



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

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

Búzios - RJ - 2011

## **A INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO URBANA NO MICROCLIMA E NA SENSÇÃO TÉRMICA EM RUAS DE PEDESTRE DE CURITIBA, PARANÁ**

**Francine Aidie Rossi (1); Eduardo Krüger (2); Marialena Nikolopoulou (3)**

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Av. Sete de Setembro, 3165 CEP. 80230-901 Curitiba PR, francinea.rossi@hotmail.com

(2) Professor Doutor, PPGTE-UTFPR, ekruger@utfpr.edu.br

(3) Professor of Sustainable Architecture, University of Kent, Canterbury, Kent CT2 7NR UK, m.nikolopoulou@kent.ac.uk

### **RESUMO**

A avaliação e compreensão do conforto térmico em espaços abertos podem ajudar a melhorar a qualidade dos mesmos, influenciando positivamente o uso e o comportamento das pessoas. Neste artigo são apresentados resultados obtidos por meio de coleta de campo em diferentes pontos de ruas de pedestres da cidade de Curitiba com o objetivo de verificar a existência de diferenças climáticas nos locais monitorados e sua relação com as características urbanas, além de sugerir ações que melhorem o conforto térmico local. Para tal, foram analisados dados climáticos e dados pessoais obtidos por meio de monitoramentos de campo realizados em Curitiba em 2009. Os resultados mostram que, de modo geral, a configuração urbana interfere nas condições climáticas. As análises entre dois pontos monitorados no mesmo dia ajudam a entender as diferenças significativas observadas entre as variáveis climáticas monitoradas.

Palavras-chave: conforto térmico em espaços abertos, desenho urbano.

### **ABSTRACT**

The assessment and understanding of thermal comfort in open spaces can improve the quality of these spaces and positively affect their use and the behavior of people. This article presents results obtained from field data collection from different points of pedestrian streets in Curitiba in order to verify the existence of climatic differences at the monitored sites and their relationship with urban characteristics, and to suggest actions to improve local thermal comfort. For this purpose, we analyzed weather and personal data obtained from field monitoring carried out in Curitiba in 2009. The results show that, in general, urban configuration influences the microclimate. Analyses between two points monitored on the same day can help understand the significant differences observed between the monitored climatic variables.

Keywords: thermal comfort in open spaces, urban design.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem crescido o interesse em analisar o conforto térmico em espaços abertos visando à melhoria térmica de espaços existentes e o planejamento de novos espaços. Sabe-se que independente do uso, a avaliação e compreensão do conforto térmico nestes espaços podem ajudar a melhorar a qualidade dos mesmos, influenciando positivamente o uso e o comportamento das pessoas. Segundo Nikolopoulou (2004), áreas bem planejadas atraem maior número de pessoas, turismo, comércio, trabalhadores e residentes, tornando a área atrativa economicamente, além de melhorar o clima local, a imagem da cidade e encorajar o planejamento de outras áreas. Desta forma, as condições microclimáticas têm sido consideradas essenciais para a atratividade do espaço aberto e, indiretamente, para o seu uso (NIKOLOPOULOU, LYKOUDIS, 2006).

De modo geral as pesquisas sobre conforto térmico em espaços abertos utilizam índices de conforto térmico baseados em modelos de balanço térmico do corpo humano, que foram desenvolvidos para o ambiente interno. Entretanto, nos últimos anos o uso destes índices para a avaliação do ambiente externo tem sido questionado por vários autores (HÖPPE, 2002; SPAGNOLO, de DEAR 2003; NIKOLOPOULOU, STEEMERS, 2003). Além disso, várias pesquisas têm mostrado que somente parâmetros físicos não são suficientes para a avaliação do conforto térmico em espaços abertos. Segundo Nikolopoulou e Steemers (2003), em ambientes externos, no qual as condições climáticas são difíceis de controlar, somente estas variáveis não são suficientes para explicar a percepção térmica, estas explicam 50% da avaliação subjetiva de conforto, indicando que variáveis psicológicas influenciam a avaliação do ambiente.

Dentre as pesquisas de conforto térmico em espaços abertos destacam-se aquelas que analisam os fatores psicológicos e comportamentais do uso do espaço em função do conforto térmico (NIKOLOPOULOU et al., 2001; NIKOLOPOULOU, STEEMERS, 2003; THORSSON et al., 2004; NIKOLOPOULOU, LYKOUDIS, 2006; KNEZ, THORSSON, 2006; ELIASSON et al., 2007; KNEZ et al., 2009) e aquelas com o objetivo de analisar a influência do desenho urbano no conforto térmico utilizando índices de conforto baseados no balanço térmico do corpo humano. Nesta linha, por exemplo, há pesquisas que analisam as relações entre cânions urbanos e conforto térmico (ALI-TOUDERT, MAYER, 2006; JOHANSSON, 2006; JOHANSSON, EMMANUEL, 2006) e entre vegetação e conforto térmico (SHASHUA-BAR, HOFFMAN, 2000; PICOT, 2004). Além de estudos que apresentam soluções para readequação do espaço público tendo em vista a melhoria do conforto térmico (GIVONI, 2007; CHRISOMALLIDOU et al., 2004; KATZSCHNER, 2005; KATZSCHNER, MÜLDER, 2005; PANOGOPOULOS, 2008).

Neste artigo são apresentados resultados obtidos por meio de coleta de campo em diferentes pontos da cidade de Curitiba com o objetivo de verificar a existência de diferenças climáticas nos locais monitorados e sua relação com as características urbanas, além de sugerir ações que melhorem o conforto térmico local.

