

Calor e Áreas Verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP

Daniela Modna (1), Francisco Vecchia (2)

(1) Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - Universidade de São Paulo - Campus São Carlos

Rua 28 de setembro, 2365, São Carlos - SP (16) 270-5227

danimodna@yahoo.com.br

(2) Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - Universidade de São Paulo - Campus São Carlos

Av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos - SP (16) 273-9540

fvecchia@usp.sc.br

RESUMO

O clima urbano apresenta diferenças do clima de ambientes rurais, devido a fatores de modificação conseqüentes do processo de urbanização. O ar seco pode provocar sensações de desconforto e aumento da incidência de doenças respiratórias, agravadas pelos períodos de seca e pelas queimadas de cana-de-açúcar, típicas na região. O objetivo deste trabalho foi analisar diferenças de temperatura e umidade do ar em dois locais da região central de São Carlos, com características distintas, destacando-se pela diferença da vegetação arbórea. Foram instaladas duas estações meteorológicas: uma em área arborizada do Campus da USP/São Carlos e outra em uma praça, sem arborização considerável. O estudo ocorreu em outubro de 2002, durante o período de seca. A metodologia baseou-se nos princípios da Climatologia Dinâmica, que permite a identificação das variações climáticas críticas ao conforto e à saúde humanos. As medições realizadas na área arborizada mostraram menores valores de temperaturas do ar e amplitudes térmicas em relação àquelas feitas na praça. Nesta, foram encontrados menores valores de umidade do ar. Estas verificações levaram à conclusão que o ambiente urbano árido apresenta condições indicadoras de desconforto e insalubridade, sugerindo a adoção de medidas como a ampliação das áreas verdes para minimização de tais condições.

ABSTRACT

The urban climate differs from the surrounding countryside climate, due to changes on surfaces and atmosphere promoted by urbanization process. Dry air can promote human discomfort and raise of the incidence of respiratory diseases. The practice of burning the sugar cane fields, typical in São Carlos region, makes the situation worse. The aim of this study was to analyze the climate differences of two sites: the USP campus, a wooded area, and an arid square, comparing the data from meteorological stations installed on the cited areas. The study occurred in October of 2002, during a drought period. The methodology was based on the Dynamic Climatology principles, which makes possible a precise identification of climatic variations considered critical to human comfort. The measurements made on the wooded area showed lower values of air temperature and thermal amplitudes in comparison to that made on the square, where it was founded lower values of air humidity. Those verifications lead to the conclusion that the urban environment presents unhealthy discomfort conditions, justifying environmental correction actions, such as the improvement of greens areas to minimize this situation.

1. INTRODUÇÃO

Diversos autores têm relatado as diferenças microclimáticas promovidas nas cidades pelo processo de urbanização (LOWRY, 1967; LOMBARDO, 1985; OKE, 1987; PITTON, 1997). Sabe-se que mudanças na paisagem determinam condições que interferem diretamente na qualidade de vida dos habitantes das cidades. A definição de “ecossistema urbano”, de acordo com GÓMEZ *et al* (2001), refere-se à substituição do habitat natural por outro mais adequado às necessidades das pessoas atualmente. Entretanto, o ambiente artificial tem excedido a capacidade biológica de seus habitantes, que sentem necessidade crescente de equilíbrio envolvendo elementos naturais, como espaços livres de construções, presença de vegetação e água.

A modificação do clima das cidades pode ser ocasionada pelos seguintes fatores: os materiais utilizados nas construções e na pavimentação; o formato das cidades; as atividades humanas geradoras de calor; a remoção das águas das superfícies e a presença de poluentes no ar (LOWRY, 1967). O ambiente urbano apresenta, de acordo com o mesmo autor (1988), características climáticas em escala local.

A cidade e o dinamismo urbano atuam como geradores de um clima urbano. A modificação do espaço, em forma de verticalização das edificações, impermeabilização do solo e redução das áreas verdes, causa “alterações nos atributos climáticos locais”, representadas por inundações, poluição do ar e ilhas de calor (JESUS, 1995).

