



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

**VII ELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

## O CLIMA LOCAL EM SÍTIOS URBANOS SITUADOS PRÓXIMOS DE FRAGMENTOS FLORESTAIS

**Cristiane Dacanal (1); Lucila Chebel Labaki (2)**

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, [crisdacanal@hotmail.com](mailto:crisdacanal@hotmail.com)

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br)

Universidade Estadual de Campinas, Departamento Arquitetura e Construção, Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada, Cx Postal 6021, Campinas-SP, CEP 13083-852, Tel.: (019) 35212064

### RESUMO

A identificação de elementos e de desenhos urbanos favoráveis à mitigação das ilhas de calor e ao conforto térmico urbano é tema de grande importância para o desenvolvimento sustentável. Há uma relação entre as diferenças térmicas intra-urbanas e o padrão de uso e ocupação do solo. A escassez de áreas livres, de vegetação e de água, ao lado de grandes áreas pavimentadas e adensadas, são fatores que provocam o aquecimento e o desconforto térmico. Já as áreas verdes contribuem para diminuição da temperatura do ar, dependendo, contudo, de suas características – estrutura, densidade, idade, quantidade e número de espécies de plantas. Diante disso, o principal objetivo deste trabalho é caracterizar o topoclima e mensurar a intensidade das ilhas de calor em cinco sítios urbanos situados próximos de fragmentos florestais na cidade de Campinas-SP. Dados de temperatura do ar e de umidade relativa do ar foram obtidos na altura de 10 m, durante nove dias consecutivos na estação quente e seca do ano de 2009. A intensidade das ilhas de calor variou entre 0,9 °C e 1,8 °C, podendo ser consideradas baixas quando comparadas a valores de referência citados na literatura. Uma zona de baixo desenvolvimento urbano, localizada próxima de um fragmento florestal de grande dimensão, apresentou comportamento térmico similar a de sítios urbanos consolidados, o que não ocorreu em uma zona de baixo desenvolvimento próxima de um fragmento florestal de menor dimensão. Assim, identificou-se menor amplitude térmica diária em áreas urbanas desenvolvidas ou na presença de grande massa de vegetação. Além disso, verificou-se uma correlação negativa entre a taxa média de aquecimento dos sítios urbanos e a intensidade das ilhas de calor noturnas.

Palavras-chave: clima urbano, fragmento florestal urbano, ilha de calor.

### ABSTRACT

Urban design criteria can mitigate urban heat island (UHI) and improve thermal comfort, becoming an important subject to sustainable development. Some researches verified a close relationship between air temperature differences and land use pattern through the cities. The absence of open spaces, green areas and water, and the large paved areas and high-density constructions, are some factors which cause urban heating and thermal discomfort. Already, the green areas could contribute to lowering the air temperature. However, this effect depending on vegetation characteristics – structure, density, age, quantity and number of species of plants. The primary objectives of this paper were to study the local climate and UHI intensity in five urban sites that were located near forest fragments in Campinas city, Brazil. Field measurements were conducted to obtain air temperature and relative humidity data, at 10 m height, during nine consecutive days in the 2009 dry, warm season. The intensity of UHI ranged from 0.9 °C to 1.8 °C, rating that may be considered low when compared to urban center references. The site proximity of the largest forest intensified the UHI and it reduced the daily temperature range. This effect wasn't observed when the site was adjacent to a small forest fragment. So, low daily temperature range was observed in high development sites or in an urban site near a large green area. Also, there was found a negative correlation between the average rate of warming and the UHI phenomenon.

Keywords: urban climate, urban forest fragment, urban heat island.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, caracterizado pela substituição de áreas permeáveis e vegetadas por áreas impermeáveis e construídas, altera as propriedades meteorológicas da camada de ar próxima da superfície terrestre, configurando o clima urbano (MONTEIRO E MENDONÇA, 2009). Comparativamente ao ambiente rural, nas cidades há uma diminuição da água disponível para a evaporação, predominando o fluxo de calor sensível ao latente (MARIN et al., 2008). A gama de materiais construtivos e a extensa área superficial da volumetria edificada acarretam um balanço de radiação complexo, caracterizado por múltiplas reflexões de ondas curtas e a interação entre a emissão e a reflexão de ondas longas (OFFERLE et al., 2003). A utilização de materiais construtivos com alta capacidade calorífica e a incidência da radiação solar durante um longo período do dia sobre estas superfícies ocasionam na elevação da temperatura do ar (LOMBARDO, 1997; TAHA, 1997). Esta é intensificada pela produção de calor antropogênico e presença de partículas de poluentes suspensas na atmosfera urbana. Assim, observa-se a formação de ilhas de calor, cuja magnitude varia com o padrão de ocupação urbana (GIVONI, 1998; MONTEIRO E MENDONÇA, 2009).

A identificação de elementos e de desenhos urbanos favoráveis à mitigação das ilhas de calor e ao conforto térmico urbano é tema de grande importância para o desenvolvimento sustentável. Os efeitos térmicos sobre os ecossistemas naturais podem degradá-los, necessitando-se de ações urgentes para o seu controle (HAMADA e OHTA, 2010).

Destacam-se alguns valores de referência em relação à intensidade das ilhas de calor noturnas em cidades brasileiras: em Campina Grande-PB, foi observada uma diferença térmica entre a área urbana e rural ( $\Delta T_{u-r}$ ) de cerca de 0,5 °C às 22:00h (SILVA et al., 2010); em Montes Claros-MG a  $\Delta T_{u-r}$  máxima observada foi de 3 °C a 4 °C, às 22:00h, nos meses de julho e setembro (GOMES e LAMBERTS, 2009); em Cuiabá-MT a  $\Delta T_{u-r}$  foi de 2,5 °C, na estação chuvosa, e de 5 °C, na estação seca (MAITELLI, 1994 referenciado por PAGLIARINI, 2008); medições posteriores evidenciaram uma  $\Delta T_{u-r}$  em Cuiabá de mais de 6 °C na estação seca e de 7 °C na estação chuvosa (DUARTE, 2000 referenciado por PAGLIARINI, 2008); monitoramentos em diferentes pontos na área urbana de em Campinas-SP, entre julho e agosto de 2004, mostraram uma  $\Delta T_{u-r}$  máxima de 4 °C às 22:00h (PEZZUTO, 2007).

