



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

**ENTAC 2010**

XIII Encontro Nacional de Tecnologia  
do Ambiente Construído

## **CLIMA LOCAL URBANO: APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MEDIDAS MÓVEIS NA CIDADE DE CAMPINAS, SP**

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

(1) Departamento de Arquitetura e Construção – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Brasil – e-mail: [cris\\_arquiteta@yahoo.com.br](mailto:cris_arquiteta@yahoo.com.br)

(2) Departamento de Arquitetura e Construção – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Brasil – e-mail: [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br)

### **RESUMO**

Em estudos de clima urbano as técnicas e instrumentação das observações meteorológicas devem adequar-se a escala geográfica de abrangência. A técnica de medidas móveis geralmente é empregada na avaliação do topoclima, abrangendo um bairro, ou do clima local urbano, abrangendo a cidade. Esta técnica consiste na aquisição de variáveis climáticas ao longo de um trajeto pré-estabelecido, tendo como objetivo identificar variações microclimáticas na escala horizontal, tais como as ilhas de calor. O objetivo principal do presente trabalho, realizado na cidade de Campinas, SP, é a proposição de adequações metodológicas em relação ao emprego da técnica de medidas móveis. Para tanto foi realizado um trajeto de 55 km de carro para registros móveis de temperatura e umidade do ar em intervalos de 30 segundos. A localização geográfica dos pontos foi possível com o uso de um GPS, programado para registrar a posição do veículo no mesmo intervalo de tempo. Também foi feita a aquisição contínua de temperatura e umidade do ar em cinco pontos fixos localizados próximo ao trajeto, cujos dados são utilizados na correção horária dos registros móveis. Os *loggers* dos pontos fixos foram instalados em duas alturas: a 10m do solo, na altura representativa da escala local urbana, e a 1,5m do solo, na altura representativa da microescala. Os resultados permitem concluir que a oscilação das variáveis medidas em pontos fixos na microescala é mais significativa que a oscilação das variáveis medidas na escala climática local urbana (na altura de 1,5 vezes a altura média das construções), onde a mistura dos efeitos microclimáticos já se completou. Desta maneira presume-se que o uso de variáveis climáticas coletadas na altura de 10m para a correção horária dos registros móveis deve minimizar erros relacionados às particularidades microclimáticas resultantes da interferência de elementos construídos e de materiais nos resultados da pesquisa.

Palavras-chave: clima urbano, escala climática, medidas móveis.

## **1 TAXONOMIA CLIMÁTICA E ESCALA URBANA DE REFERÊNCIA**

As observações do clima urbano incluem desde a análise do comportamento térmico de um conjunto de edificações, até o clima de uma região. As unidades climáticas do meio urbano se relacionam a distintas áreas de abrangência, que por sua vez são interdependentes (MONTEIRO, 1976). O foco em padrões espaciais permite a observação de fenômenos climáticos que ocorrem em várias dimensões.

Monteiro (1976) propõe uma taxonomia climática baseando-se nas ordens de grandeza da geomorfologia. Nesta classificação, a unidade básica de observação meteorológica é o clima local urbano, sendo os demais espaços climáticos subprodutos deste. As classes propostas por Monteiro e os espaços urbanos de abrangência são: o microclima (grande edificação, habitação ou setor de habitação), o topoclima (pequena cidade; fâcies de bairro ou subúrbio de cidade), o mesoclima (cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole), o clima local (área metropolitana ou metrópole), o clima sub-regional e o regional (megalópole ou grande área metropolitana).

O autor explica que os fenômenos ocorrentes em cada nível buscam sua auto-organização, mas que há um grau de comunicação entre os níveis hierárquicos, de modo que as observações climáticas devem focar não somente o espaço urbano de interesse, como também, verificar a interação deste com os níveis mais próximos. Neste sentido, Monteiro (1976) teme a visão simplificada de causa-efeito entre as classes climáticas, alertando para a necessidade de se compreender a interdependência dos processos em termos de organização funcional.

Com visão semelhante, Oke (1987, 2006a) apresenta três escalas climáticas urbanas: a microescala, a escala local e mesoescala, identificando, em um perfil vertical, as camadas limítrofes de ar presentes em cada uma delas. O autor classifica separadamente os padrões de ocupação urbana, estabelecendo sete zonas climáticas (de urbano-rural até a verticalização intensa em áreas centrais), que variam em decorrência da densidade construtiva, da permeabilidade do solo, e da razão entre a verticalidade e distância entre as construções. Em outro trabalho, Oke (2006b) relaciona as escalas horizontais típicas (área de abrangência do espaço avaliado) às características construtivas (padrões espaciais), às escalas climáticas de referência e aos parâmetros físicos e climáticos observados em cada nível hierárquico.

Baseando-se na taxonomia climática e nas relações com as grandezas do espaço urbano, feitas por Monteiro (1976) e Oke (1987, 2006 a,b), identifica-se que as pesquisas que abordam o clima urbano possuem um delineamento experimental onde necessita-se delimitar a abrangência espacial de interesse do pesquisador, o tempo de observação dos fenômenos climáticos, os métodos de investigação apropriados, e a escala geográfica de tratamento dos dados.