Para tal, partiu-se de alguns pressupostos teóricos sobre a influência do desenho urbano no conforto térmico. Sabe-se que o balanço energético, a temperatura do ar no nível do solo e a ventilação natural são modificadas em função da densidade das edificações (LOMBARDO, 1985; SANTANA, 1997; GOMES, LAMBERTS, 2009). A altura média das edificações interfere na ventilação urbana, pois edificações altas diminuem a velocidade do vento no nível do solo (GIVONI, 1997). Assim, as áreas entre as vias e as edificações são afetadas pelo potencial de insolação e exposição à abóbada celeste e pela ventilação local, podendo ocorrer a canalização dos ventos ou bloqueio da ventilação. A razão entre a altura dos edifícios e a largura das vias ( $H/W$ ) é um índice sugerido para uma análise simplificada do efeito da geometria urbana. Desta forma, para os locais analisados, espera-se que em pontos com menor obstrução da abóbada celeste e razão  $H/W$  menor que 1,5, por exemplo, encontre-se altos valores de radiação solar, temperatura de globo, temperatura radiante média e temperatura do ar. Já em cruzamentos de vias, espera-se registrar altos valores de velocidade do vento. Em locais com presença de vegetação e/ou corpo de água, espera-se encontrar altos valores de umidade relativa.

Em relação às variáveis climáticas, são analisadas a radiação solar, a temperatura radiante média, a temperatura do ar, a umidade relativa e a velocidade do vento. A comparação destas variáveis entre os dois pontos monitorados foi realizada com base nos seguintes conceitos: a radiação solar recebida por um determinado ponto depende da latitude, da época do ano e da hora do dia (altura solar), sendo que a maior incidência de radiação solar ocorre próximo ao meio dia, quando o sol está no seu ápice (FROTA, SCHIFFER, 1987). A temperatura radiante média é a temperatura média das superfícies opacas de um ambiente, sendo que a temperatura da superfície depende da quantidade de radiação incidente e das características físicas e térmicas do material da superfície. A temperatura do ar em cânions urbanos é influenciada pela radiação solar, orientação do cânion, relação entre altura das edificações e largura da via, entre outros, sendo que a temperatura do ar é mais alta próxima das fachadas do que no interior do cânion

(OKE, 1978; GIVONI, 1998). A umidade relativa é influenciada pela temperatura do ar, sendo a relação entre elas inversa (AYOADE, 2003). Em relação ao vento na camada intra-urbana, a rugosidade e a porosidade têm importante influência na ventilação local, podendo permitir ou bloquear a ventilação. Quanto à velocidade do vento, em espaços menos adensados a velocidade é maior que em espaços mais adensados (OKE, 1978; GIVONI, 1998). A vegetação urbana ajuda a melhorar o clima urbano, a ventilação natural, serve como barreira ao vento, produz sombra, auxilia na diminuição da temperatura do ar e no aumento da umidade do ar (OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; GIVONI, 1998).

Considerando estes conceitos, destaca-se as seguintes hipóteses: (1) espera-se observar diferença significativa para radiação solar em locais mais expostos à radiação, sem sombreamento; (2) em locais com altos valores de radiação solar, espera-se observar altos valores de temperatura radiante média; (3) espera-se observar a relação entre a temperatura do ar e umidade relativa, ou seja, em locais com temperatura do ar alta, a umidade relativa será mais baixa, e vice-versa; (4) para a velocidade do vento, espera-se que em locais mais abertos, como em praças e cânions com vias largas e edificações baixas, observe-se velocidade do ar maior que em locais mais obstruídos e (5) em locais com presença de vegetação e/ou corpo d'água espera-se observar valores mais elevados de umidade relativa, se comparados com locais sem vegetação e/ou corpos d'água. Em vários estudos sobre conforto térmico em espaços abertos, as variáveis que apresentam importância na predição do conforto térmico são: radiação solar ou temperatura radiante média, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa (ISO, 1998; NIKOLOPOULOU, 2004; MONTEIRO, 2010).

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo verificar a existência de diferenças microclimáticas significativas entre pares de pontos medidos em campanhas de monitoramento térmico urbano na cidade de Curitiba e sua relação com o desenho urbano.

## 3. MÉTODO

Este estudo analisa os pares de pontos monitorados em 13 dias de monitoramento com duas estações móveis no que diz respeito às seguintes variáveis climáticas: radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura radiante média e à sensação térmica real. Para tal, utilizaram-se métodos estatísticos para estabelecer a existência de diferenças significativas entre os pontos monitorados no mesmo dia e também a análise qualitativa do desenho urbano para a compreensão das diferenças observadas.

### 3.1. Obtenção das variáveis climáticas e pessoais

A área de estudo localiza-se no centro da cidade de Curitiba, especificamente, os trechos de pedestres das ruas XV de Novembro e Rua Saldanha Marinho (implantadas no sentido E-O, com azimute do eixo da rua de 22°N), Travessa Oliveira Bello e Rua Senador Alencar Guimarães são paralelas (orientação axial NO-SE) e Praça Generoso Marques.

O calçadão da Rua XV de Novembro faz parte da história do urbanismo brasileiro por ter se tornado em 1972 a primeira rua de pedestres do país. Atualmente, a Rua das Flores, como é popularmente chamada, faz parte da identidade cultural da cidade, sendo caracterizada por um fluxo intenso e constante de transeuntes. Segundo a Associação Comercial do Paraná (2007), 140.000 pessoas circulam por dia pelo calçadão. Desde seu surgimento, a via é uma das principais artérias comerciais da cidade.