Contudo, a intensidade das ilhas de calor varia entre os sítios urbanos. Neste sentido, diversas pesquisas verificaram estreita correlação entre as diferenças térmicas intra-urbanas com o padrão de uso e ocupação do solo, com a distribuição e porcentagem de cobertura vegetal e com a propriedade térmica dos materiais construtivos (WONG e YU, 2005; HAMADA e OHTA, 2010; GOMES e LAMBERTS, 2009; SAARONI et al., 2000; JUSUF et al., 2007; FARIA e MENDES, 2004). Observa-se que a escassez de áreas livres, de vegetação e de água, ao lado de grandes áreas pavimentadas e adensadas, são fatores que provocam o aquecimento e o desconforto térmico, tais como a maioria das áreas centrais (DUARTE, 2000; KRÜGER e GIVONI, 2007). Ao contrário, identifica-se uma correlação negativa entre o aumento do percentual de áreas verdes e a diminuição da temperatura do ar (HAMADA e OHTA, 2010).

O resfriamento das áreas urbanas próximas de áreas verdes é causado pelas trocas térmicas advectivas (HAMADA e OHTA, 2010 citando NARITA et al., 2007), que ocorrem no plano vertical entre ambientes com microclimas dependentes. Estas trocas dependem dos volumes considerados - quando o volume é alto o suficiente, o fluxo de calor advectivo é igual ao fluxo trocado verticalmente entre o solo e o ar (GEIGER, 1966). Assim, em áreas verdes com arborização de grande porte prevê-se um elevado fluxo térmico entre o volume edificado e o vegetado. A elevação da umidade do ar também contribui para o aumento da perda de calor latente nos arredores das áreas verdes. A atuação dos ventos pode direcionar o efeito de resfriamento para uma área urbana de maior abrangência.

No entanto, o microclima das áreas verdes depende de sua estrutura e composição florística. A estratificação florestal e o aumento da área foliar intensificam a capacidade de interceptação da radiação solar e de evapotranspiração (TAHA, 1997), elevando o potencial de resfriamento do ar. Assim, as áreas verdes com vegetação densa e estratificada, tais como as áreas de preservação permanentes, mostram-se importantes para o controle de extremos climáticos em cidades de clima quente. A preservação de testemunhos de vegetação nativa pode contribuir não só para a manutenção da flora e fauna, como para a melhoria das condições térmicas no ambiente urbano.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar o topoclima e mensurar a intensidade das ilhas de calor em cinco sítios urbanos, situados próximos de fragmentos florestais na cidade de Campinas-SP, evidenciando a importância da preservação florestal no ambiente urbano.

### 3. MÉTODO

#### 3.1. Coleta de dados climáticos

A unidade climática representativa de um padrão urbano é denominada de clima local ou topoclima, enquanto o microclima reflete características pontuais do espaço (OKE, 2006; MONTEIRO E MENDONÇA, 2009). Dessa maneira, o topoclima, que representa uma combinação de efeitos microclimáticos, deve ser observado na altura aproximada de 1,5 vezes a altura média das construções ( $Z_h$ ) (OKE, 2006). É também recomendado que os pontos representativos de um padrão urbano estejam distantes de elementos que possam causar anomalias (OKE, 2006), a não ser que a intenção seja verificar estas interferências, como é o caso da presente pesquisa.

Diante disso, foram selecionados cinco pontos para o monitoramento de temperatura e umidade do ar, localizados próximos de fragmentos florestais urbanos. Visto que a altura média das edificações nestes bairros é de 7 m (1 a 2 pavimentos mais a altura da cobertura), calculou-se que 10 m seria uma altura suficiente para representar o topoclima.

Uma visita aos bairros, nas imediações dos fragmentos florestais urbanos, possibilitou identificar locais disponíveis para a instalação dos instrumentos de medição. Os registradores foram fixados em torres de televisão ou escada de caixa d'água, como ilustra a Figura 1.



Figura 1 – Posicionamento dos registradores de temperatura do ar e umidade relativa do ar nos sítios de monitoramento.

Os registros foram feitos automaticamente, em intervalos de 15 minutos, durante nove dias consecutivos, entre 26/08/2009 e 03/09/2009. Os instrumentos utilizados foram:

- Registrador de temperatura e umidade ambientes e saída para temperatura externa (não utilizada), marca e modelo Testo 175-H2, com precisão para o canal interno: umidade relativa do ar +/- 2%, e registros entre 0% e +100%; temperatura do ar +/- 0,5 °C, e registros entre -20 °C e +70 °C;
- Protetor de registrador, contra a radiação e chuva, permitindo a ventilação natural;
- GPS Garmin 60CX, para o registro das coordenadas dos pontos de monitoramentos.

#### 3.2. Caracterização dos sítios urbanos

Para distinguir os usos do solo nos sítios urbanos foi realizada uma classificação supervisionada com base em fotografia aérea fornecida pela SEPLAMA (Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente- Prefeitura Municipal de Campinas, SP). Utilizou-se como critério para a classificação a distinção entre áreas edificadas (quadras com edificações mistas, edifícios altos, edifícios baixos, casas, quadras com usos institucionais, galpões industriais e shoppings) e áreas não edificadas ou com baixa taxa de ocupação (rurbano, bosques e matas, sistemas de lazer, grama, pasto e terra exposta, silvicultura e água). A classificação foi checada *in loco*, visualizando-se os padrões da paisagem durante a realização dos trabalhos de campo.

Estes critérios utilizados na classificação do uso do solo urbano permitiram diferenciar os padrões que compõem as *zonas climáticas urbanas*, conforme as classes estabelecidas por Davenport et. al (2000).

Após a classificação, calculou-se os percentuais de usos do solo em um raio de 500 m ao redor dos pontos fixos de monitoramento climático, utilizando-se o *software* ArcMap.