O gradiente horizontal da temperatura do ar tende a aumentar das áreas rurais e suburbanas na direção do centro da cidade, produzindo a chamada “ilha de calor”, resultado da modificação da superfície e da atmosfera pela urbanização. A alteração do regime de ventos, que passa a ser em direção aos locais mais quentes, pode significar dificuldade de dispersão de poluentes (OKE, 1987). Em um estudo sobre as ilhas de calor na cidade de São Paulo, observou-se que a grande diferença entre os valores de temperatura tomados na área central da cidade e nas áreas periféricas devem-se ao fato da existência, na primeira, de intensa verticalização de suas construções, grande tráfego de veículos (contribuindo para emissão de poluentes na atmosfera) e pouca vegetação (LOMBARDO, 1985).

TAHA (1997) afirma que a baixa taxa de evapotranspiração no ambientes urbanos, devido aos sistemas de drenagem, retirada da vegetação e pavimentação das superfícies, é o maior fator de incremento das temperaturas do ar durante o dia.

A presença de vegetação arbórea nas áreas urbanas é imprescindível para garantir condições de saúde física e psicológica às pessoas, sem mencionar os serviços ambientais fornecidos por um ambiente mais equilibrado. A vegetação oferece abrigo e alimento a diversas populações de animais, tais como aves, insetos e pequenos mamíferos, que potencialmente podem atuar como “inimigos naturais” de espécies indesejáveis comuns nas cidades, como mosquitos, moscas, baratas e pombos (MIRANDA, 2000).

O sombreamento do solo pelas árvores favorece a manutenção do equilíbrio energético do ambiente, uma vez que há o impedimento da absorção de radiação solar excessiva que, sendo depois re-emitida, promoveria o aquecimento do ar (OMETTO, 1981). Também, a evapotranspiração da vegetação contribui para a retirada da energia percebida como calor do ambiente e, dessa forma, para o resfriamento e a umidificação do ar, uma vez que se trata de um fenômeno endotérmico (MOTA, 1995).

Sobre a redução das amplitudes térmicas locais promovidas pela vegetação, LUGO (1991) afirma o duplo efeito da floresta sobre a umidade relativa do ar, sendo (1) a interceptação e volatilização de parte da água da chuva e (2) o processo de transpiração das folhas que lança, em uma dada escala espacial, mais vapor d'água na atmosfera. Assim, é esperado que se encontrem maiores valores de umidade do ar em ambientes arborizados do que em áreas descobertas. A estes efeitos se agrega ainda a função de barreira aos ventos.

2. OBJETIVO

Diante da possibilidade de se contribuir com a melhoria da qualidade de vida e entendendo que os estudos de climatologia urbana se integram às questões sociais e ambientais, busca-se com este trabalho fornecer informações, com base científica, para a realização de políticas públicas e para elaboração de programas governamentais voltados para a arborização urbana, visando uma adequada gestão do ambiente urbano.

Dessa forma, o objetivo específico do estudo foi verificar as diferenças existentes entre a temperatura e umidade relativa do ar entre dois locais na área urbana da cidade de São Carlos, de modo a demonstrar que espaços urbanos com maior volume de vegetação arbórea apresentam melhores condições de percepção do conforto térmico para os seres humanos.

3. METODOLOGIA

A cidade de São Carlos apresenta situações em que podem ocorrer episódios de estresse térmico, influenciadas pela localização geográfica, entradas de massas de ar, uso do solo e atividades sócio-econômicas. Localizada no topo das cuevas basálticas e no início do Planalto Ocidental, com altitude média de 850 metros, a cidade é particularmente exposta a ventos de escala zonal, sem que existam barreiras a sua penetração. Isto contribui significativamente para a determinação de suas características climáticas. A região é controlada por massas equatoriais e tropicais, que caracterizam climas tropicais alternadamente secos e úmidos. Segundo VECCHIA (1997), há anualmente a entrada de cerca de 60 massas de ar provenientes da Região Antártica. Tais massas de ar polar promovem a ocorrência de mudanças bruscas – dentro de um período de poucas horas - no tempo meteorológico da cidade, apresentando quedas nos valores de temperatura e aumento nos valores de umidade relativa do ar.

Quanto ao uso do solo, verifica-se uma tendência à verticalização das edificações, com conseqüente adensamento urbano nas regiões centrais. A quantidade de áreas verdes é insuficiente para atenuar as conseqüências impostas ao clima pelo processo de urbanização. HENKE-OLIVEIRA (1996) calculou que o índice de áreas verdes de São Carlos resulta em 2,65 m²/habitante. As áreas verdes públicas ocupavam até aquele ano apenas 2,46% da área urbana total. Em estudo publicado em 1999, o referido autor relata que das 582 áreas públicas de São Carlos, 140 correspondiam a áreas verdes, sendo somente 44 de uso coletivo, representadas por praças e jardins.