As coletas de dados climáticos foram possíveis com o uso de duas estações meteorológicas da marca HOBO modelo H21-00. Cada estação estava equipada com os seguintes instrumentos: sensor de temperatura e umidade (S-THB-M002); piranômetro de silício (S-LIB-M003) e sensor de direção e velocidade do vento (S-WCA-M003).

As faixas de precisão desses instrumentos satisfizeram as recomendações da norma ISO 7726 (1998), que dispõe sobre os instrumentos para a medição de variáveis físicas. Os sensores de temperatura do ar e umidade relativa foram fixados na altura de 110 cm, conforme ISO 7726 (1998). O piranômetro foi fixado a 160 cm. O anemômetro foi fixado a 210 cm, conforme recomendado por Campbell (1997).

Para se obter a temperatura radiante média, foram utilizados termômetros de globo de cobre, fixados na altura de 110cm, com  $\varnothing=2''$ , pintado na cor RAL-7001 (cinza) (THORSSON *et al.*, 2007). Os globos estavam equipados com os seguintes instrumentos: sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002) e HOBO Pro V2 logger (U23-004). A Trm foi calculada pela fórmula para convecção forçada, definida pelas ISO 7726 (1998).

Foram monitorados 13 dias entre os meses de janeiro e agosto de 2009, sendo dois pontos monitorados simultaneamente em cada dia, perfazendo 28 situações urbanas diferentes. Assim, obteve-se uma variação climática bastante considerável, em relação à temperatura, por exemplo, tem-se uma variação de 6,4°C a 32,6°C. O total de horas de monitoramento no espaço urbano é de aproximadamente 75 horas.

Para a obtenção das variáveis pessoais e de sensação térmica, foram aplicados questionários desenvolvidos tendo como base a norma internacional ISO 10551 (1995).

As variáveis pessoais levantadas foram: (1) sexo, (2) idade, (3) altura, (4) peso, (5) tempo de moradia na cidade (aclimatação) e (6) vestimenta, além das variáveis sobre percepção térmica. Somente os dados de moradores de Curitiba e Região Metropolitana que declararam estar residindo há pelo menos seis meses foram considerados como válidos. Dentre estes dados foram consideradas as pessoas que declararam estar a pelo menos 15 minutos ao ar livre. Perfazendo assim, um total de 1658 questionários válidos.

Para obter os resultados referentes à percepção térmica (sensação térmica), "Como você se sente neste exato momento?", utilizou-se a escala simétrica de sete graus e dois pólos: de -3 (muito frio) a +3 (muito calor), sendo 0 (nem frio nem calor) o ponto neutro. Para a avaliação térmica, "Como você está se sentindo neste exato momento?", foi utilizada a escala de quatro graus e um pólo: de 0 (confortável) a +3 (muito desconfortável).

### 3.2. Procedimento para análise dos pares de pontos por dia de monitoramento

Foram analisados 13 dias de monitoramento: 09/01/2009, 19/03/2009, 25/03/2009, 01/04/2009, 08/04/2009, 03/06/2009, 05/06/2009, 09/06/2009, 17/06/2009, 19/06/2009, 13/07/2009, 11/08/2009 e 12/08/2009. Para cada dia foram levantadas as características urbanas (se os pontos de monitoramento estavam em cânions largos ou estreitos, em praças ou em cruzamentos) e em função delas as diferenças microclimáticas esperadas. Utilizou-se também a carta solar do dia de monitoramento para obtenção dos períodos com ou sem insolação em cada ponto analisado.

Para determinar se os dados microclimáticos monitorados e as respostas reais de sensação térmica, para cada dia, apresentavam diferenças entre os pontos utilizou-se o teste estatístico t de Student. O teste t de Student testa a hipótese de que os valores médios de duas amostras diferentes são iguais. Para tal, a hipótese nula ( $H_0$ ) a ser testada é a igualdade entre as médias das duas amostras, ou seja,  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ . E a hipótese alternativa ( $H_a$ ) é a diferença entre os valores médios das duas amostras ( $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ ). Para aceitar ou rejeitar a hipótese nula é necessário estabelecer o nível de confiança aceitável, isto é, estabelecer a confiabilidade da estimativa. Quanto maior o nível de confiança, mais confiável é o resultado. Neste caso foi estabelecido o nível de confiança de 95%, ou seja, se aceita 5% de erro na estimativa. O nível de confiança é representado pelo valor p, neste caso, se o valor p for menor ou igual a 0,05 a hipótese nula será rejeitada (a média das amostras são diferentes), e se o valor p for maior que 0,05, a hipótese nula será aceita (médias das amostras são iguais) (FIELD, 2003). Os testes estatísticos foram realizados no programa SPSS, versão 13.0.

Considerando que, para cada ponto monitorado, obtiveram-se diferentes números de pessoas entrevistadas, foi necessário agrupar as entrevistas por hora. Para cada hora, foi obtida a média das entrevistas realizadas, obtendo assim, a mesma quantidade de dados para cada ponto.

A Tabela 1 mostra os pares de pontos monitorados e suas características urbanas. Nota-se que os monitoramentos foram realizados nas seguintes situações: cânion estreito/cânion largo, cânion largo/cânion largo, cânion estreito/cânion estreito, cruzamento/prança, prança/prança e cruzamento/cânion largo. Neste artigo será apresentada uma comparação de cada uma destas situações, sendo selecionados os dias 09/01/2009, 01/04/2009, 08/04/2009, 19/06/2009, 13/07/2009 e 11/08/2009, como exemplos de cada situação monitorada.

Tabela 1 – pares de pontos monitorados e características urbanas.