#### 3.3. Forma de análise dos resultados

As análises dos resultados foram feitas comparando-se as variáveis climáticas obtidas nos sítios com os dados da estação meteorológica do CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura), que representa a zona rural. Calcularam-se as diferenças térmicas e de umidade do ar local em três horários do dia – às 6h, horário em próximo da temperatura mínima diária; às 14h, horário em próximo da temperatura máxima diária; e às 22h, horário em que é possível identificar a ocorrência de ilhas de calor noturnas. Os percentuais de usos do solo dos sítios foram correlacionados às estatísticas da temperatura do ar, buscando-se parâmetros físicos e climáticos relacionados ao clima local urbano.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Características de uso e ocupação do solo de sítios urbanos

A localização dos cinco sítios de monitoramento climático no Município de Campinas é mostrada na Figura 2. Apesar dos bairros terem uso predominantemente residencial de baixo gabarito, o grau de desenvolvimento urbano os diferencia, de modo que alguns estão em zonas urbanas já consolidadas (sítio 2 - Jardim Guanabara, sítio 3 - Jardim Proença e sítio 4 - Jardim Nova Europa) e outros em áreas de expansão, confrontando com a zona rural (sítio 1 - Bosque de Barão, localizado no Distrito de Barão Geraldo, e sítio 5 - Jardim Madalena, próximo ao *Galeria Shopping*, na Rodovia Dom Pedro I), como se observa na Figura 3.

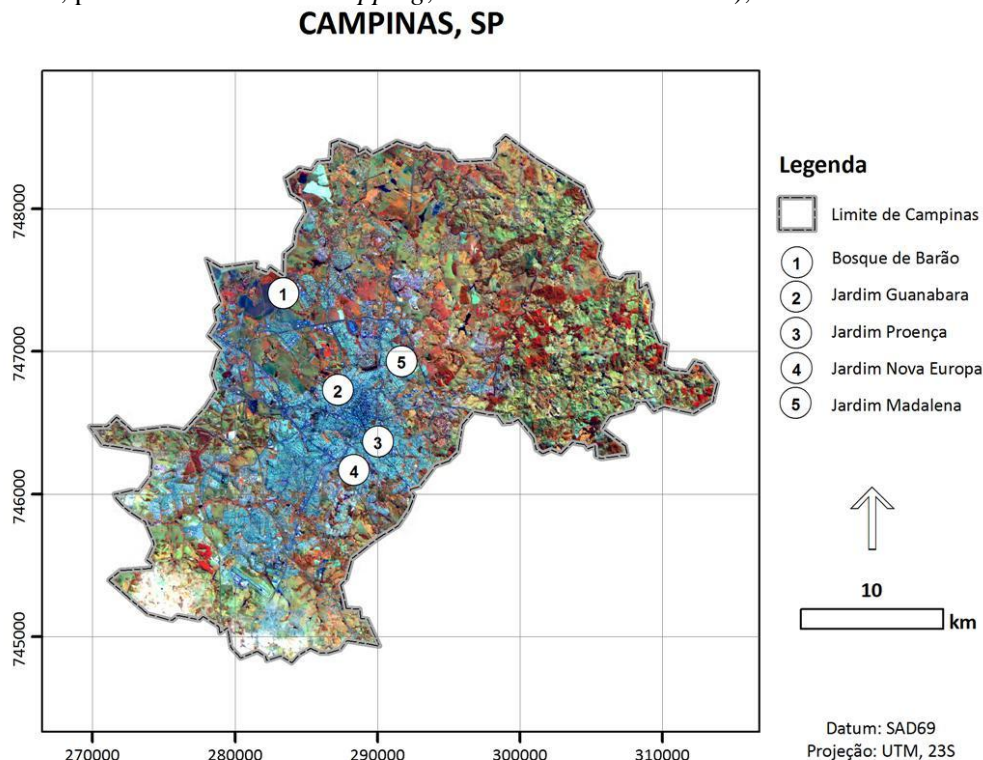


Figura 2 – Localização dos sítios de monitoramento no Município de Campinas. Imagem do Satélite LANDSAT 5, de 05 Ago. 2009.

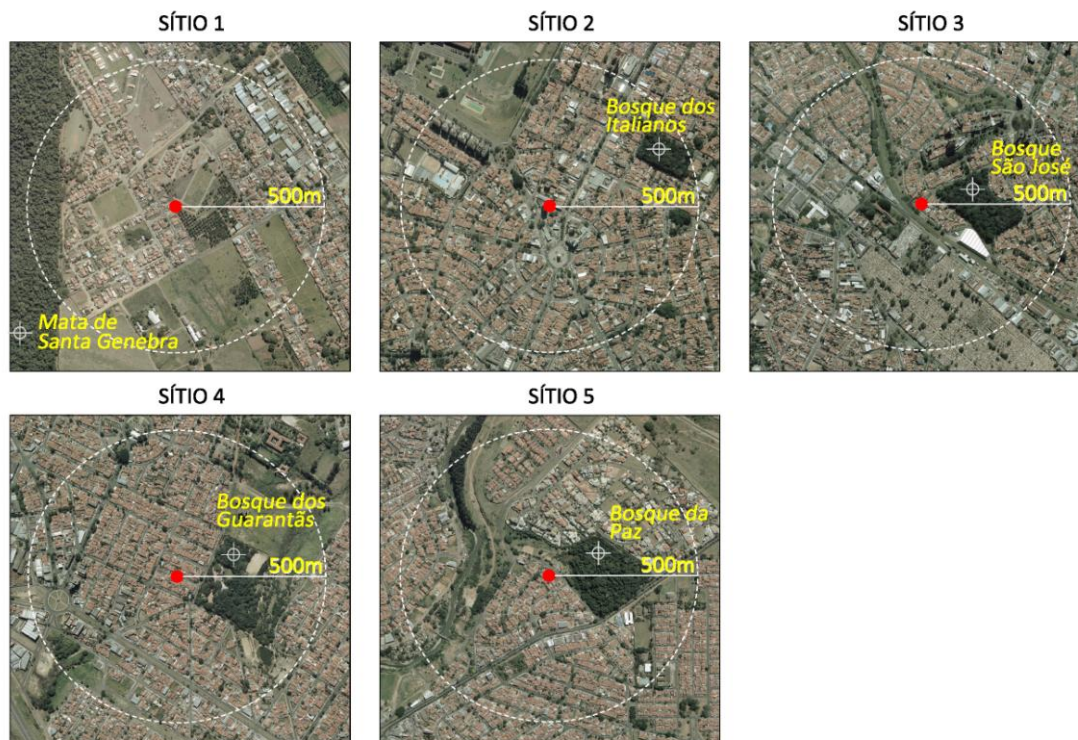


Figura 3 – Fotografias aéreas dos sítios urbanos de monitoramento climático em Campinas, SP. Destaque para uma faixa de 500 m (círculo branco tracejado) a partir da estação fixa de monitoramento climático (ponto vermelho).