O período de maio a dezembro é especialmente crítico para a saúde dos habitantes desta região do Estado devido à ocorrência de queimadas dos campos de cana-de-açúcar. Nos meses de inverno, caracterizado pelos valores muito baixos de umidade relativa do ar, observa-se um significativo aumento de internações por doenças respiratórias (DATASUS, 2002), configurando uma situação em que o ambiente e uma grande parcela da população sofrem prejuízos em nome da lucratividade de um pequeno grupo de pessoas.

O campus da USP/São Carlos localiza-se na região central da cidade, sendo um dos poucos locais públicos da cidade a apresentar uma área verde relativamente alta em relação à área construída. Uma das estações meteorológicas foi instalada em um local conhecido como “bosque da Química”, uma vez que fica próximo ao Instituto de Química de São Carlos. O bosque (22°00'16''S e 47°53'50''W, 847 metros) apresenta formato aproximadamente retangular, com 38,5m (direção leste-oeste) por 57,5m (direção norte-sul), tendo ao seu redor superfícies impermeabilizadas e prédios com dois a quatro pavimentos. O solo do bosque não é pavimentado, sendo coberto por serapilheira. A estação foi instalada no interior da Oficina de Manutenção Predial, próxima ao bosque.

A praça Coronel Salles (22°01'00''S e 47°53'22''W, 855 metros) também está localizada no centro da cidade. O número de árvores é pequeno, sendo insuficiente para o seu sombreamento. O solo é impermeabilizado e o entorno é caracterizado pela existência de prédios altos e tráfego intenso de veículos. Os sensores da estação meteorológica utilizada aqui permaneceram no pátio de uma escola localizada na praça, por razões de segurança.

A distância entre as duas áreas de estudo é de aproximadamente um quilômetro. As variáveis estudadas foram medidas através de termopares que compunham os psicrômetros fixados nos pontos de medição. Foram tomadas temperaturas de bulbo seco (TBS) para o estudo da temperatura do ar. Para verificar os valores de umidade do ar, foram utilizados termômetros de bulbo úmido (TBU),

confeccionados a partir de termopares envoltos em gaze, cuja extremidade oposta à atada ao termopar permanecia mergulhada em um reservatório de água.

As temperaturas obtidas nestes sensores eram sempre menores que as observadas nos termômetros de bulbo seco, uma vez que o processo de evaporação na superfície da gaze úmida absorvia a energia percebida como calor. Assim, levando-se em conta que a taxa de evaporação é inversamente proporcional à quantidade de vapor d'água existente no ar, concluiu-se que quando as temperaturas de bulbo úmido eram menores, deveria estar ocorrendo mais evaporação. Portanto, considerou-se que isto significava menor quantidade de vapor d'água no ar, ou seja, que o ar estava mais seco.

Tanto no bosque quanto na praça, os sensores foram colocados cerca de 3 metros acima do solo, de maneira a evitar que sofressem danos ou interferências praticados por transeuntes. A tomada de dados era realizada a cada 20 segundos, sendo a média deles armazenada no *storage module* a cada 30 minutos.

A metodologia utilizada nesta análise, desenvolvida por VECCHIA (1997), se baseia nos princípios da Climatologia Dinâmica, que considera a sucessão dos tipos de tempos. A observação destes permite a definição de padrões climáticos de um dado espaço geográfico, através do estudo de episódios climáticos representativos. Nos mesmos são identificadas as variações climáticas críticas ao conforto e à saúde humanos, como a ocorrência de grandes amplitudes térmicas e diminuição nos valores de umidade relativa do ar. O método é aplicável a quaisquer características de comportamento climático, desde que seja conhecida a gênese que define o clima do local. A gênese do clima consiste nos processos e mecanismos da circulação atmosférica regional decorrentes da circulação geral, que por sua vez decorre do balanço energético da Terra.