Em relação aos métodos, Monteiro (1976), em seu quadro climático, cita alguns meios de observação para a análise do clima urbano, apropriados para cada escala de abrangência, que podem ser sondagens meteorológicas (megalópole), postos meteorológicos (metrópole), registros móveis (cidade, bairro ou subúrbio de metrópole), ou bateria de instrumentos especiais (setor de um bairro, quadra, edificação).

Já Geiger (1966) explica que o método formal consiste na comparação de medições simultâneas dentro e fora da cidade, porém há dificuldades em se eliminar influências da topografia ou da vegetação, mesmo quando a técnica é aplicada corretamente. Lombardo (1997) também reconhece estas interferências, dada a alteração na quantidade de radiação que alcança o solo, sendo que as áreas planas e sem sombreamento causado por elementos construídos são locais ideais para o monitoramento climático, apesar desta situação raramente ser encontrada nas cidades.

Neste sentido, Oke (2006a) afirma que algumas vezes o monitoramento do clima urbano deve admitir variações na exposição dos instrumentos, respeitando, contudo, a escala climática de análise e a classe de rugosidade do espaço estudado. Por outro lado, enfatiza a necessidade de se escolher um ponto representativo do padrão urbano avaliado para o posicionamento da instrumentação. Ressalta ainda que os monitoramentos feitos dentro da camada de rugosidade caracterizam o microclima; para a aferição do clima na escala local deve-se fazer os monitoramentos acima da camada de rugosidade, onde a mistura dos efeitos microclimáticos se completa; para a mesoescala, os monitoramentos também são feitos acima desta camada e, para o autor, nem sempre uma só estação meteorológica é capaz de representar o clima da cidade. Estima-se que a camada de mistura dos efeitos

microclimáticos é cerca de 1,5 vezes a altura média dos elementos urbanos (construções e arborização). Em áreas urbanas homogêneas e de baixa densidade esta altura pode chegar a 4 vezes a altura média dos elementos construídos.

## **2 TÉCNICA DAS MEDIDAS MÓVEIS**

O método de registros móveis consiste na aquisição de dados climáticos ao longo de um trajeto pré-estabelecido, tendo como objetivo identificar variações microclimáticas na escala horizontal, tais como as ilhas de calor. Geralmente é utilizado em pesquisas cujos espaços urbanos são de grande abrangência, tais como metrópoles, cidades ou bairros, tendo em vista que a vantagem deste método consiste na ampliação do número de pontos monitorados utilizando poucos instrumentos.

Os primeiros estudos com medidas móveis de carro foram realizados em 1929 por Wilh. Smitdt, em Viena, e ao mesmo tempo por A. Peppler, em Karlsruhe (GEIGER, 1966). Para controlar a oscilação das variáveis no tempo, as medidas eram feitas em circuitos fechados, retornando-se várias vezes nas mesmas áreas. Esta técnica sofreu adequações e foi aplicada em grandes cidades no mundo todo (CHANG *et al*, 2007; JONSSON, 2004; PEZZUTO, 2007; YAMASHITA, 1996; NAGARA, 1996; FARIA; MENDES, 2004; MAITELLI *et al*, 2004; LOMBARDO, 1985; PAGLIARINI, 2008; CHANDLER, 1965).

A instrumentação, geralmente para a obtenção de temperatura e umidade do ar, deve ser protegida da radiação por um abrigo termométrico, e ventilada mecanicamente a fim de forçar as trocas de ar entre o interior do abrigo, que contém o *data-logger*, e o ar exterior. Os instrumentos devem ser de baixa inércia, como recomendado por Faria e Mendes (2004), diminuindo assim o tempo de resposta dos sensores às diferenças térmicas ocorrentes na ambiência urbana. O abrigo é acoplado a um veículo, distante do motor (LOMBARDO, 1997), e no trajeto os dados são registrados em pontos determinados ou em intervalos de tempo regulares. O veículo deve, na medida do possível, trafegar a uma velocidade constante e relativamente baixa, entre 20km/h e 50km/h (PERSSON, 1997 *apud* SOUZA; ASSIS, 2007; PEZZUTO, 2007).

É recomendado que as aquisições móveis sejam realizadas em horários de temperaturas mais estáveis, distantes do nascer e por do sol. Os horários de maior estabilidade da temperatura para o Brasil (Time Zone +3hs) são 3:00, 9:00, 15:00 e 21:00 horas.

Posteriormente, os dados são corrigidos para um horário de referência, utilizando-se para tanto registros contínuos das mesmas variáveis climáticas, obtidos em pontos fixos localizados na área avaliada. A taxa de variação de temperatura e umidade registrada no ponto fixo é somada ou subtraída aos dados dos móveis feitos no mesmo intervalo de tempo (HASENACK *et al*, 2003), ou corrigida a partir de modelos de equações polinomiais (SOUZA; ASSIS, 2007; PEZZUTO, 2007). O número de pontos fixos recomendado é de 2 pontos / km<sup>2</sup> (HASENACK; SCHMIDT; BECKE, 1982).