Os percentuais de usos do solo, apresentados na Tabela 1 e calculados sobre a classificação exemplificada na Figura 4, indicam a predominância de quadras ocupadas por casas de um ou dois pavimentos. O maior percentual de áreas verdes, agrícolas e de lazer foi verificado no sítio 1. No sítio 2 predominam as quadras edificadas, verificando-se um percentual muito baixo de áreas livres. O sítio 5 também apresentou elevado percentual de lotes com casas, porém possui alto percentual de áreas verdes e de água, o que pode contribuir para o arrefecimento.

Verifica-se que a relação entre o total de lotes edificadas (classes 1+2+3+4) e o total de áreas livres, agrícolas, verdes e de água (classes 5+6+7+8+9+10) aumenta entre os sítios 1, 5, 3, 4 e 2, podendo indicar um aumento na intensidade das ilhas de calor.

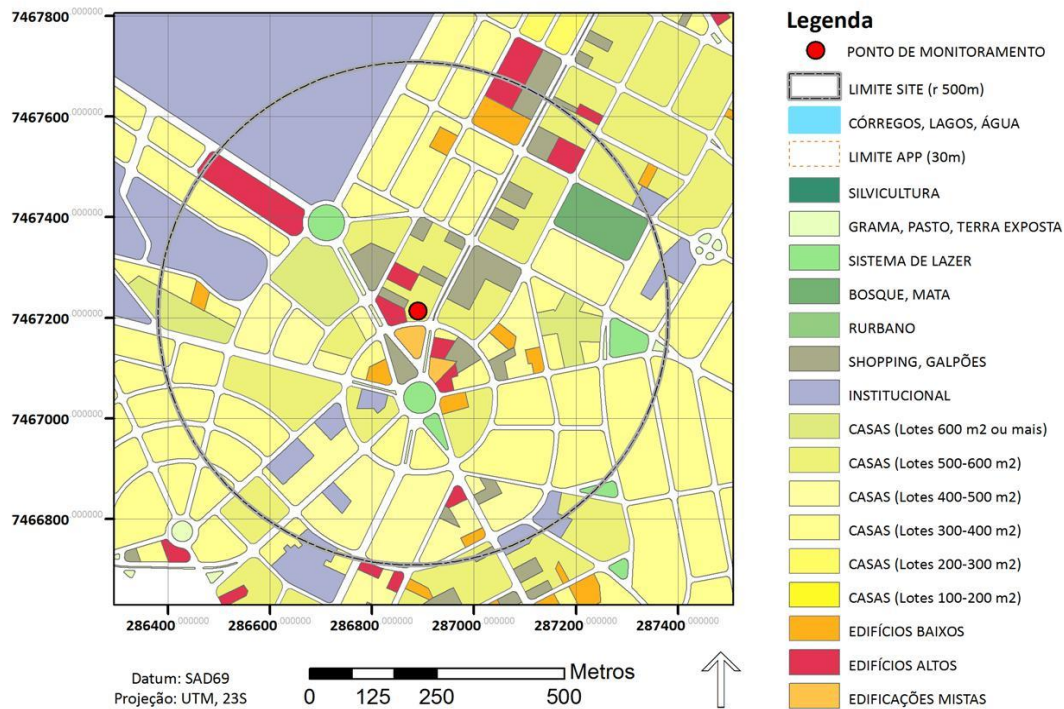


Figura 4 – Classificação dos usos do solo no sítio 2. O mesmo foi realizado para os demais sítios urbanos.

Tabela 1 – Percentuais de usos do solo urbano em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.

	Classes de uso do solo	Sítio 1 *	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5 *
1	Edifícios altos e baixos	-	4,3%	3,9%	6,7%	-
2	Lotes com casas, sobrados	37,1%	61,4%	38,2%	45,4%	49,2%
3	Área institucional	0,1%	8,4%	11,9%	3,0%	3,0%
4	Shopping, galpões	4,2%	4,9%	14,2%	6,8%	1,9%
5	Chácaras	15,8%	-	-	2,9%	10,6%
6	Bosque, mata	7,6%	0,8%	4,2%	4,2%	6,7%
7	Sistema de lazer	2,0%	1,8%	2,6%	8,0%	4,3%
8	Gramma, pasto, terra exposta	17,5%	0,4%	6,2%	5,3%	2,4%
9	Silvicultura	3,1%	-	-	-	-
10	Água	-	-	-	0,5%	1,9%
11	Vias, asfalto	12,6%	17,8%	18,7%	17,3%	19,9%

\* Sítios fronteiriços à zona rural

## 4.2. Clima de Campinas-SP e condições de tempo no período de monitoramento

O clima de Campinas (Latitude 22°48'57" Sul e Longitude 47°03'33" Oeste), segundo a classificação climática de Koeppen, é Subtropical de inverno seco e verão quente (Cwa). De acordo com dados do CEPAGRI (2011), a temperatura média anual é de 22,4 °C, sendo que a máxima média ocorre no mês de fevereiro, com 30,0 °C, e a mínima média no mês de julho, com 12,3 °C.

Os monitoramentos de temperatura e umidade do ar foram realizados entre agosto e setembro de 2009, durante a estação seca, em dias de céu claro, com ausência de pluviosidade e brisa leve (ventos menores que

3 m/s), predominando a direção dos ventos SE. As manhãs foram amenas e úmidas, com temperatura média mínima de 14 °C e umidade relativa do ar de 76,2%. As tardes foram quentes e secas, com temperatura média máxima do ar de 29,7 °C e média da umidade relativa do ar de 29,7%.