O período considerado para a análise dos dados foi do dia 25 a 28 de outubro de 2002, durante a fase de domínio de uma massa de ar tropical quente e seca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As massas de ar, de acordo com CUADRAT (1997), são volumes de ar de centenas ou milhares de quilômetros de comprimento e vários quilômetros de altura. Suas propriedades físicas, tais como a temperatura e a umidade, são uniformes no plano horizontal. Suas características (quente, fria, úmida ou seca) são modificadas pelo contato com a superfície das regiões geográficas ao longo de seu avanço. As peculiaridades do tempo meteorológico dependem das propriedades iniciais da massa de ar e das mudanças que a mesma sofre ao longo de sua trajetória.

À época das medições, a região sudeste do Brasil atravessava um período de seca de mais de três meses. Esse fato é evidenciado pelas imagens obtidas através do satélite GOES, nas figuras de 1 a 4, onde se vê que há poucas nuvens sobre o Estado de São Paulo (INPE, 2002).

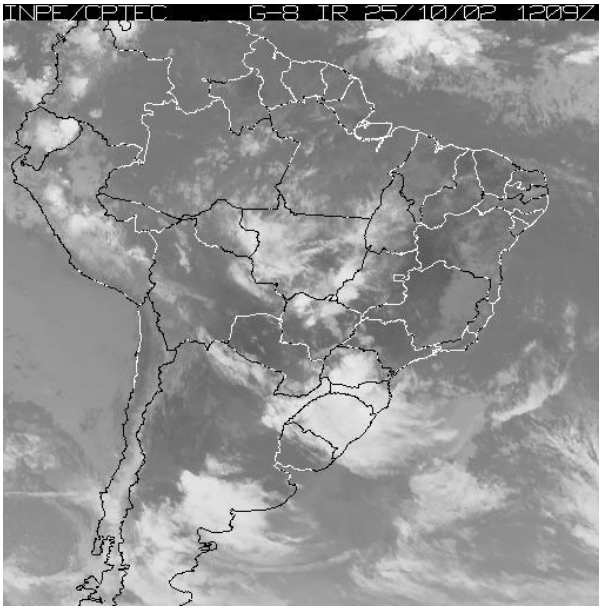


Figura 1 - Satélite GOES: América do Sul em 25 de outubro de 2002 (Fonte: INPE, 2002).

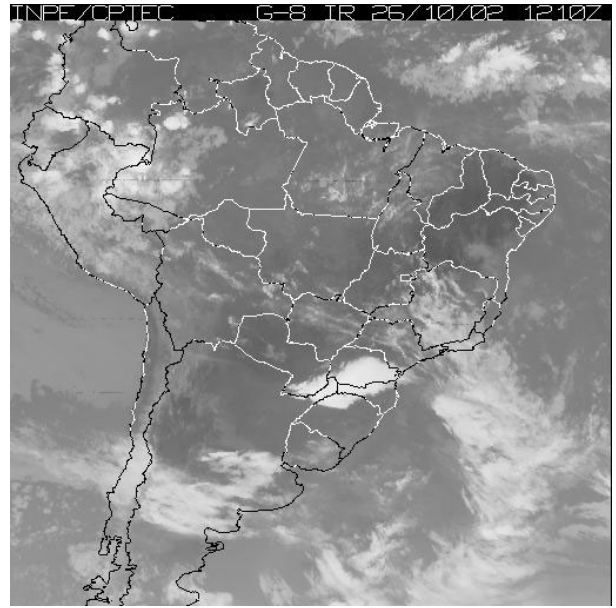


Figura 2 - Satélite GOES: América do Sul em 26 de outubro de 2002 (Fonte: INPE, 2002).

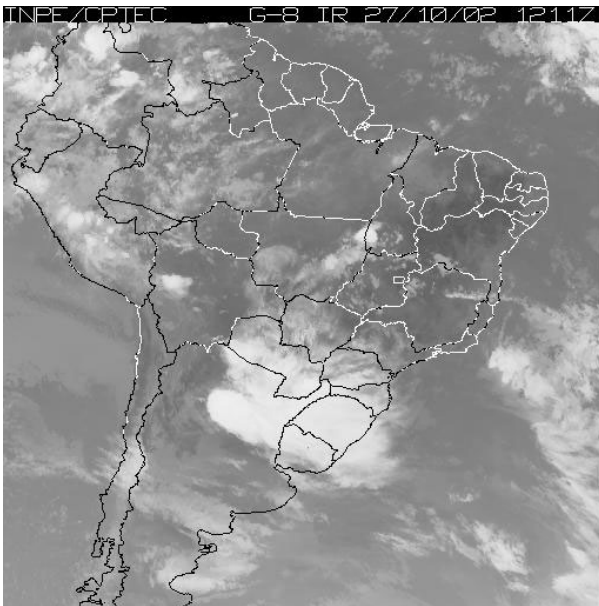


Figura 3 - Satélite GOES: América do Sul em 27 de outubro de 2002 (Fonte: INPE, 2002).