Como o sensor de temperatura e umidade é ventilado mecanicamente e coleta o ar em movimento, os valores de temperatura e umidade registrados referem-se à mistura do ar de trechos do percurso, representando padrões de urbanização, e não de especificidades microclimáticas. Como a mistura do ar na camada abaixo das coberturas completa-se acima da camada de rugosidade, na altura aproximada de 1,5 vezes a altura média das construções (OKE, 2006-a), os dados coletados por meios móveis deveriam ter sua correção horária feita por registros coletados na altura representativa desta unidade climática, proposta do presente trabalho.

## **3 OBJETIVOS**

Propor adequações na técnica de registros móveis de variáveis climáticas (temperatura e umidade do ar), e testar a utilização de dados registrados em pontos fixos, em uma altura de 10 m do solo, na correção horária dos registros móveis.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A presente pesquisa tem como foco bairros na cidade de Campinas, SP, sendo que a escala climática de referência é o topoclima (MONTEIRO, 1976), ou o clima local urbano (OKE, 2006a,b). Para as

observações de variáveis climáticas, propõe-se uma metodologia baseada na técnica de medidas móveis, realizada de carro.

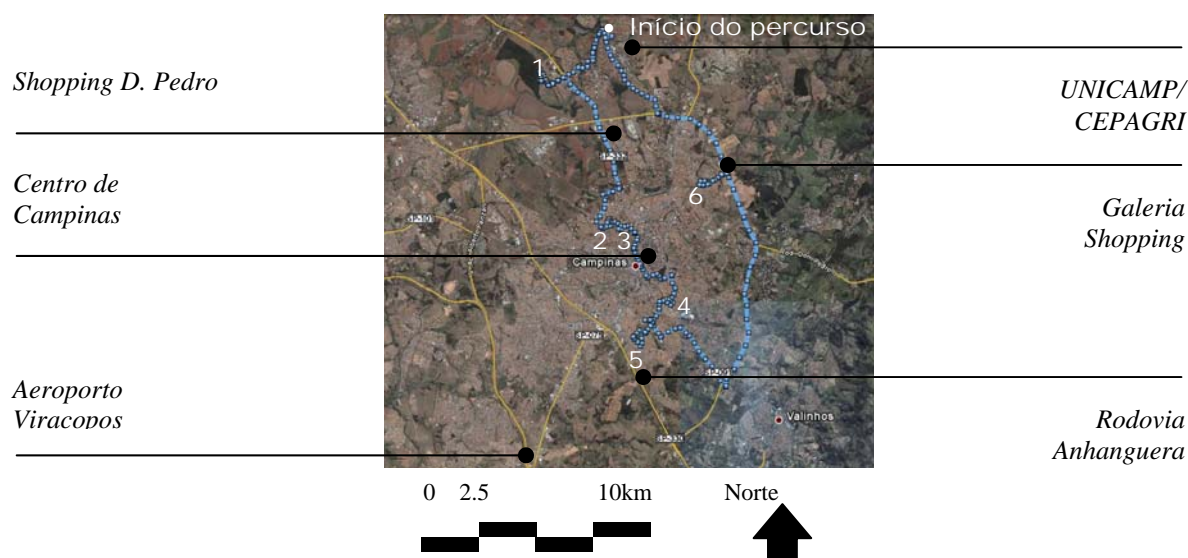
#### 4.1 Definição dos locais de pesquisa

Os bairros escolhidos para a presente pesquisa são predominantemente residenciais e de baixo gabarito, contendo um fragmento de floresta em seu interior, os quais constituem os bosques públicos municipais (Figura 1). A altura média das edificações ( $Z_h$ ) é de 6 metros, predominando edificações de 1 e 2 pavimentos, com arborização viária de porte médio. O distanciamento entre as edificações no perfil do sistema viário ( $w$ ), incluindo recuos frontais, varia entre 16m e 25m. Existem bairros localizados na franja urbana, que confrontam com áreas rurais e quadras vazias.

#### 4.2 Estabelecimento do circuito e dos pontos fixos de coleta de dados climáticos

Foi estabelecido um circuito fechado (figura 1), para registro contínuo de temperatura e umidade do ar, passando pelos bairros residenciais de interesse. O trajeto, de 55 km, foi realizado de carro, gastando-se um tempo médio de 2 horas. A velocidade do percurso variou, mantendo-se a média de 40 km/h nos locais de interesse.

Os pontos fixos, para o registro de temperatura e umidade do ar e posterior correção horária dos registros móveis, foram escolhidos tendo em vista o padrão de ocupação de cada bairro, buscando-se um ponto representativo de cada localidade. Como as áreas de estudo 2 e 3 são próximas, no bairro Jardim Guanabara foi posicionado somente um ponto fixo.