#### 4.2. Diferenças térmicas e de umidade do ar local entre a zona urbana e rural

A comparação do comportamento térmico entre os sítios urbanos e a estação de referência, na zona rural, possibilitou identificar a ocorrência de ilhas de calor, caracterizada pelo sobreaquecimento do ar na área urbana no período noturno. A diferença térmica entre o ambiente construído e a zona rural ( $\Delta T_{u-r}$ ), à noite, foi em média de 1,5 °C, como mostram as Figuras 5 e 6. Entre os horários de 0:00h e 2:00h observaram-se diferenças térmicas significativas estatisticamente, com médias urbanas acima do desvio padrão em relação à média da área rural, alcançando 1,4 °C.

No entanto, as maiores diferenças foram observadas nos horários próximos do nascer e pôr do sol, com  $\Delta T_{u-r}$  de 2,5 °C, às 7:00h, e de 1,9 °C às 18:30h. Estes picos devem-se às diferentes taxas de aquecimento e de resfriamento entre a área urbana e a rural, bem como a ocorrência de temperatura mínima 1,8 °C mais baixa na área rural. Por outro lado, nos horários de insolação, a área urbana apresentou temperaturas mais baixas e menor taxa de aquecimento. Conseqüentemente, a amplitude térmica diária no ambiente rural apresentou-se mais elevada 3,4 °C que na área urbana.

A umidade relativa do ar tende a ser mais baixa no ambiente urbano no período noturno, atingindo uma diferença máxima, de 6,5%, logo após o nascer do sol, às 7:00h. Notou-se, em todos os sítios, uma queda abrupta na umidade absoluta do ar (calculada a partir dos dados de temperatura do ar e de umidade relativa do ar) por volta das 17:00h, constatando-se um limiar na perda de calor por evaporação. A média da umidade absoluta do ar às 16:00h foi de 9,3 g/m<sup>3</sup>, às 17:00h diminuiu 1 g/m<sup>3</sup>, voltando a aumentar às 18:00h. No ambiente rural este decréscimo ocorreu de maneira uniforme e com menor intensidade.

Analisando-se individualmente os sítios, através da Tabela 2 e da Figura 7, constatou-se maior intensidade das ilhas de calor em bairros de maior desenvolvimento urbano (sítios 2, 3 e 4). Pezzuto (2009) havia observado uma  $\Delta T_{u-r}$  máxima de 4 °C em uma zona central de Campinas (ano de 2004, às 22:00h, medições a 1,5 m do solo). A  $\Delta T_{u-r}$  máxima observada nos sítios avaliados, neste mesmo horário, foi de 1,8 °C. Neste sentido, Gomes e Lamberts (2009) citando Oke (1981) explicam que o aumento das obstruções no meio urbano dificulta a irradiação térmica, contribuindo para o aquecimento noturno, explicando, assim, o fenômeno das ilhas de calor, que se intensifica em zonas urbanas com maior densidade de construções.

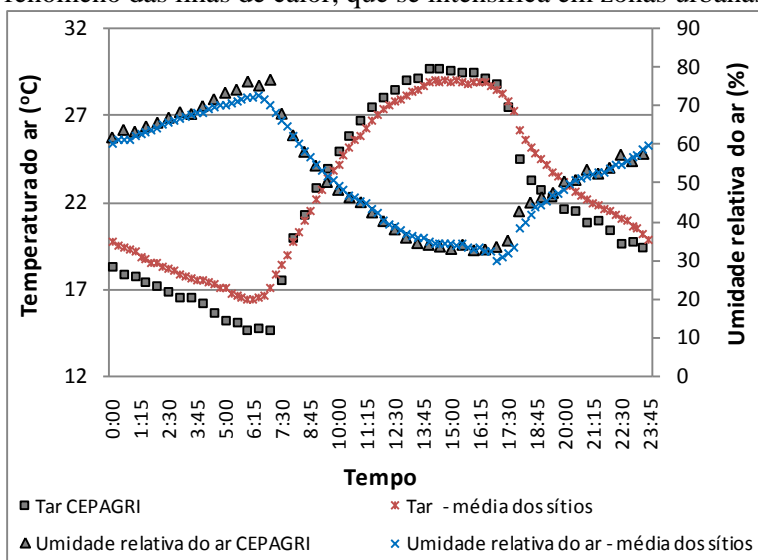


Figura 5 – Temperatura do ar e umidade relativa do ar ao longo do tempo em sítios urbanos e na Est. Met. do CEPAGRI, em Campinas.

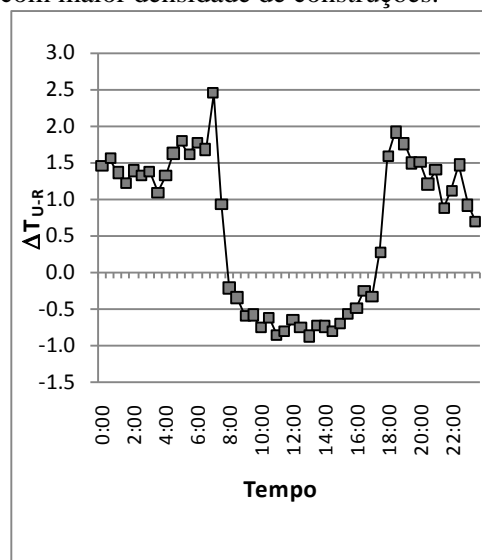


Figura 6 – Diferença térmica entre a área urbana e rural ( $\Delta T_{u-r}$ ) ao longo do tempo.

Tabela 2 – Diferença térmica ( $\Delta T_{u-r}$ , em °C) entre sítios urbanos e a zona rural de Campinas, SP, em três horários do dia.