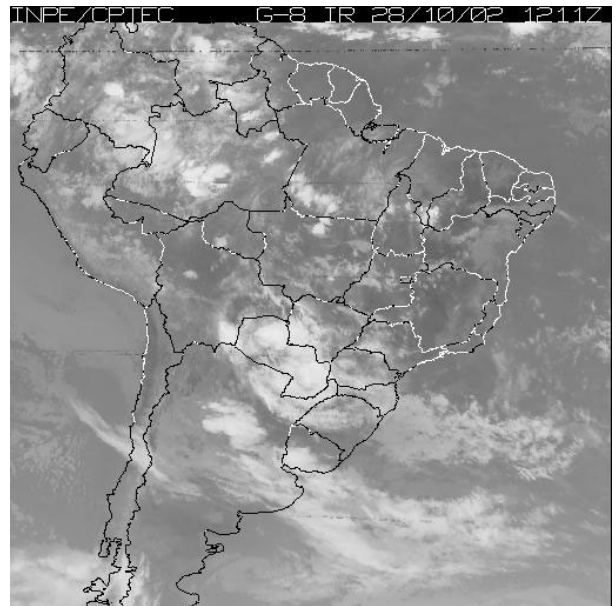


Figura 4 - Satélite GOES: América do Sul em 28 de outubro de 2002 (Fonte: INPE, 2002).

Nos gráficos a seguir, são notadas as diferenças existentes entre as temperaturas do ar no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles.

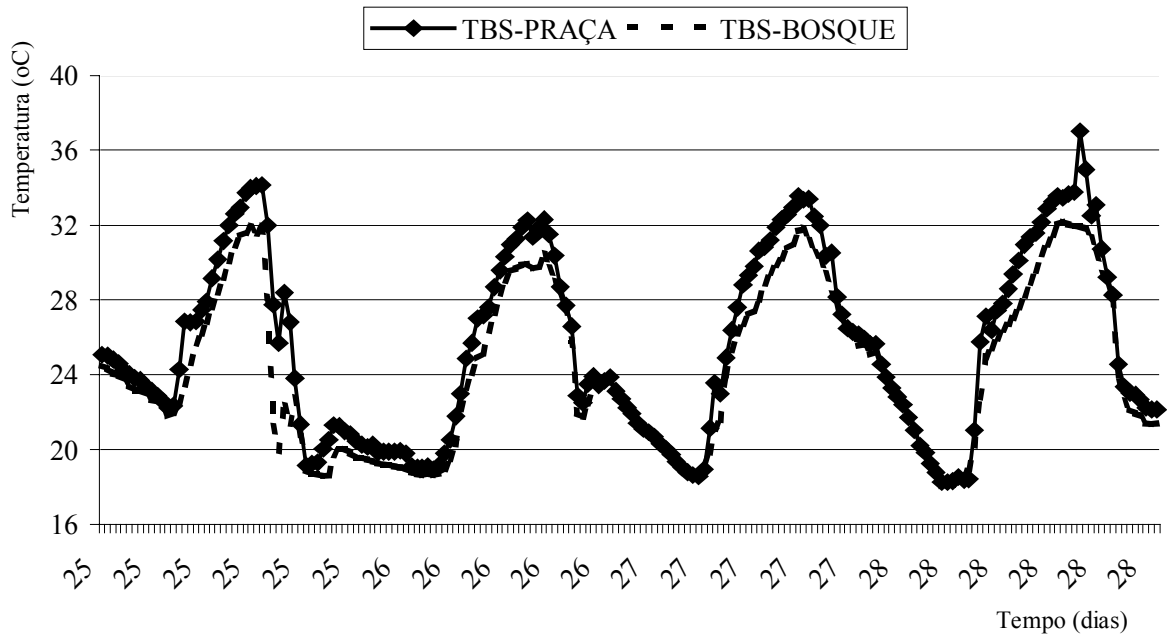


Gráfico 1 - Temperaturas do termômetro de bulbo seco (TBS).