Legenda: (1) Bosque de Barão, distrito de Barão Geraldo/ Mata de Santa Genebra; (2) Jardim Guanabara/ Bosque dos Italianos; (3) Jardim Guanabara/ Bosque dos Alemães; (4) Jardim Proença/ Bosque São José; (5) Jardim Nova Europa/ Parque dos Guarantãs; (6) Jardim Madalena/ Bosque Yitzhak Rabin

**Figura 1:** Trajeto percorrido na cidade de Campinas (em azul) para aquisição de temperatura e umidade do ar. Pontos registrados com um GPS, plotados sobre imagem aérea do Google Earth

#### 4.3 Instrumentos de pesquisa

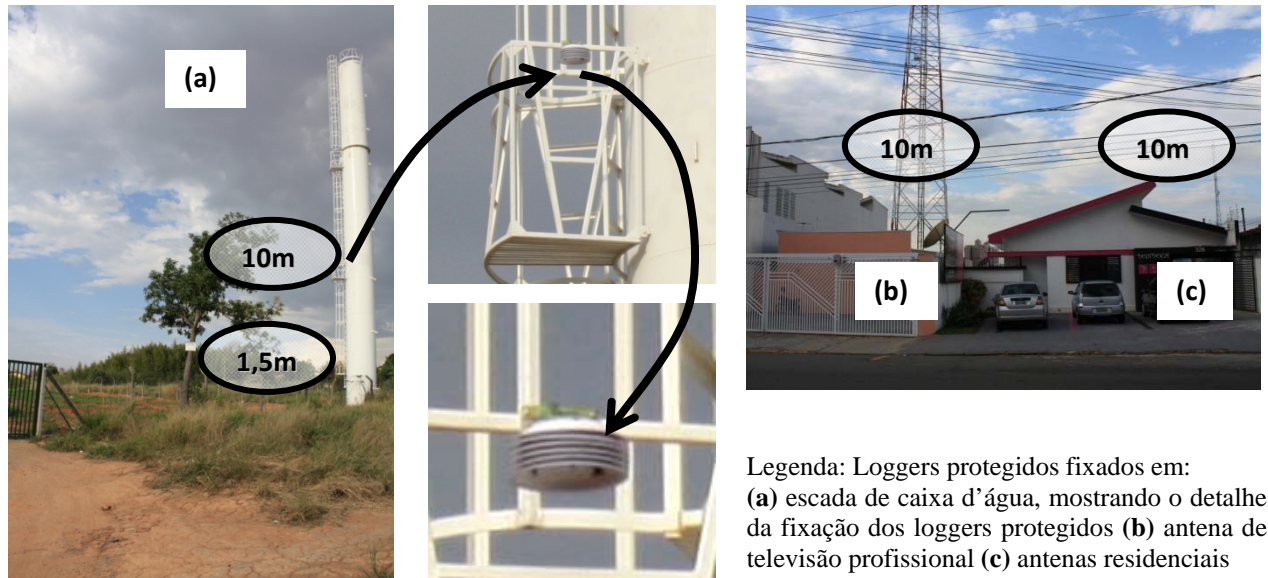
##### 4.3.1 Pontos fixos

Foram utilizados registradores de temperatura e umidade do ar modelo 175-H2, posicionados na altura de 10m do solo, e o modelo 175 -T2, para a registros na altura de 1,5m do solo (figura 2), ambos da marca Testo. A fim de possibilitar registros simultâneos nas duas alturas foi necessário utilizar sensores de modelos diferenciados, conforme a disponibilidade no laboratório que sediou a pesquisa. Os *data-loggers* foram programados para intervalos de 15 minutos. A precisão dos sensores é de +/- 2% para a umidade relativa do ar, e de +/- 0,5 °C, para a temperatura do ar.

#### 4.3.2 Registros móveis

Utilizou-se um registrador de temperatura e umidade do ar modelo 175-H2, da marca TESTO, programado para registros a cada 30 segundos. O registrador foi protegido da radiação, ventilado naturalmente e mecanicamente (figura 3).

Para relacionar um ponto geográfico aos registros climáticos, utilizou-se um GPS modelo 60CX, da marca Garmin, programado para adquirir as coordenadas geográficas no mesmo intervalo de tempo.



**Figura 2:** Localização dos registradores de temperatura e umidade do ar.



**Figura 3:** Sensor de temperatura e umidade protegido e ventilado naturalmente e mecanicamente fixado sobre um veículo automotor para registros móveis.

#### 4.4 Período de monitoramento

Os registros móveis foram realizados entre os dias 29/08/2009 e 02/09/2009 (4 dias), sob uma condição de tempo estável, com baixa nebulosidade e sem registros de pluviosidade, em três horários do dia: às 9:00, 15:00 e 21:00 horas. Já o monitoramento nos pontos fixos foi realizado continuamente entre os dias 26/08/2009 e 05/09/2009.