Hora	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5
6:00	2,11	1,91	2,06	2,58	0,24
14:00	-0,26	-0,88	-1,29	-1,37	0,09
22:00	1,61	1,82	0,93	1,47	-0,23

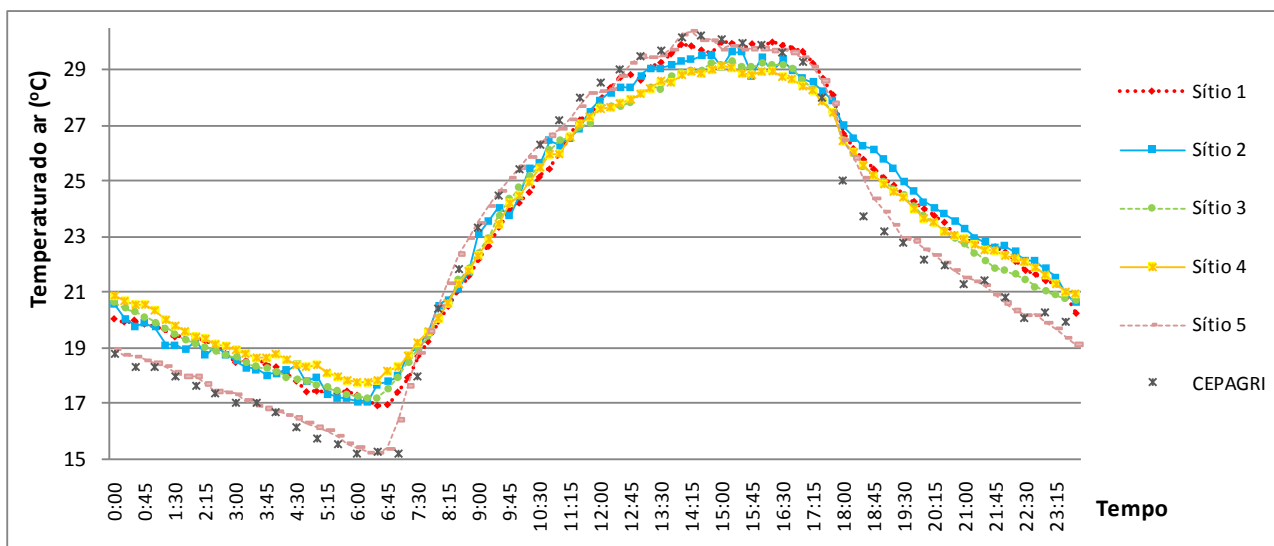


Figura 7 – Temperatura do ar local ao longo do tempo em sítios urbanos em Campinas. Sítio 1- Bosque de Barão; Sítio 2 Jardim Guanabara; Sítio 3- Jardim Proença; Sítio 4-Jardim Nova Europa; Sítio 5-Jardim Madalena. Dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10 m.

Como era esperado, o sítio 5 sofreu influências da zona rural, com pequenas diferenças térmicas em relação à este ambiente nos três horários analisados. No entanto, o mesmo não ocorreu no sítio 1, também fronteiro à zona rural, observando-se um comportamento térmico semelhante às áreas urbanas consolidadas, inclusive com maior aquecimento às 14:00h.

Comparando-se os usos do solo dos sítios 1 e 5, esperava-se que o primeiro tivesse maior semelhança com o ambiente rural, tendo em vista o alto percentual de áreas de chácaras, grama, pasto e terra exposta. Além disso, o sítio 5 apresentou 11,29% de lotes ocupados por casas a mais que o sítio 1. Portanto, três proposições podem explicar os motivos pelos quais o sítio 5 assemelha-se mais com o ambiente rural do que o sítio 1: a incidência dos ventos regionais provenientes da zona rural no ponto de monitoramento, o maior percentual de água no sítio 5, e a grande cobertura vegetal próxima do sítio 1 (Mata de Santa Genebra).

Voltando à Figura 1, e considerando os ventos predominantes SE, verifica-se que a massa de ar que atinge o sítio 5 vem diretamente da zona rural, enquanto no sítio 1 provém da área urbana, contribuindo para o seu aquecimento.

Ao mesmo tempo, a presença do Ribeirão das Anhumas no sítio 5 contribui para o seu resfriamento noturno, embora seja insuficiente para arrefecer o ambiente construído no período diurno.

Também destaca-se que a massa vegetal da Mata de Santa Genebra (250,36 ha) é muito superior à do Bosque da Paz (4,0 ha), o que pode contribuir para menores amplitudes térmicas no sítio 1. Faria e Mendes (2004) haviam observado menores taxas de aquecimento e de resfriamento do ar em áreas urbanas com cobertura vegetal significativa, corroborando para esta afirmativa.

Confrontando os resultados esperados aos obtidos, em relação à intensidade das ilhas de calor nos sítios urbanos, a partir da relação entre o percentual total de quadras edificadas sobre as não edificadas, verifica-se que somente o sítio 1 não correspondeu ao previsto. Assim, pode-se inferir que o volume de vegetação teve grande peso nas trocas térmicas com o meio urbano, diminuindo a amplitude térmica e a taxa de aquecimento do ar, o que significa dizer que houve um aumento da inércia térmica.

### 4.3. USO DO SOLO URBANO E A TEMPERATURA DO AR LOCAL

Parâmetros climáticos, que representam o topoclima, foram relacionados aos percentuais de uso do solo, como mostra a Figura 8.

Nota-se que a diferença térmica entre os sítios urbanos e a zona rural ( $\Delta T_{u-r}$ ) às 22:00h, ou seja, a intensidade da ilha de calor, aumentou com os percentuais de “Lotes com Casas” e com a relação entre o “Total edificado” / “Total de áreas livres, verdes e água”, exceto em relação ao sítio 5, influenciado pelo ambiente rural. Assim, o sítio 2, com maior percentual de áreas edificadas, apresentou temperatura superior aos demais às 14:00h, seguido pelos sítios 3 e 4.

Já o sítio 4 foi o que apresentou maior  $\Delta T_{u-r}$ . É possível que a presença de água no sítio 4, localizada no sistema de lazer anexo ao Bosque dos Guarantãs, tenha contribuído para o seu resfriamento noturno, mas seja insuficiente para a diminuição da temperatura máxima do ar, decorrente da massa edificada.

Verifica-se que tanto a umidade absoluta do ar como a umidade relativa máxima do ar aumentaram com o percentual de áreas verdes, intensificando-se ainda mais na presença de corpos d'água. A umidade relativa do ar máxima e a umidade absoluta máxima e mínima estiveram mais elevadas no sítio 5, próximo de um córrego, opondo-se aos sítios 2, 3 e 4.