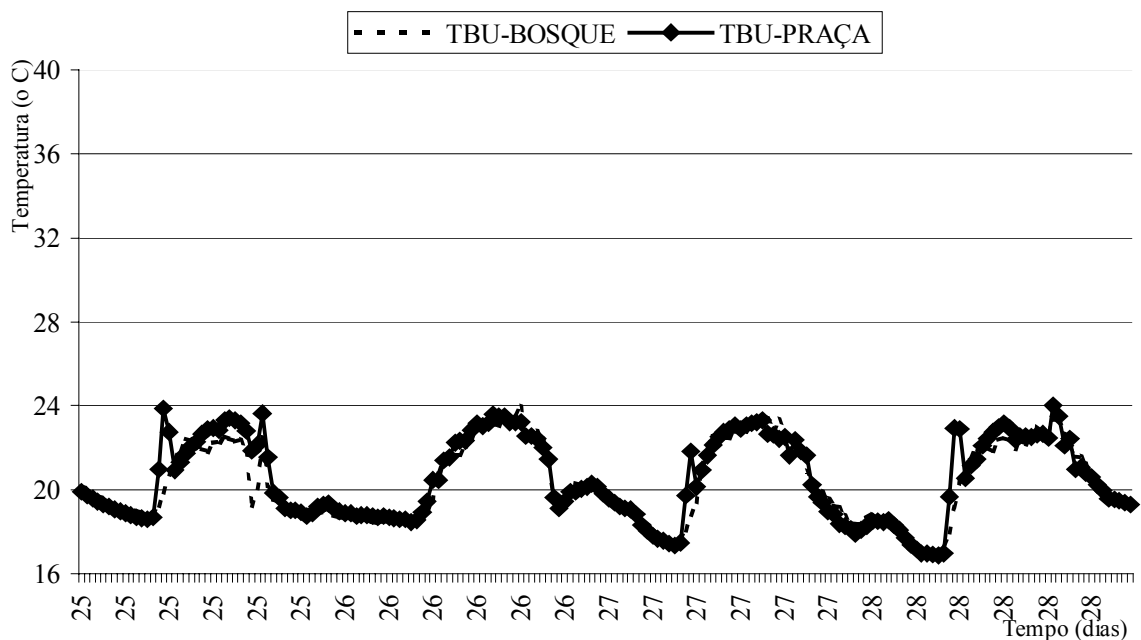


Gráfico 2 - Temperaturas do termômetro de bulbo úmido (TBU).

Observa-se que o bosque apresenta temperaturas de bulbo seco mais amenas que a praça. Isto se deve ao sombreamento promovido pelas árvores, que absorvem e refletem a radiação, impedindo o aquecimento do ar, e à evapotranspiração.

As maiores diferenças de temperatura ocorrem durante o dia no período da tarde, o que decorreu da radiação re-emitada pelas superfícies da praça que circundavam os sensores.

Foram verificadas diferenças de 2 a 3° C, nas horas mais quentes do dia, entre os dois locais de estudo. Embora tais resultados sejam similares ao de outras investigações (TAHA, *op Cit e BARBOSA et al, 2003.*), pode-se considerar as pequenas dimensões do bosque, o que reduziria sua influência como fator geográfico de modificação do microclima. Assim, os valores de temperatura e umidade do ar seguiriam as tendências de escala mesoclimática, aproximando-se, portanto, dos valores registrados na praça Coronel Salles, de característica árida. Seguindo o raciocínio explicitado anteriormente, espera-se que os locais com ar mais seco sejam aqueles com maior taxa de evaporação; logo, deveriam apresentar menores temperaturas de bulbo úmido.

As temperaturas de bulbo úmido obtidas no bosque e na praça apresentaram pequenas diferenças entre si. A explicação provável para isto é a seguinte: a temperatura do ar da praça é mais alta que no bosque; assim, na praça, as temperaturas de bulbo úmido seguiriam a tendência das de bulbo seco. Entretanto, a ocorrência de evaporação no termopar estaria “roubando” algum calor da superfície nos termômetros de bulbo úmido da praça, fazendo com que a diferença entre as temperaturas verificadas nos dois locais diminuísse. Este fato contribui para a afirmação inicial de que os ambientes áridos, representados pela praça, apresentam valores de umidade do ar menores que os ambientes arborizados.