(continua)

Dia	Ponto	H/W	FVC	Classificação	Observações
9.1.2009	2	1,7	0,20	cânion estreito	presença de poucas árvores isoladas
	7	0,8	0,39	cânion largo	presença de poucas árvores isoladas
19.3.2009	10	1,1	0,30	cânion largo	presença de poucas árvores isoladas
	3	1,1	0,32	cânion largo	presença de árvores na quadra toda
25.3.2009	10	1,1	0,30	cânion largo	presença de poucas árvores isoladas
	3	1,1	0,32	cânion largo	presença de árvores na quadra toda
1.4.2009	13	2,3	0,21	cânion estreito	sem vegetação
	2	1,7	0,20	cânion estreito	presença de poucas árvores isoladas

Tabela 1 – pares de pontos monitorados e características urbanas.

(conclusão)

Dia	Ponto	H/W	FVC	Classificação	Observações
8.4.2009	4	-	0,34	cruzamento	edificações nas esquinas
	9	1,1	0,29	cânion largo	sem vegetação, trânsito de veículos
3.6.2009	4	-	0,34	cruzamento	edificações nas esquinas
	14	-	0,55	praça	sem vegetação, fonte d'água
5.6.2009	10	1,1	0,30	cânion largo	presença de poucas árvores isoladas
	5	1,6	0,22	cânion estreito	presença de poucas árvores isoladas
9.6.2009	17	1,6	0,21	cânion estreito	sem vegetação
	18	1,1	0,30	cânion largo	sem vegetação
17.6.2009	6	1,3	0,26	cânion largo	sem vegetação, fonte d'água
	2	1,7	0,20	cânion estreito	presença de poucas árvores
19.6.2009	3	1,1	0,32	cânion largo	presença de árvores na quadra toda
	7	0,8	0,39	cânion largo	presença de poucas árvores isoladas
13.7.2009	8	-	0,37	cruzamento	edificações nas esquinas
	16	-	0,38	praça	presença de poucas árvores isoladas
11.8.2009	11	-	0,20	praça	presença de vegetação, fonte d'água
	14	-	0,55	praça	sem vegetação, fonte d'água
12.8.2009	11	-	0,20	praça	presença de vegetação, fonte d'água
	6	1,3	0,27	cânion largo	sem vegetação, fonte d'água

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Análise dos pares de pontos por dia de monitoramento

A partir dos dados coletados em campo, foram organizadas planilhas com o mesmo número de minutos para cada ponto monitorado, no total tem-se 301 minutos para cada ponto. Em relação à sensação térmica real as respostas foram agrupadas por hora, perfazendo um total de cinco grupos para cada ponto monitorado (10h00, 11h00, 12h00, 13h00 e 14h00). Para o dia 11/08/2009 têm-se somente quatro grupos para cada ponto, ou seja, dados de sensação térmica para as 11h00, 12h00, 13h00 e 14h00. As médias de cada variável climática e os resultados obtidos no teste t de Student estão apresentados na Tabela 2.

Levando em conta as características urbanas dos pontos (Tabela 2) e segundo as hipóteses apontadas na seção introdutória, esperava-se que em locais com a mesma classificação (cânion largo/cânion largo, cânion estreito/cânion estreito, cruzamento/praça, praça/praça) não fossem observadas diferenças significativas para as variáveis climáticas em ambos os pontos. E que em locais com classificação diferente (cânion estreito/cânion largo e cruzamento/cânion largo) fossem observadas diferenças significativas entre os pontos.

Tabela 2 – valores médios e valor p para as variáveis climáticas e votos de sensação térmica.

(continua)

Dia	Pontos	Características urbanas	RS	Ta	Va	UR	Trm	ST
09/01/2009	2	cânion estreito (H/W=1,7)	695,80	27,95	1,00	47,05	48,61	1,99
	7	cânion largo (H/W=0,8)	736,34	28,55	0,91	44,87	49,96	1,84
	valor p		0,226	0,000	0,014	0,000	0,115	0,591
01/04/2009	2	cânion estreito (H/W=1,7)	140,15	25,36	0,94	57,30	38,57	0,98
	13	cânion estreito (H/W=2,3)	212,53	27,66	1,03	52,76	29,09	0,78
	valor p		0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,330
08/04/2009	4	cruzamento	528,34	25,88	1,21	54,75	48,70	1,46
	9	cânion largo (H/W=1,1)	310,73	25,02	1,23	57,66	37,91	1,05
	valor p		0,000	0,000	0,637	0,000	0,000	0,004
19/06/2009	3	cânion largo (H/W=1,1)	64,74	17,11	0,69	63,92	19,12	-0,03
	7	cânion largo (H/W=0,8)	193,22	16,99	0,70	63,79	22,98	0,13
	valor p		0,000	0,286	0,904	0,762	0,000	0,483

Tabela 2 – valores médios e valor p para as variáveis climáticas e votos de sensação térmica.

Dia	Pontos	Características urbanas	RS	Ta	Va	UR	Trm	(conclusão)
								ST
13/07/2009	8	cruzamento	297.87	15.37	0.99	61.19	29.34	-0.66
	16	praça	494.24	15.94	0.95	59.59	27.56	0,00
	valor p		0.000	0.011	0.297	0.069	0.072	0,128
11/08/2009	11	praça	274,15	14,20	1,11	67,88	24,75	-0,35
	14	praça	550,58	15,09	1,05	63,88	33,06	0,09
	valor p		0,000	0,000	0,174	0,000	0,000	0,031

Onde: RS = radiação solar, Ta = temperatura do ar, Va = velocidade do ar, UR = umidade relativa, Trm = temperatura radiante média e ST = sensação térmica.