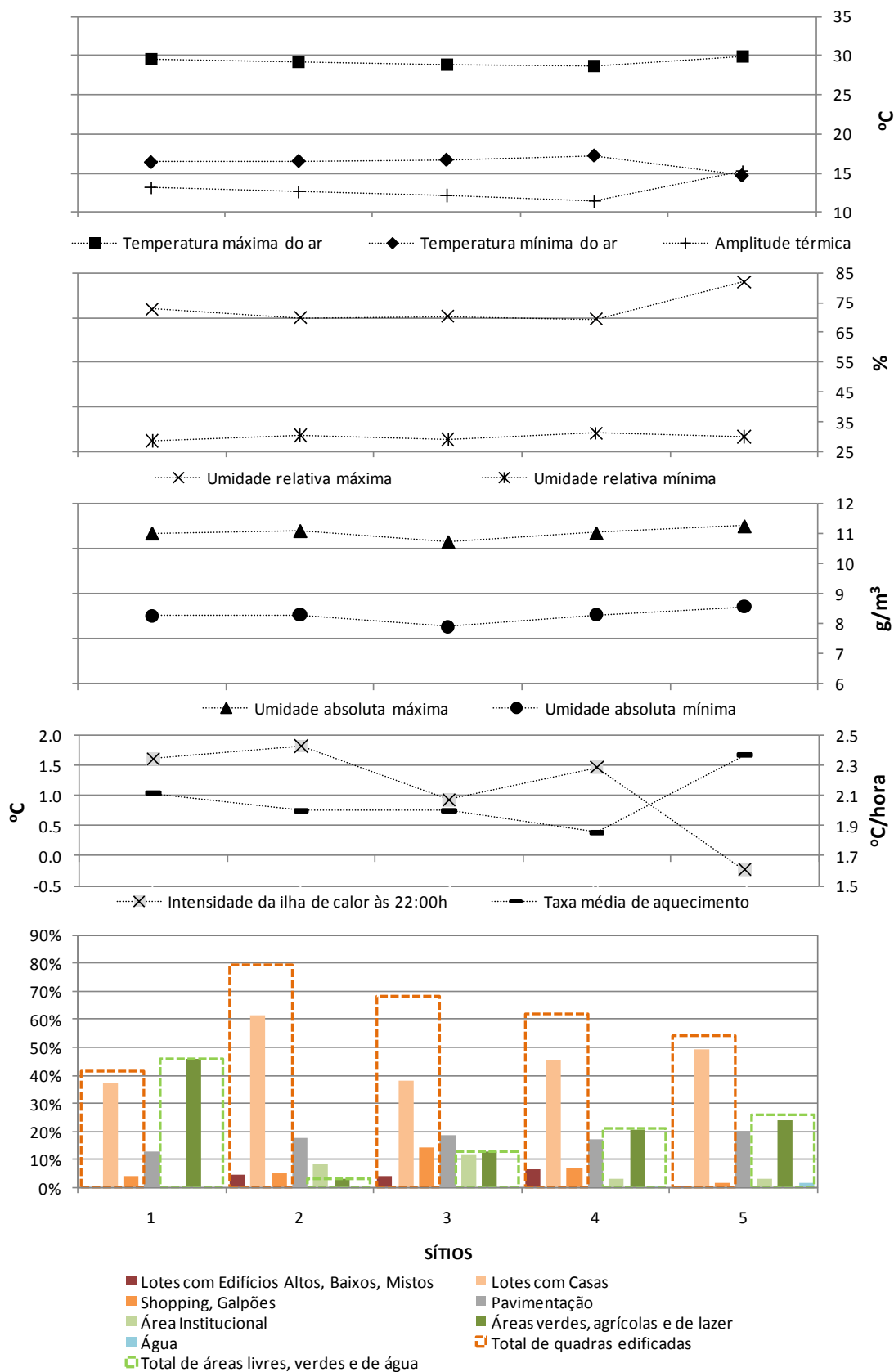


Figura 8 – Variáveis climáticas relacionadas ao padrão de ocupação urbana em Campinas-SP. Sítio 1- Bosque de Barão; Sítio 2 - Jardim Guanabara; Sítio 3 - Jardim Proença; Sítio 4 – Jardim Nova Europa; Sítio 5 - Jardim Madalena. Variáveis e unidades de medidas indicadas na figura.



A intensidade das ilhas de calor comportou-se inversamente à taxa de aquecimento no período da manhã, ou seja, os locais com temperaturas mais elevadas às 22:00h aqueceram-se mais lentamente entre às 7:00h e 12:00h. Foi observado também que a taxa de aquecimento nas áreas urbanas apresentou-se inferior ao ambiente rural. Enquanto a média urbana é de 1,8 °C/h, na zona rural passa para 2,7 °C/h. As áreas urbanas mais abertas comportaram-se, assim, semelhantemente ao ambiente rural, no que diz respeito ao ganho térmico e ao resfriamento. A correlação linear entre estas variáveis é mostrada na Figura 9.

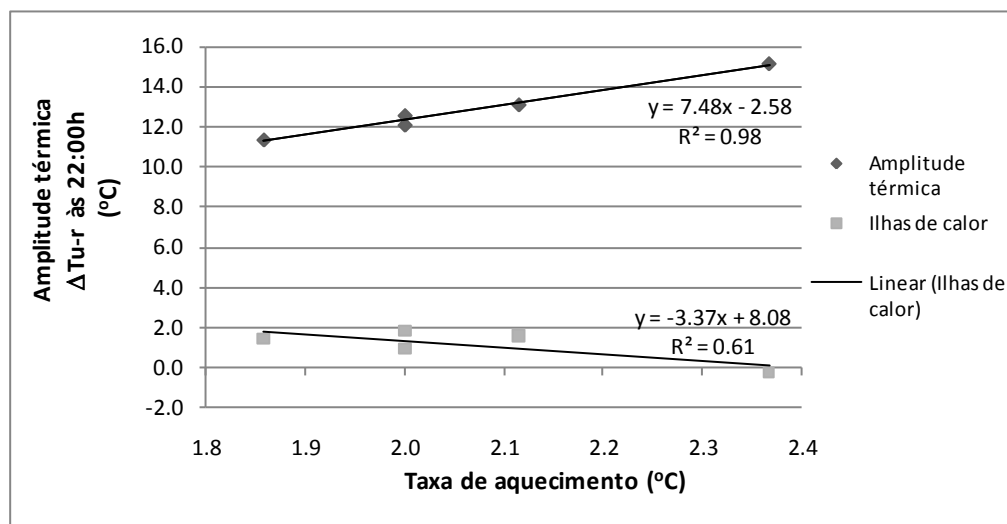


Figura 9 – Correlações lineares entre a intensidade de ilhas de calor noturnas ( $\Delta T_{u-r}$ ) às 22h, amplitude térmica diária e a taxa de aquecimento em áreas urbanas. Cálculos a partir das médias de dados coletados entre 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10m, em cinco sítios urbanos e na estação meteorológica do CEPAGRI, em Campinas-SP.