#### 4.5 Áreas de abrangência dos pontos fixos

Para delimitar a área de abrangência dos pontos fixos foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen. Consiste em um desenho geométrico no qual se unem as mediatrizes das retas que ligam um ponto de referência (posto meteorológico) aos demais. A plotagem dos pontos móveis e dos polígonos

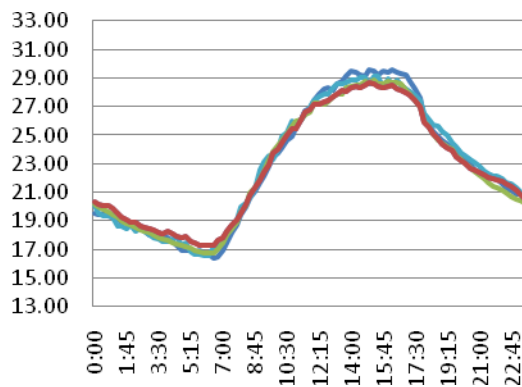


foi feita no software *Surfer 8.0*, identificando-se quais pontos que deveriam ter suas variáveis climáticas corrigidas em relação a cada área de abrangência.

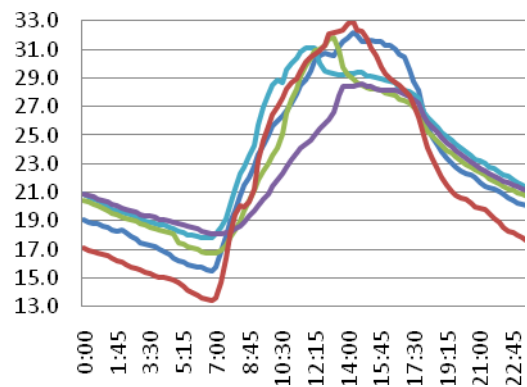
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Temperatura e umidade do ar dos pontos fixos

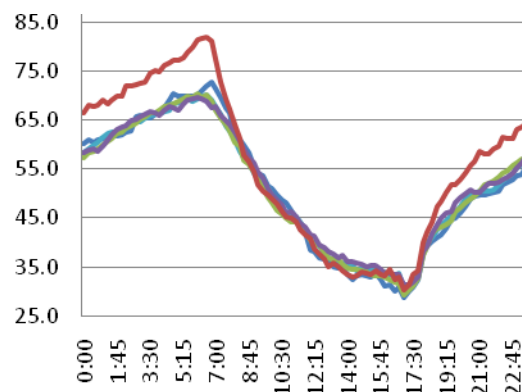
Foi calculada a média horária da temperatura e da umidade relativa do ar dos pontos fixos, nas duas alturas, no período de monitoramento (10 dias), como representado nos Gráficos 1, 2, 3 e 4.



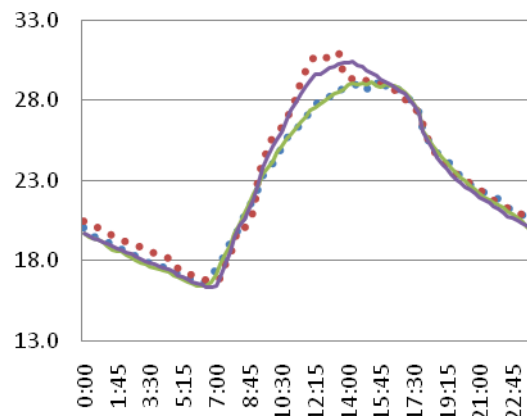
**Gráfico 1:** Temperatura do ar (°C) a 10m do solo



**Gráfico 2:** Temperatura do ar (°C) a 1,5m do solo



**Gráfico 3:** Umidade relativa do ar (%) a 10m do solo



**Gráfico 4:** Comportamento da temperatura do ar (T), em °C, nas duas alturas

#### LEGENDA DOS GRÁFICOS 1, 2 E 3

- PONTO FIXO 1
- PONTO FIXO 2
- PONTO FIXO 3
- PONTO FIXO 4
- PONTO FIXO 5

- Mediana (T-10m)
- Mediana (T-1,5m)
- Média (T-10m)
- Média (T-1,5m)

Verifica-se que a temperatura média do ar a 1,5m do solo é mais elevada que a 10m, principalmente nos horários de radiação solar mais intensa. A temperatura máxima a 1,5m ocorre às 14:15h (30,4 °C), enquanto a 10 m ocorre às 15:15 (29,1 °C). A temperatura mínima a 1,5m ocorre às 6:45h (16,3 °C), e a 10m às 6:00h (16,4 °C). A diferença entre as temperaturas nas duas alturas ( $\Delta T_h = T_{1,5} - T_{10}$ ) variou entre -0,8 °C, às 7:15 horas, e 2 °C, por volta das 12:00 horas. Para os três períodos de interesse, que envolvem os intervalos dos percursos realizados de carro, verifica-se que  $\Delta T_h$  é mais significativa no período da manhã.