Desta forma, para os 01/04/2009, 19/06/2009, 13/07/2009 e 11/08/2009 não é esperado encontrar diferenças significativas entre os pontos. E para os dias, 09/01/2009 e 08/04/2009, espera-se encontrar diferenças significativas.

Apesar da similaridade em relação à geometria urbana dos pares de pontos 2 e 13, 3 e 7, 11 e 14, foram observadas diferenças significativas para as médias das variáveis analisadas, com exceção da radiação solar e da temperatura radiante média (caso exceção: par de pontos 3 e 7). Pode-se perceber na figura 1 que o ponto 3 é sombreado pelas obstruções do entorno e que o ponto 7 recebe aproximadamente 1 hora e meia (entre as 11h00 e 12h30) a mais de insolação, explicando assim a diferença encontrada para a radiação solar. Nota-se que, apesar dos dois pontos serem classificados como cânions largos ( $H/W < 1,5$ ), a obstrução (vegetação) existente na face norte do cânion do ponto 3 contribui para a diferença de radiação recebida nos pontos. Indicando assim, que somente a análise do FVC não é suficiente para entender as diferenças microclimáticas entre os pontos. A temperatura radiante média está fortemente ligada à quantidade de radiação recebida, desta forma, observou-se significativa diferença para esta variável também. Para as demais variáveis não há diferenças significativas, como seria de se esperar, devido à similaridade entre os pontos. Em relação à sensação térmica, os pontos não apresentaram diferenças significativas. Ao analisar as três variáveis que fazem parte do modelo de predição proposto para Curitiba, nota-se que para duas delas (temperatura do ar e velocidade do ar) não foram observadas diferenças significativas, o que pode explicar a similaridade dos votos de sensação térmica.

Para os pontos 2 e 13 e 11 e 14, por terem a mesma classificação, esperava-se um comportamento semelhante entre os pares. Entretanto, foram observadas diferenças significativas para todas as variáveis climáticas, com exceção da velocidade do vento entre os pontos 11 e 14. Em relação à radiação solar, observa-se na figura 1 que o ponto 13 recebe aproximadamente uma hora e meia a mais de incidência de radiação solar que o ponto 2, explicando assim a diferença observada. O mesmo ocorre nos pontos 11 e 14, as árvores existentes na praça do ponto 11 sombreiam o ponto de monitoramento, enquanto que a praça do ponto 14 é totalmente livre de obstruções, recebendo esta maior radiação solar. Quanto à umidade relativa, no ponto 11 foram registrados valores mais altos de umidade relativa quando comparados com o ponto 14, o que era esperado, devido à presença de vegetação e da fonte d'água. Observa-se que no ponto 11 a sensação térmica média foi mais baixa que no ponto 14 (-0.35 versus 0.09). Esta diferença pode ser explicada pelos valores mais baixos de radiação solar e temperatura do ar e, valores mais altos de velocidade do vento e umidade relativa, observados no ponto 11. Novamente a análise da foto olho de peixe e da carta solar mostra que obstruções na orientação Norte dos cânions interferem principalmente na quantidade de radiação solar incidente na rua.

Nota-se também que as diferenças observadas em relação à radiação solar têm forte relação com a latitude, com a hora do dia (posição do sol) e com o dia do ano (altura solar). É possível observar na figura 1 que se o monitoramento dos pontos 2 e 13 tivesse ocorrido no inverno, o comportamento da radiação solar teria sido diferente e que possivelmente as diferenças observadas nestes pontos não teriam sido significativas. O mesmo é verdade para os pontos 3 e 7 ao considerar uma medição no verão. Para os pontos 11 e 14, fica claro que a presença de vegetação tem um papel importante no sombreamento e na redução da temperatura do ar e, como consequência, na sensação térmica.