5. CONCLUSÕES

Pode-se inferir que os elementos de modificação das condições iniciais do clima - ausência de vegetação e impermeabilização das superfícies, sobretudo - são as maiores responsáveis pelas diferenças registradas na parte experimental do presente estudo, uma vez que a massa de ar sobre a região tem características horizontais uniformes.

A ação da vegetação parece ser muito mais significativa em impedir o aquecimento do solo do que em promover seu resfriamento por evapotranspiração, uma vez que temperaturas elevadas provocam como resposta nos vegetais o fechamento dos estômatos, evitando que as folhas percam água para o ambiente.

Investigações como a realizada nesse estudo podem contribuir para reforçar o respaldo científico e a justificativa de políticas públicas tanto de ampliação de áreas verdes como para manutenção de áreas naturais no ambiente urbano.

As proposições iniciais que motivaram este trabalho - de que o ambiente urbano árido apresenta condições propícias ao desconforto, podendo atingir situações de insalubridade - estão em conformidade com os resultados do presente estudo. Diante disso, reafirma-se a importância da conservação de um ambiente equilibrado, cujas funções fornecem às populações humanas uma grande quantidade de serviços ambientais, que possibilitam condições de boa qualidade de vida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, R.V.R., BARBIRATO, G. & VECCHIA, F.A.S. (2003) Vegetação urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e III CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, Curitiba. *Anais*. PUC – ANTAC (no prelo).
- CUADRAT, J.M. & PITA, M.F. (1997) *Climatología*, Ediciones Cátedra, España. 496 p.
- DATASUS. (2002) *Internações por doenças respiratórias no município de São Carlos*. Disponível em <http://www.tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sih/cnv/misp.def>. (setembro/2002).
- GÓMEZ, F., TAMARIT, N. & JABALOYES, J. (2001) Green zones, bioclimatic studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning*, nº 55, p. 151-161, 2001.
- HENKE-OLIVEIRA, C. (1996) Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnósticos e propostas. São Carlos, 181p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e Saúde, Universidade Federal de São Carlos.

- _____ & SANTOS, J.E. (1999) *Áreas verdes e áreas públicas de São Carlos (SP): diagnósticos e propostas*. Disponível em: <http://www.lapa.ufscar.br> (setembro/2002).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE (2002) *Imagens da América do Sul captadas pelo satélite GOES, em outubro de 2002*. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/satelites> (março/2003).
- JESUS, E.F.R. (1995) Espaço, tempo e escala em Climatologia. São Paulo. 217 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- LOMBARDO, M.A (1985) *Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo da cidade de São Paulo*, Hucitec, São Paulo. 244 p.
- LOWRY, W. (1967) The climate of cities. *Scientific American*, vol. 217, nº 2, p. 15-24, 1967.
- _____ (1988) *Atmospheric Ecology for Designers and Planners*, Van Nostrand Reinhold, USA. 435 p.
- LUGO, A.L. (1991) Forest and climate reforestation and deforestation: their potential effect on the climate. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, Paris. *Annals*. Vol. 10, p. 39-48.
- MIRANDA, J.R. (2000) *Animais urbanos, esses desconhecidos*. Disponível em: <http://www.agestado.com.br/ciencia/aspas/2000/abr/07.61.htm> (janeiro/2003).
- MOTA, S. (1995) *Urbanização e meio ambiente*, ABES, Rio de Janeiro. 199p.
- OKE, T.R. (1987) *Boundary layer climates*, Routledge, 2a Ed , UK. 434p.
- OMETTO, J.C. (1981) *Bioclimatologia vegetal*, Ed. Agronômica Ceres, São Paulo. 495 p.
- PITTON, S.E.C. (1997) As cidades como indicadoras de alterações térmicas. São Paulo, 272 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- TAHA, H. (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, nº25, p. 99-103, 1997.
- VECCHIA, F.A.S. (1997) Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. São Paulo, 316 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

AGRADECIMENTO

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pelo financiamento desta pesquisa.