A umidade relativa, monitorada somente a 10m, apresenta um comportamento inverso ao da temperatura. A amplitude diária da umidade relativa do ar foi em média 38%, sendo que as maiores variações ocorreram no Ponto Fixo 1, Bosque de Barão, e no Ponto Fixo 5, Jardim Madalena, ambos próximos da zona rural. A maior amplitude térmica ocorreu também no Ponto Fixo 5, com 17,4 °C, a 1,5m e 13,6 °C, a 10m.

Nota-se que as curvas de temperatura obtidas a 10m são mais estáveis que a 1,5m, sendo que o seu comportamento nos cinco pontos monitorados é bastante semelhante. Sendo assim, a correção horária dos registros móveis a partir dos obtidos a 10m demonstra-se mais conveniente. Ao contrário, para a correção a partir de dados obtidos na altura representativa do microclima, seria necessário monitorar mais pontos em uma mesma região de estudos, em um período de tempo maior, a fim de se obter as taxas de variação de temperatura e umidade, a partir de curvas estabilizadas, e aplicá-las na correção de um conjunto de pontos móveis.

Devido à diferença da temperatura média do ar nas duas alturas e às distintas taxas desta variável nos intervalos da manhã, tarde e noite, calcularam-se equações polinomiais de  $\Delta T_h$  no tempo (min.) separadamente, a fim de se fazer uma posterior correção dos dados móveis. A eq.1 é válida para o período da manhã, a eq. 2 é válida para o período da tarde e a eq. 3 é válida para o período da noite.

$$y = -0.000030335844986x^2 + 0.045478110454678x - 15.495423571440400 \quad (R^2 = 0.92) \quad (\text{eq.1})$$

$$y = 0.000000000071822x^5 - 0.000000370238666x^4 + 0.000760902741227x^3 - 0.779353134556221x^2 + 397.850611111077000x - 80983.396529483900000 \quad (R^2 = 0.82) \quad (\text{eq.2})$$

$$y = 0.000000015788377x^3 - 0.000041227221889x^2 + 0.026752866531581x + 0.349225296190605 \quad (R^2 = 0.81) \quad (\text{eq.3})$$

O termo  $x$  refere-se o tempo em minutos, iniciando-se às 0:00h, sendo que 540 min. equivale às 9:00h, 900min equivale às 15:00 e 1260min equivale às 21:00h, três horários para os quais foram corrigidos os registros móveis.

## 5.2 Correção horária da temperatura e umidade do ar dos pontos móveis

Os dados de temperatura e umidade, coletados por meio móvel, foram corrigidos a partir das taxas das variáveis obtidas nos pontos fixos, na altura de 10m. A correção horária foi feita para cada rota, obtendo-se quatro rotas de temperatura e umidade referentes ao período da manhã (correção para as 9:00h ou 540min), quatro para o período da tarde (correção para as 15:00h ou 900min), e quatro para o período da noite (correção para as 21:00h ou 1260min). O modelo de planilha para a correção horária consta na Tabela 1.

Calculou-se a taxa de variação por minuto da temperatura no ponto fixo ( $T_{PF}$ ), tendo em vista que os dados foram obtidos a cada 15 minutos. À temperatura do ponto móvel ( $T_{PM}$ ), foi somado o total da variação correspondente ao atraso no tempo, igual ao horário em minutos ( $H_{PM}$ ) subtraído do horário de referência. Obteve-se, assim, a temperatura no ponto móvel corrigida ( $T_{PMC}$ ). O mesmo procedimento foi feito para a umidade relativa do ar, e para os demais horários.

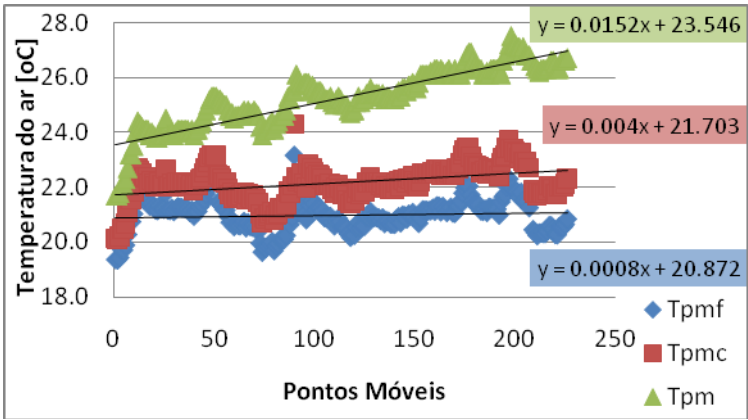
**Tabela 1:** Modelo de planilha utilizado para a correção horária dos registros móveis.