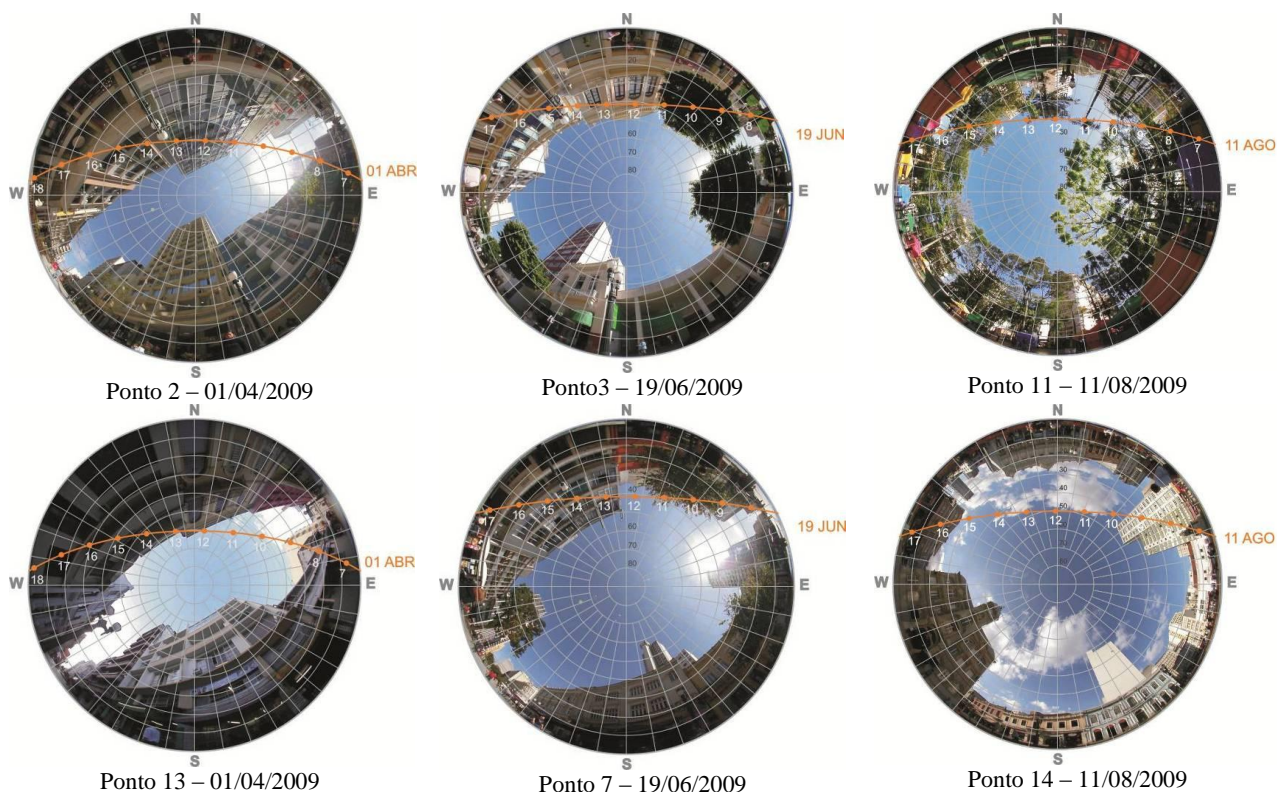


Figura 1 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos, 2 e 13; 3 e 7; 11 e 14.  
 Fonte: MINELLA, 2009.

Para os pontos 8 e 16 foram observadas diferenças significativas para a radiação solar e temperatura do ar. Isto pode ser explicado pelo horário de sombreamento nos dois pontos. No ponto 16 o sombreamento ocorreu no período da manhã, quando o sol está mais baixo, registrando assim valores mais altos de radiação solar e temperatura do ar (figura 2).

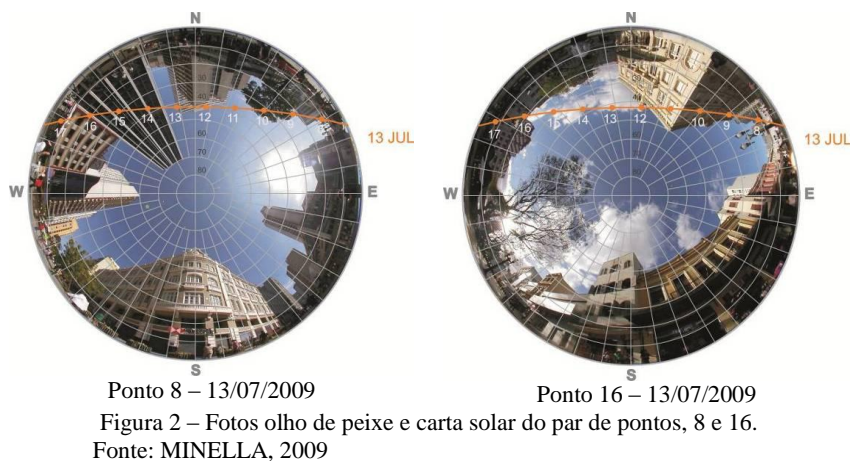


Figura 2 – Fotos olho de peixe e carta solar do par de pontos, 8 e 16.  
 Fonte: MINELLA, 2009

Para os dois pares de pontos apresentados a seguir esperava-se encontrar diferenças microclimáticas significativas entre os pontos, devido às características urbanas distintas. Entretanto, é possível observar na tabela 1 que algumas variáveis não se comportaram conforme o esperado.

Para os pontos 2 e 7, monitorados no dia 09/01/2009, a radiação solar, a temperatura radiante média e a sensação térmica não apresentaram diferenças significativas. Observa-se na figura 3 que no dia 09/01/2009 os pontos receberam a mesma quantidade de horas de radiação solar, explicando os resultados observados em relação à radiação solar e à temperatura radiante média. Mais uma vez, nota-se que é possível esperar um comportamento diferente para outra época do ano. Por exemplo, em uma medição de inverno nos pontos 2 e 7 poderia se esperar diferenças significativas para a radiação solar, visto que o ponto 2 estaria sombreado devido às obstruções na orientação norte e devido à via ser mais estreita que no ponto 7.