Faria e Mendes (2004), comparando as taxas de aquecimento e resfriamento em Bauru e Braga, haviam observado que as áreas urbanas inicialmente mais quentes, ou seja, as de maior inércia térmica, apresentavam uma taxa de aquecimento mais lenta, o que significa dizer que sofreram menor variação térmica diária.

Assim, constatou-se que a principal diferença entre o ambiente urbano e o rural deve-se à perda lenta de calor pelas edificações no período noturno, causada pela inércia térmica dos materiais construtivos, fluxos de calor entre os componentes verticais e à baixa velocidade do ar ocasionada pelo aumento da rugosidade. Em oposição, as áreas com maior percentual de solo exposto e agrícolas são intensamente aquecidas no período diurno, devido à incidência de radiação solar sobre o solo. Nestes ambientes, com o solo seco e ausência de obstruções do céu, o fluxo de calor sensível se acentua, ocorrendo o resfriamento rápido do ar após o por do sol.

## 5. CONCLUSÃO

Devido às semelhanças nos padrões de ocupação dos sítios urbanos monitorados, observaram-se diferenças térmicas e de umidade sutis entre eles. Constatou-se maior intensidade nas ilhas de calor em áreas urbanas distantes da fronteira rural e, ao contrário, menor intensidade em sítios urbanos sujeitos à incidência de ventos regionais predominantes provenientes do ambiente rural. A intensidade das ilhas de calor, às 22:00h, variou entre 0,9 °C e 1,8 °C, valores baixos quando comparados à referência para a área central de Campinas, de 4 °C, observada por Pezzuto (2007).

A taxa média de aquecimento dos sítios urbanos, calculada entre as 7:00h e 12:00h, pode ser considerada um parâmetro para a identificação de locais suscetíveis às ilhas de calor noturnas. Os sítios que com menores taxas de aquecimento pela manhã, estiveram mais aquecidos no período noturno e apresentaram menores amplitudes térmicas diárias. Esta característica está relacionada ao aumento da inércia térmica decorrente da massa edificada, indo ao encontro das observações feitas por Faria e Mendes (2004).

No entanto, a proximidade de fragmentos florestais de grande dimensão, como no caso da Mata de Santa Genebra, com 250,36 ha, intensifica as ilhas de calor noturnas e diminui a amplitude térmica diária, mesmo em sítio com baixo desenvolvimento urbano. A presença de ilha de vegetação de menor dimensão (4 ha), não mostrou a mesma influência em um sítio fronteiro à zona rural.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEPAGRI – Centro de Pesquisas Agrometeorológicas. **Clima de Campinas**. Disponível em: <http://www.cepagri.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>. Acesso em Mai. 2011.
- DAVENPORT, A.G.; GRIMMOND, C.S.B.; OKE, T.R.; WIERINGA, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. Preprints **Conference on Applied Climatology**, Asheville, American Meteorological Society, Boston, 96–99
- DUARTE, D. Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas na Região de Clima Tropical Continental. 2000. 296 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FARIA, J.R.G.; MENDES, J.F.G. Sobre o uso e ocupação do solo urbano e a temperatura do ar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 7-17, jul./set. 2004.
- GEIGER, R. **The climate near the ground**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1966. Second printing;
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998
- GOMES, P.S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan./mar. 2009.
- HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban Green áreas on surrounding urban áreas. **Urban Forestry & Urban Greening**, 9, p. 15-24, 2010.
- JUSUF, S.K.; WONG N.H.; HAGEN, E. ; ANGGORO, R.; HONG, Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. **Habitat International**, 31, p. 232–242, 2007.
- KRÜGER, E.; GIVONI, B. Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, 42, p. 1685–1698, 2007
- LOMBARDO, M.A. O clima e a cidade. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 25 a 28 de novembro de 1997, Salvador-BA. **Anais do IV ENCAC**. Jussana M. F. G. Nery, Tereza M. M. Freire, Roberto Lamberts (edits.). Salvador: FAUFBA; ANTAC; 1997, p.59-62.
- MAITELLI, G. T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.
- MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; PILAU, F.G. **Clima e Ambiente – Introdução à Climatologia para Ciências Ambientais**. Campinas,SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2008.
- MONTEIRO, C.A.; MENDONÇA, F.(Org.); DANNI-OLIVEIRA, I.M.; BRANDÃO, A.M.P.M.; GONÇALVES, N.M.S. (Colaboradores). **Clima Urbano**. São Paulo, Contexto, 2009.
- NARITA, K.; SUGAWARA, H.; HONJO, T.; KIMURA, K.; KUWATA,N. Cool island and cold air-seeping phenomena in na urban park. Shinjuku Gyoen, Tokio, **Geographical Review of Japan**, 77, 6, p.403-420, 2007.
- OFFERLE, B.; GRIMOND, C.S.B.; FORTUNIAK, K.; PAWLAK, W. Intraurban Differences of Surface Energy Fluxes in a Central European City. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 45, p. 125-136, January 2006.
- OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Heat Island: comparisons of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237-254, jul./set. 1981.
- OKE, T.R. Inicial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **WMO / TD N°**. 1250, Instruments and Observing Methods, Report 81, Geneva 2006.
- PAGLIARINI, E. Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande, MT. Dissertação de mestrado em Física e Meio Ambiente. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.
- PEZZUTO, C.C. Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.
- SAARONI, H.; BEN-DOR, E.; BITAN, A.; POTCHTER, O. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. **Landscape and Urban Planning**, 4, p.1-18, 2000.
- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; BRITO, R.S.; CAMPOS, J.H.B.C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 161, p. 45–59, 2010.
- TAHA, H. Urban climate and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Building**, 25, p. 99–103, 2007.
- WONG N.H.; YU C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat International**, 29, p.547–558, 2005.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de doutorado.