DATA: 29/08/2009			CORREÇÃO PARA 09h00min ( ou 540min)						
Ponto Fixo 1			Pontos móveis pertencentes ao polígono 1						
$H_{PF1}$ [min.]	$T_{PF1}$ [°C]	Taxa/ minuto	Ponto móvel	$H_{PM}$ [min.]	$T_{PM}$ [°C]	$\Delta T$ [°C] devido à variação no tempo: $540 - H_{PM}$	$T_{PMC}$ [°C] Corrigida no tempo: $T_{PMC} =$ $T_{PM} + \Delta T$	$\Delta T_h$ obtido através da eq.1	$T_{PMF}$ [°C]: $T_{PMF} =$ $T_{PMC}$ $- \Delta T_h$
540	21.1	-0.026	1	589.5	21.7	-1.57	20.13	0.772	19.4
555	21.5	-0.0387	2	590	21.7	-1.58	20.12	0.777	19.3
570	22.1	-0.034	3	590.5	21.8	-1.59	20.21	0.782	19.4

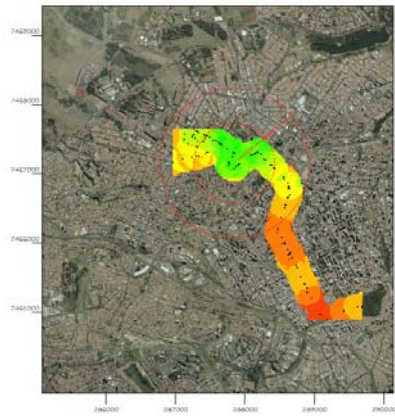
Após a correção horária da temperatura, fez-se a correção devido à diferença de altura. Para isso, subtraiu-se o valor de  $\Delta T_h$  obtido por meio de uma das equações polinomiais 1, 2 e 3. Dessa forma, a temperatura do ponto móvel final ( $T_{PMF}$ ), obtida na altura aproximada de 2m, é estimada para a altura de 10m. Dessa forma, o incremento de temperatura  $T_{PMC}$  ao longo do percurso é praticamente eliminado em  $T_{PMF}$ . Já para a umidade relativa do ar não foi feita esta correção, pois ela só foi monitorada a 10m.

O Gráfico 5 mostra os dados de temperatura do ar obtidos por meio móvel, no período da manhã, antes e após as correções. O fator de multiplicação de  $x$  das regressões lineares ajustadas aos pontos do Gráfico 5 representam bem a minimização do erro decorrente do horário de aquisição da temperatura do ar ao longo do percurso, que passa de 0.0152 para 0.0008.

Na figura 4 é possível visualizar o resultado das diferenças térmicas de um trecho do percurso em que foi realizado o monitoramento móvel, após a interpolação dos resultados no *Surfer*, através do método de médias móveis. Outras interpolações foram testadas, mas nesta o resultado visual obtido foi mais interessante.



**Gráfico 5:** Comportamento da temperatura do ar (T), em °C, nas duas alturas



**Figura 4:** Diferenças térmicas de um trecho urbano de Campinas às 15:00h.

### 5.3 Temperatura e umidade dos registros móveis após correções

A Tabela 2 mostra a diferença entre os valores iniciais e finais das variáveis climáticas obtidas por meio móvel, após a correção horária e de altura. Foi calculada a média dos dez pontos móveis iniciais e dos dez pontos móveis finais, e posterior subtração das médias obtidas, cujos valores são apresentados na tabela. Para uma melhor comparação do conteúdo de vapor de água presente no ar nas áreas de estudo, estimou-se a umidade absoluta do ar,  $Cva$  [ $g/m^3$ ], a partir dos dados de temperatura,  $t$  [ $^{\circ}C$ ] e  $T$  [ $K$ ], umidade relativa do ar,  $UR$  [%], e pressão saturante,  $e_s$  [ $hPa$ ], seguindo as equações:

$$UR = ea/es \text{ (eq. 4)} \quad e_s = k \cdot 10^{(7,5t/237,3+t)} \text{ (eq. 5)} \quad Cva = k \cdot (ea/T) \text{ (eq. 6)}$$

**Tabela 2:** Diferença entre a média de valores dos 10 pontos iniciais e a média de valores dos 10 pontos finais dos registros móveis (circuito fechado), após a correção horária.

PERÍODO	VARIÁVEL	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4
Manhã	Temperatura do ar [ $^{\circ}C$ ]	0,5	1,9	2	4
	Umidade relativa do ar [%]	0,2	10,5	13,1	18,7
	Umidade absoluta [ $g/m^3$ ]	0,8	0,9	1,3	1,4
Tarde	Temperatura do ar [ $^{\circ}C$ ]	0,4	0,1	1,2	0,1
	Umidade relativa do ar [%]	2,3	2,6	6	0,3
	Umidade absoluta [ $g/m^3$ ]	0,8	0,8	1,4	0
Noite	Temperatura do ar [ $^{\circ}C$ ]	1,9*	0,8	0,3	1,8
	Umidade relativa do ar [%]	14,8*	15	11,9	17,2
	Umidade absoluta [ $g/m^3$ ]	1,5*	2,1	2,1	1,8

\* Circuito incompleto. Parada a 1km antes do ponto final.



A diferença entre as medidas móveis iniciais e finais deveria ser de até quatro vezes a precisão dos sensores ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 2\%$ ), considerando a ocorrência de um erro máximo. Dessa forma, a diferença máxima admitida entre as temperaturas iniciais e finais seria de  $2^{\circ}\text{C}$ , e entre as medidas de umidade relativa do ar, 8%. Os dias e períodos cujos erros estão dentro desta faixa de valores são apresentados em destaque na Tabela 2.