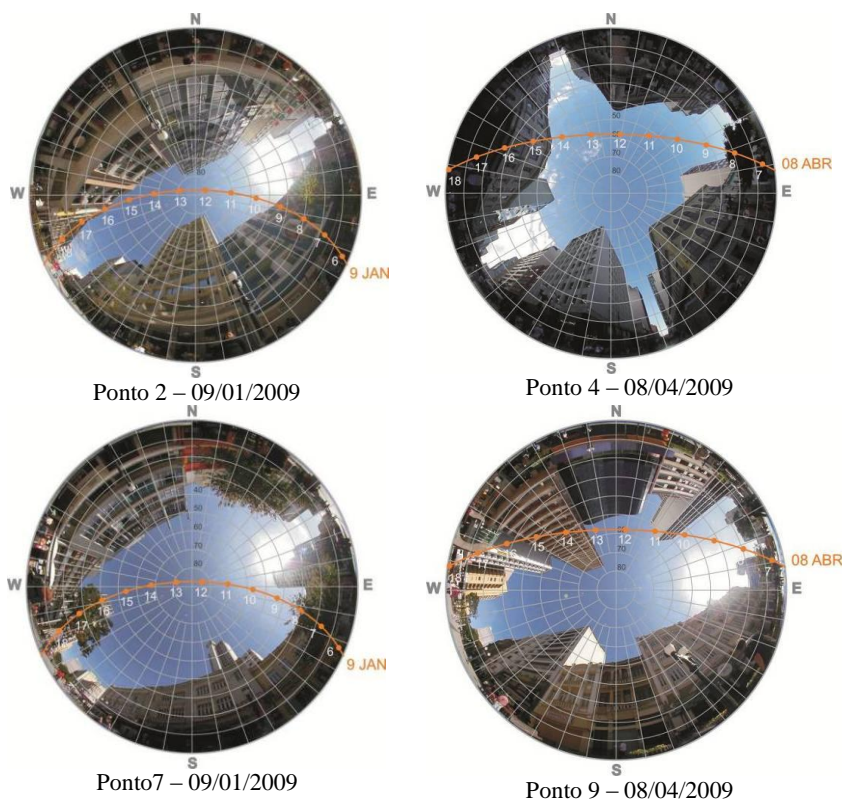


Figura 3 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos, 2 e 7; 4 e 9.  
Fonte: MINELLA, 2009.

Para o dia 08/04/2009, os pontos 4 e 9 não apresentaram diferenças significativas para a velocidade do ar. Seria esperado que no ponto 4, por ser um cruzamento, tivessem sido registrados maiores valores para o vento. Uma possível explicação para tal fato não ter ocorrido é que o ponto 9 está situado em uma das porções mais largas da rua e próximo ao ponto 8, que também é um cruzamento. Em relação à sensação térmica, foi observado maior desconforto para o calor no ponto 4, o qual apresentou valores mais altos de radiação solar e temperatura do ar. As fotos olho de peixe (Figura 3) indicam que devido à configuração urbana, o ponto 4 receberá mais radiação solar, independente da época do ano, que o ponto 9.

De modo geral é possível perceber a existência de diferenças significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os valores médios das variáveis analisadas. Observa-se que as diferenças de radiação solar estão relacionadas com a geometria urbana, sendo que a quantidade de obstruções, a localização das obstruções e o dia de monitoramento apresentam forte relação com a quantidade de radiação solar observada nos pontos. A temperatura do ar está relacionada com o ganho de radiação solar, com a latitude, com a hora do dia (posição do sol) e a época do ano (altura solar). As variáveis temperatura de globo e temperatura radiante média estão relacionadas com a radiação solar. A velocidade do vento em áreas urbanas está relacionada à rugosidade e densidade da malha urbana, altura, tamanho e orientação das edificações, assim como da relação entre altura das edificações e largura da via ( $H/W$ ). A área monitorada em Curitiba (Rua XV de Novembro) apresenta a mesma orientação (Leste/Oeste, com azimute do eixo da rua de  $22^\circ N$ ) em todas as quadras monitoradas, assim todos os pontos nesta via estavam sujeitos a mesma influência do vento regional dominante nos dias do monitoramento, entretanto, devido a complexa estrutura do vento na camada intra-urbana, não foi possível chegar a conclusões definitivas quanto às diferenças entre os pontos monitorados. Em geral, os ventos na camada intra-urbana são mais suaves, porém dependendo da morfologia da cidade, acelerações do fluxo podem ocorrer. A umidade relativa do ar está diretamente relacionada com a temperatura do ar, pois quanto maior a temperatura do ar, menores são os valores de umidade relativa e com a presença de vegetação.

## 5. CONCLUSÕES

É possível concluir que, somente a análise do espaço a partir da classificação do cânion urbano ( $H/W$  e  $FVC$ ) não é suficiente para entender as diferenças microclimáticas observadas. A utilização da carta solar e da foto olho de peixe auxiliou na análise de detalhes da geometria urbana (altura das edificações, obstruções, largura da via, entre outros) e da trajetória solar. Sendo possível, a partir de todas estas informações, entender o motivo das diferenças encontradas em alguns pontos.

Quanto à sensação térmica, considerando as variáveis: radiação solar, temperatura do ar e velocidade do ar, foi possível perceber que em todos os dias de monitoramento pelo menos uma destas variáveis apresentou diferença significativa entre os pontos monitorados. De modo geral, verificou-se desconforto para o calor em dias com altos valores de temperatura do ar e radiação solar e baixa velocidade do vento e desconforto para o frio em dias com baixos valores de temperatura do ar e radiação solar e alta velocidade do



vento. A comparação entre pontos apresentou quatro situações: conforto, leve estresse térmico para o frio, leve estresse térmico para o calor e moderado estresse térmico para o calor.

