegetação nos limites do Parque Central



## 5. CONCLUSÕES

Segundo Givoni (1991), a influência de parques urbanos e espaços abertos no clima urbano se estendem somente a uma curta distância nos arredores densamente construídos. Santamouris (2001) avançou no sentido de realizar medições da temperatura do ar nas áreas internas e externas a um parque na cidade de Atenas, Grécia. O resultado indicou que a variação das temperaturas do ar no interior do parque foi de no máximo 1.5°C e a diferença entre o parque e o entorno durante o dia foi de aproximadamente 3°C.

Bruse (2004) estudou o efeito de um parque em Melbourne, Austrália, utilizando o programa ENVI-met e demonstrou que as temperaturas do ar entre o parque e a rua foi de no máximo 2°C. Agora este trabalho acrescenta novos dados com simulações realizadas para as condições microclimáticas da cidade de São Paulo e indicou uma diferença média de 1.4° C entre as temperaturas do ar nas áreas verdes arborizadas e as ruas adjacentes, além de quantificar as diferenças nas temperaturas superficiais embaixo da copa e nas vias, com diferenças de até 29°C, em média.

A pesquisa tinha como objetivo quantificar a intensidade e a distribuição espacial dos efeitos microclimáticos da vegetação. Por meio das medições de campo e das simulações realizadas pelo programa computacional ENVI-met pode-se quantificar a importância da vegetação nos aspectos climáticos.

Reverendo as simulações paramétricas realizadas no ENVI-met durante a pesquisa, verifica-se que a intensidade no efeito de uma área verde na temperatura do ar não ocorre principalmente devido à diferença na distribuição espacial da vegetação (parque linear, grande massas de vegetação, pequenos agrupamentos espaçados, etc.), mas principalmente pela densidade foliar que contribui nos processos de evapotranspiração e sombreamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. **Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation**. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2005.
- BRANDÃO, R. S. **Desenvolvimento de metodologia para geração de envelope integrado helio-luminoso**. 2007. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2007.
- BRUSE, M. **Simulating the Effects of Urban Environmental on Microclimate with a Three-Dimensional Numerical Model**. In: Climate and Environmental Change, Conference Meeting of the Commission on climatology, Evora, 1998.
- BRUSE M.; SKINNER C. J. **Rooftop Greening and Local Climate: A Case Study in Melbourne**. In: Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, WMO, 2004.
- DIMOUDI, A; NIKOLOPOULOU, M. **Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits**. Energy and Buildings, vol.35, n.1, 2003.
- FANGER, P.O. **Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering**. New York: McGraw Hill, 1972.
- GIVONI, B. *Impact of Planted Areas on Urban Environmental Quality- A review*. Atmospheric Environment, vol. 25, n.3, 1991, p.289-299.
- HEISLER, G.M. **Energy savings with trees**. Journal of Arboriculture, vol.12, n.5, p.113-125, 1986.
- KUO, F. E.; SULLIVAN, W. C.; COLEY, R. L. ; BRUSON, L. **Fertile ground for community: inner-city neighborhood common spaces**. American Journal of Community Psychology, v. 26, n.6, 1998, p.823-851.
- KUTTLER, W; STRASSBURGER A. **Air Quality measurements in a urban green area – A Case Study**. Atmospheric Environment. vol. 33, n. 24, 1999, p. 4101-4108.
- NOWAK, D. J., **The effect of Urban Trees on Air Quality**. USDA Forest Service, Syracuse, NY. 2004
- OMETO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. Agronômica Ceres. São Paulo, SP. 1981.
- PEPER, P.J; MCPHERSON, E.G. **Comparison of five methods for estimating leaf area index of open-grown deciduous trees**. Journal Arboriculture, vol.24 , n.2, p.98-111, 1998.
- SAILOR, D. J. **Simulated urban climate response to modifications in surface albedo and vegetative cover**. Journal of Applied Meteorology, v.34, 1995.
- SANTAMOURIS, M.**Energy and Climate in the Built Environment**. James and James, London, 2001.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. **Atlas Ambiental do Município de São Paulo**. São Paulo, 2000: SEMPLA, 1985, p. 358.

TAHA, H. et. al. (1992) **The impact of trees and white surface on residential heating and cooling energy use in four canadian cities**. Energy, v.17, n. 2, 1992, p.141-149.

TAHA, H. **Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat**. Energy and Buildings, n.25, 1997, p. 99-103.

ULRICH, R. **Gardens Have The Potential To Improve Health**. Science Daily, 2003.

YU, C.; HIEN, W. N. **Thermal benefits of the city parks**. Energy and Buildings, n.38, 2006, p. 105-120.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento da pesquisa.