## 6 CONCLUSÃO

O método de monitoramento climático urbano por meio móvel, proposto no presente trabalho, mostrou-se favorável aos estudos que abrangem uma área de grande dimensão. A aquisição das coordenadas geográficas, com o uso de GPS, permitiu a interpolação dos dados de temperatura e umidade do ar e confecção de mapas temáticos. Tais mapas permitem observar as ilhas de calor e de frescor na cidade, associadas à mudança de padrão urbano, presença de massas de vegetação ou de água. O método interpolador que apresentou melhores resultados foi o das “médias móveis”. O método de “krigagem”, bastante utilizado, não apresentou bons resultados, pois seriam necessários outros pontos de monitoramento de temperatura e umidade do ar, distribuídos uniformemente na malha urbana. Outra vantagem da associação do GPS ao *data-logger* é a aquisição aleatória dos pontos ao longo do circuito, obtendo-se uma amostragem não tendenciosa.

O método de correção dos pontos móveis proposto também é eficaz quando o pesquisador limita-se a um determinado número de *data-loggers*. Neste sentido, verificou-se que um ponto fixo, registrando continuamente a temperatura e umidade do ar nas alturas de 1,5m e 10m do solo, é suficiente para a correção dos registros móveis, para cada padrão urbano de interesse. Deste modo não são necessários 2 pontos fixos/km<sup>2</sup>, como sugerido por Hasenack, Schmidt e Becke (1982), e sim um ponto por padrão de urbanização.

Em relação aos dados obtidos nos pontos fixos, verificou-se que a temperatura do ar na altura de 10m do solo variou menos que a 1,5m do solo. A diferença térmica nas duas alturas é significativa entre 9:00h e 16:00h, sendo mais evidente às 12:00h, horário em que a temperatura do ar é  $2^{\circ}\text{C}$  mais elevada na altura de 1,5m do que a 10m.

Os dados de temperatura adquiridos nas duas alturas foram utilizados para a correção dos registros móveis, concluindo-se que a correção da temperatura do ar foi satisfatória para os três horários de interesse (9:00h, 15:00h e 21:00h). Para os dados de umidade relativa do ar não foi feita a correção relativa à altura na aquisição, recomendando-se que este procedimento seja realizado futuramente. Como a umidade relativa do ar depende da temperatura do ar, os erros obtidos, ao se comparar os valores do início e fim do percurso, podem estar superestimados. Assim, a transformação da umidade relativa em absoluta parece minimizar estes erros, além de possibilitar uma melhor comparação do teor de umidade do ar entre os padrões de urbanização.

## 7 REFERÊNCIAS

- CHANDLER, T.J. **The climate of London**. London: Hutchinson University Library Publishers, 1965.
- CHANG, C.R.; LI, M.H.; CHANG, S.D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. **Landscape and Urban Planning**, 80, 2007, p. 386–395.
- 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**. 2th printing. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1966.
- HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; HOFMANN, G.S. **O Clima da RPPN SESC Pantanal**. Relatório técnico. Porto Alegre, UFRGS - IB - Centro de Ecologia, 1982.
- HASENACK, H.; SCHMIDT J.; BECKE, V.L. 1982. Distribuição noturna da temperatura em Porto

Alegre. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 5, 1982, p.438, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1982.

JONSSON, P. Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. **International Journal of Climatology**, 24, p. 1307–1322, 2004.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985, 244 p. il.

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, pp.59-62.

MAITELLI, G. T. ; CHILETTO, E.C. ; ALMEIDA JUNIOR, N.L. ; CHILETTO, R. Intensidade da Ilha de Calor em Cuiabá, na Estação Chuvosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza. **Meteorologia e Desenvolvimento Sustentado**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 1, 2004. p. 1-13.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. Tese de livre docência. São Paulo: USP, IGEOG, 1976.

NAGARA, K. Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3, p. 497-505, 1996.

OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. 2 ed. London: Methuen, 1987.

OKE, T.R. Inicial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **WMO / TD**, n. 1250, Instruments and Observing Methods, Report 81, Geneva 2006a.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, 84, p.179–190, 2006b.

PAGLIARINI, E. **Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande, MT**. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente). Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

PERSSON, P. Differential nocturnal cooling in the landscape detected by mobile measurements. **Theoretical and Applied Climatology**, 56, p. 215-224, 1997.

PEZZUTO, C.C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SOUZA, J.R.G; ASSIS, E.S. Ajuste de dados representativos de temperatura em medições móveis em áreas urbanas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2007, Ouro Preto. **Anais ...** Ouro Preto: UFMG, ANTAC, 2007. p. 1749-1758. CD-ROM.

YAMASHITA, S. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in Metropolitan Tokyo. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3, p. 429-435, 1996.

## **8 AGRADECIMENTOS**

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.