A partir destes resultados é possível propor algumas estratégias gerais para melhoria da sensação térmica nos pontos analisados. Na maioria dos pontos é necessário o sombreamento no período de verão com o objetivo de diminuir a quantidade de radiação solar, a temperatura do ar e a temperatura radiante média e em consequência diminuir a estresse térmico para o calor. Em alguns pontos é necessário permitir a insolação no período de inverno para minimizar o estresse térmico para o frio. Para isso, é possível utilizar elementos arquitetônicos como pérgulas e galerias ou elementos de vegetação como árvores. Os elementos arquitetônicos devem ser projetados de modo a sombrear o local no verão e permitir a insolação no inverno. Como exemplo, o uso de árvores decíduas pode auxiliar na melhora térmica local, permitindo a exposição solar no inverno e sombreando no verão, podendo também ajudar no resfriamento do ar (evapotranspiração) e servir como barreira contra o vento.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro (Projeto Universal 474358/2007-0, Universal 2007 Faixa B), CAPES pela concessão das bolsas de Mestrado e Doutorado e ao CNPq pela concessão da bolsa de Doutorado Sanduíche, a qual proporcionou o trabalho conjunto com a professora Marialena Nikolopoulou, no departamento de Arquitetura e Engenharia Civil da Universidade de Bath. E às pessoas que nos ajudaram respondendo ao questionário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACP - ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DO PARANÁ, Calçada da XV vai brilhar de novo. 22 de novembro de 2007. Disponível em: <[http://www.acpr.com.br/index.php?a=novembro\\_2007.php](http://www.acpr.com.br/index.php?a=novembro_2007.php)> Acesso em 04 Nov. 2009.
- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v.41, n.2, p. 94–108, 2006.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2003.
- CAMPBELL, S. **Application Note: Weather Station Sitting and Installation Tools**, 1997.
- CHRISOMALLIDOU, Niobe; CHRISOMALLIDIS, Max; THEODOSIOU, Theodore. **Design principles and applications**. In: NIKOLOPOULOU, Marialena (ed.). *Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach*, Greece: CRES, 2004.
- ELIASSON, Ingegård; KNEZ, Igor; WESTERBERG, Ulla; THORSSON, Sofia; LINDBERG, Fredrik. Climate and behaviour in a Nordic city. **Landscape and Urban Planning**, v.82, p. 72–84, 2007.
- FIELD, Andy. **Discovering statistics: using SPSS for windows**. London: Sage Publication Ltd, 2003.
- FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1987.
- GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. Nova Iorque: ITP, 1998.
- GOMES, Patrícia S.; LAMBERTS, Roberto. Influência dos parâmetros: densidade construída e geometria urbana no comportamento térmico de áreas urbanas, o caso de Montes Claros – MG. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN, **Anais**, Natal, RN: ENTAC, 2009, 1 CD-ROM.
- HÖPPE, Peter. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, **Energy and Buildings**, v.34, p. 661-665, 2002.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726 - Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environments – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Genève: ISO, 2005.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551 - Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genève: ISO, 1995.
- JOHANSSON, Erik. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v.41, p. 1326–1338, 2006.
- JOHANSSON, Erik; EMMANUEL, Rohinton. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, p. 119-133, 2006, doi: 10.1007/s00484-006-0047-6
- KATZSCHNER, Lutz. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8., **Anais**. Maceió: ANTAC, 2005.
- KATZSCHNER, Lutz; MÜLDER, Jochen. Regional climatic mapping as a tool for sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v.87, p. 262-267, 2005, doi:10.1016/j.jenvman.2006.06.026.
- KNEZ, Igor; THORSSON, Sofia; ELIASSON, Ingegård; LINDBERG, Fredrik. Psychological mechanisms in outdoor place and weather assessment: towards a conceptual model. **International Journal of Biometeorology**, v.53, p.101-111, 2009, doi: 10.1007/s00484-008-0194-z.
- KNEZ, Igor; THORSSON, Sofia. Influence of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. **International Journal of Biometeorology**, v.50, p.258-268, 2006, doi: 10.1007/s00484-006-0024-0.
- LOMBARDO, Magda A. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.
- MINELLA, Flávia C. O. Avaliação da influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestre de Curitiba, 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

- MONTEIRO, Leonardo M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos, 2008. 382 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- NIKOLOPOULOU, Marialena; BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. **Solar Energy**, v.3, p. 227–235, 2001, doi:10.1016/S0038-092X(00)00093-1.
- NIKOLOPOULOU, Marialena; STEEMER, Koen. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. **Energy and Building**, v.35, n.1, p.95-101, 2003, doi:10.1016/S0378-7788(02)00084-1.
- NIKOLOPOULOU, Marialena. **Outdoor Comfort**. In: Steemers, Koen; Steane, Mary Ann (eds.). *Environmental Diversity in Architecture*, Chapter 7, p.101-119, Spon Press: Oxford, 2004.
- NIKOLOPOULOU, Marialena. Thermal comfort models for open urban spaces. In: NIKOLOPOULOU, Marialena (ed.). **Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach**, p. 2-6, Grécia: CRES, 2004.
- NIKOLOPOULOU, Marialena; LYKOURDIS, Spyros. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. **Building and Environment**, v.41, p. 1455-1470, 2006.
- OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. London: Methuen & Co., 1978.
- OLIVEIRA, Paulo M. P. **Cidade apropriada ao clima**: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília: UnB, 1988.
- PANOGOPOULOS, T. Using microclimatic landscape design to create thermal comfort and energy efficiency, In: Conferência sobre Edifícios Eficientes, 1., **Actas...** Algarve, 2008.
- PICOT, X. Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. **Energy and Buildings**, v.36, p. 329–334, 2004.
- ROMERO, Marta A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.
- SHASHUA-BAR, L., HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, v.31, p. 221–235, 2000.
- SANTANA, Andréa M, S. **O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza**, 1997, 200f, Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997, SPAGNOLO, Jennifer; de DEAR, Richard, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment**, v.38, p. 721-738, 2003, doi:10.1016/S0360-1323(02)00209-3.
- THORSSON, Sofia; LINDQVIST, Maria; LINDQVIST, Sven. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. **International Journal of Biometeorology**, v.48, p. 149–156, 2004, doi:10.1007/s00484-003-0189-8.
- THORSSON, Sofia; HONJO, Tsuyoshi; LINDBERG, Fredrik; LIM, En-Mi. Thermal comfort and outdoor activity in japanese urban public places. **Environment and Behavior**, v.39, n.5, p. 660-684, set, 2007.